

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKARSULARDA BOYUNA DİSPERSİYON
KATSAYISININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Sinan ŞAHİN
(501011382)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Nisan 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Emin SAVCI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Necati AĞIRALIOĞLU
Prof.Dr. Cem AVCI (B.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yöneten danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. M. Emin Savcı'ya teşekkürlerimi sunarım. Beni yetiştiren ve bugünlere getiren Annem Fatma ŞAHİN ve Babam Yusuf ŞAHİN'e ve ayrıca her zaman yanımda olan ve manevi olarak desteğini benden hiç esirgemeyen varlığından kuvvet aldığım ve benim için çok değerli olan Ayfer UĞURLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Tezimi hazırlama safhasında gerekli kitap, makale ve dergileri temin ettiğim İ.T.Ü. Mustafa İnan Kütüphanesi çalışanlarına ve bana Yüksek Lisans yapma olanağı sağlayan İ.T.Ü. Rektörlüğü ve İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne şükranlarımı sunarım.

Nisan,2004

Sinan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1.GİRİŞ	1
1.1 Yayılma (Dispersiyon)	1
1.2 Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Çalışmanın önemi	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	5
2.1 Konunun Tarihçesi	5
2.2 Önceki Çalışmaların incelenmesi	6
2.3 Önceki Çalışmaların değerlendirilmesi ve sonuç	17
3. DİSPERSİYON OLAYININ MEKANİZMALARI	19
3.1 Difüzyon	19
3.1.1 Fick'in difüzyon kanunu	19
3.1.2 Kütlenin korunumu	20
3.1.3 Konvektif difüzyon	22
3.2 Türbülans difüzyonu	24
3.2.1 Boyuna dispersiyon	27
4. SONSUZ GENİŞ AÇIK KANALLARDA BOYUNA DİSPERSİYON KATSAYISININ BULUNMASI	31
4.1 Yeni matematiksel modelin geliştirilmesi	36
4.1.1 Akarsularda yanal hız dağılımları	36
4.1.2 Sacramento Nehrinin Bazı Kesitlerindeki Hız dağılımları	37
4.1.3 Kayma gerilmesi denklemleri	40
4.1.4 Yeni matematiksel modelin geliştirilmesi	41
5.YENİ DENKLEMLE DİĞER DENKLEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	
5.1. Karşılaştırma kriterlerinin tatbiki	51
6. UYGULAMA	61
6.1 Giriş	62
6.2 Uygulama sorusu ve çözümü	63
6.3 Zarf eğrileri	73
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	75
KAYNAKLAR	93
EKLER	99
ÖZGEÇMİŞ	108

TABLO LİSTESİ**SAYFA NO**

Tablo 3.1 Fourier ve Fick'in ısı ve difüzyon kanunlarının karşılaştırılması	20
Tablo 5.1 Akarsulara ait boyuna dispersiyon katsayısı verileri	49
Tablo 5.2 Ayrılma oranlarının dağılım yüzdeleri	51
Tablo 6.1 Green-Duwamish nehrine ait akarsu verileri	61
Tablo 6.2 Ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayısı ile hesaplanmış boyuna dispersiyon katsayılarının gösterimi	62
Tablo 6.3 Uygulama sorusu çözümü için hesap ağı	62
Tablo (A.1) Gerçek boyuna dispersiyon katsayısı ile hesaplanan kesitsel ortalama konsantrasyonlar.	81
Tablo (A.2) Hesaplanan boyuna dispersiyon katsayısı ile hesaplanan kesitsel ortalama konsantrasyonlar.	87

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 3.1 Difüzyon olayı	19
Şekil 3.2 Bir boyutlu taşıma mekanizması	20
Şekil 3.3 (a),(b) Türbülanslı akım ortamında c' ve u' sapmaları	24
Şekil 3.4 izleyici maddenin boyuna dağılımı	27
Şekil 3.5 Atık madde bulutunun ilerleyişi	28
Şekil 4.1 Düşey yönde logaritmik hız dağılımı	31
Şekil 4.2 Açık kanal kesiti	32
Şekil 4.3 Sacramento nehrinin bazı kesitlerinde hız dağılımları	37
Şekil 4.4 Akarsu kesitinin üstten görüntüsü	39
Şekil 4.5 Tabandaki basınç dağılımı	40
Şekil 4.6 Cidardaki basınç dağılımı	40
Şekil 4.7 Akarsu kesiti	41
Şekil 5.1 Ayrılma oranları yüzdeleri	52
Şekil 5.2 Ayrılma oranlarının mutlak değerlerinin ortalaması	53
Şekil 5.3 Ortalama	53
Şekil 5.4 Ortalama karesel hata	54
Şekil 5.5 Ortalama mutlak hata	54
Şekil 5.6 Ortalama mutlak rölatif hata	55
Şekil 5.7 İdeal boyuna dispersiyon katsayısı dağılımı	56
Şekil 5.8 Yeni denklemle sonuçlarıyla ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması	56
Şekil 5.9 Kashefipour & Falconer (2002)(1) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması	57
Şekil 5.10 Kashefipour & Falconer (2002)(2) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması	57
Şekil 5.11 Seo & Cheong (1998) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması	58
Şekil 5.12 Yeni denklem ve diğer denklemlerin ayrılma oranlarının karşılaştırılması.(a,b,c)	59
Şekil 5.13 Korelasyon katsayıları	60
Şekil 6.1 Atık madde miktarının zamanla değişimi	61
Şekil 6.2 Akarsu kesitinin boyutları	62
Şekil 6.3 Uygulama sorusu için hesap ağı	62
Şekil 6.4 Konsantrasyon- konum grafikleri (a,b,c,d,e,f,g,h,j,k,l)	65
Şekil 6.5 Konsantrasyon-konum grafiklerinin toplu gösterimi	70
Şekil 6.6 Konsantrasyon-zamanla grafikleri (a,b,c,d,e)	70
Şekil 6.7 Konsantrasyon-zaman grafiklerinin toplu halde gösterimi	72
Şekil 6.8 Zarf eğrileri (a,b,c,d)	73

SEMBOL LİSTESİ

c	: Kesitsel ortalama konsantrasyon
$\bar{c}$	: Kesitsel ortalama konsantrasyonun zamansal ortalaması
$\bar{u}$	: Kesitsel ortalama hızın zamansal ortalaması
c', u'	: Kesitsel ortalama konsantrasyondan ve hızdan sapmalar
X_1, X_2, X_3	: Sırasıyla boyuna, enine ve düşey doğrultular
x, y, z	: Sırasıyla boyuna, düşey ve enine koordinatlar
t	: Zaman
D_m	: Sırasıyla boyuna, enine ve düşey moleküler difüzyon katsayısı
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	: Türbülans difüzyonu katsayıları
U_1, U_2, U_3	: Sırasıyla boyuna, enine ve düşey yönde kesitsel ortalama hızlar
k	: Von Karman sabiti
A	: Kesit alanı
K, D	: Boyuna dispersiyon katsayısı
q	: Çözünmüş kütle akısı
q_u	: Konvektif akı
h	: Akım yüksekliği
w	: Akım genişliği
β	: Sinüslülük, ani genişleme ve daralma ve ölü bölgelerin etkisini içeren bir katsayı
J	: Enerji çizgisi eğimi
τ_0	: Tabandaki kayma gerilmesi
$\tau_{0\text{cidar}}$	: Cidardaki kayma gerilmesi
SQ	: Akıma bırakılan madde miktarı
U_{lm}	: Ortalama akım hızı
m	: Kesitsel ortalama
$()_m$	: Kesitsel ortalama
$\overline{ () }$	: Zamansal ortalama

ÖZET

Bu çalışmayı üç bölümde özetlemek mümkündür. İlk bölümde akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını tahmin eden yeni bir model geliştirilmiş ikinci bölümde yeni model literatüre geçen diğer modellerle karşılaştırılmıştır ve son olarak yeni modelin bir akarsu verisi için uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada, akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının tahmini için iki boyutlu yeni bir matematiksel model oluşturulmuştur..Dispersiyon denklemi çok değişkenli kısmi diferansiyel denklem olduğu için analitik olarak çözülmesi mümkün değildir. Bu yüzden bazı kabul ve varsayımların yapılması zorunludur. Bu çalışmada yeni model Elder (1959)'e benzer tarzda geliştirildiğinden Elder'in yaptığı kabuller ve varsayımlar aynen alınmış ve literatürde de örneklerine rastlanan bazı değişiklikler yapılmıştır Matematiksel model oluşturulurken kullanılan veriler akarsulara ait veriler olduğu için model akarsuların boyuna dispersiyon katsayısının tahmini için geçerlidir. Düşey hız dağılımı ihmal edilip quartic yanal hız dağılımı kullanılmıştır. Modelin sinüslülük, ani genişleme ve daralma ve ölü bölgelerin etkisini içermesi için boyutsuz bir β katsayısı tanımlanmış ve bu katsayı model geliştirmekte kullanılan akarsulara ait 81 adet deney verisi kullanılarak Fortran programlama dilinde bir program yazılarak bulunmuştur. Sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, kullanılan 81 adet veri ve 9 adet karşılaştırma kriteri için en iyi sonucu oluşturulan yeni modelin verdiği görülmüştür. Ayrıca iki boyutlu dispersiyon denklemi yeni modelin hesapladığı boyuna dispersiyon katsayısı kullanılarak sonlu farklar metodu ile nümerik olarak çözülmüş ve konsantrasyon-zaman grafiklerinin zarf eğrileri elde edilerek çeşitli durumlar için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

DETERMINING LONGITUDINAL DISPERSION COEFFICIENT IN RIVERS

SUMMARY

This study may be summarized within three parts. At the first part a new mathematical model is developed to determine the longitudinal dispersion coefficient in rivers at the second part the new model is compared with the other models from the literature and finally an application of the model is added. In this study, a new 2-D mathematical model is developed for predicting longitudinal dispersion coefficient in rivers. The longitudinal dispersion coefficient is a multi parameter partial differential equation so that it not possible to solve it analitically and it is necessary to make some acceptance and assumptions. In this study Elder (1959)'s study is set for an example and so that his acceptance and assumptions are used and some changes are made which can be found in the literature. The data which are used to develop a new model are related to river data so the new model is valid for rivers. Quartic lateral velocity profile is used instead of vertical velocity profile. β parameter is suggested which is determined for considering sinousity, sudden contractions and expansions and dead zones in rivers. The 81 river data are used with a Fortran program to obtain β parameter. When we compare the results with other models' results for 9 criteria it can be seen that the new model gives the best results. The 2-D longitudinal dispersion coefficient is solved numerically by finite differences method and concentration-time graphics are obtained for measured and predicted longitudinal dispersion coefficients and the exponantial function equation of the graphics is calculated in order to compare the results.

1.GİRİŞ

1.1 Yayılma (Dispersiyon)

‘Dispersiyon’ kelimesi, Türkçe’de olduğu gibi kullanılmakla beraber Türkçe’deki karşılığı, ‘dağılma’ veya ‘yayılma’dır. Bilimsel terminolojide ise, maddenin herhangi bir ortamda (boşluklu,sıvı,gaz) enine, derinliğine, ve boyuna yayılması anlamına gelmektedir. Yayılma olayının en önemli katsayısı yayılma katsayısıdır, ki maddenin bir ortam içerisinde birim zamanda ve birim alandan yayılması olarak ifade edilir ve boyutu L^2/T şeklindedir. Ayrıca, birimden bağımsız hale getirmek için yayılma katsayısı boyutsuz hale getirilir. Böylece tüm birim sistemlerinde, herhangi bir dönüşüm yapılmaksızın kullanılabilir.

Yayılma olayı fizik olarak üç farklı şekilde olabilir. Birincisi, moleküllerin serbest hareketleri nedeniyle meydana gelen yayılma. Buna ‘moleküler yayılma’ denir. Moleküler yayılmanın mekanizması, akıma bırakılan atık madde moleküllerinin bir çoğunun su moleküllerinden daha hızlı hareket etmesinden doğar. Bu fazlalık Sayre’nin deney sonuçlarına göre (Sayre 1973) %10 mertebesindedir. İkincisi, su ortamının türbülansı nedeniyle meydana gelen yayılma olup buna da ‘türbülans yayılması’ denir. Son olarak, suyun hareketi nedeniyle meydana gelen kütle transferi şeklindeki yayılma ki buna da ‘konvektif yayılma’ denir (Sümer.1970). Yine akarsu akımı üzerinde akım derinliği boyunca hız dağılımı farklıdır. Akarsu tabanına doğru bu hız düşük iken ortalara doğru fazladır.(Bkz Şekil 3.3 a) Yaklaşık kabule göre atık madde molekülleri akışkan tanelerince taşındığından bazıları geride kalacak bazılarda daha hızlı ilerleyecektir. O halde madde taşınımının asıl nedeni hız dağılımıdır ve konveksiyon olarak adlandırılır. Konveksiyon çok daha önemli bir taşınım mekanizmasıdır. Örneğin, yoğunluğu suyununkiye yakın bir boya akım hızının olmadığı durgun bir ortamda en fazla 1m yol alabilir. Bu örnekten de anlaşılacağı üzere moleküler yayılmanın taşınım mekanizması içindeki rolü çok az olup,

genellikle ihmal edilir. Özetlemek gerekirse, yayılma olayı fiziksel olarak üç grupta toplanır.

1. Moleküler yayılma (difüzyon)
2. Türbülans difüzyonu
3. Konveksiyon

Yukarıda tanımlanan taşınım mekanizmaları ileriki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde anlatılacaktır.

1.2 Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın konusu iki boyutlu bir doğal akım ortamında, özellikle akarsularda, maddenin boyuna dispersiyon olayını teorik olarak incelenmek ve akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını belirleyen yeni bir matematiksel model geliştirmektir. Bunu gereği olarak, konunun tarihçesini ve bugüne değin konu ile ilgili yapılan çalışmaların kısa özetlerini, ana hatları ile sınıflandırılmasını ve bu çalışmaların genel bir değerlendirmesini de içeren literatür çalışmasının sonucu sunulmuş ve boyuna dispersiyon olayı teorik olarak incelenmiş ve yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ayrıca matematiksel modelin sonuçları ile ölçülen verilerle ve literatüre geçen en önemli çalışmalarla karşılaştırılarak doğruluğu ve mevcut çalışmaların içindeki yeri belirlenmiştir. Son olarak geliştirilen matematiksel modelin uygulaması olarak bir akarsudaki madde konsantrasyonların konum ve zamanla değişimi bulunup gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır.

Matematiksel modelin geliştirilmesinde kullanılan veriler doğal akarsularda ölçüm sonucu elde edilmiş verilerdir. Dolayısıyla bu çalışma, daha çok akarsulardaki boyuna dispersiyon olayı ile ilgili çalışmalara katkıda bulunacaktır.

Özetle bu çalışma, uygulamada akarsulardaki boyuna dispersiyon olayını kapsamaktadır. Bu çerçevede, her hangi bir nedenle söz konusu su kaynaklarına bulaşan bir kirliliğin ne kadar zaman ve mesafe sonunda güvenilir sınırlara inebileceğine ışık tutulacaktır.

1.3 Çalışmanın önemi

Dünyamızdaki kara kütleleri, canlıların yaşam faaliyetlerinin sürdürülmesinde çok önemli fonksiyonları bulunan denizler ve akarsulardan oluşan bir su ağı ile çevrilidir. Bu ağın en önemli özelliklerinden birisi, atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde temizlenerek akıtılması ve doğanın temiz olarak korunmasıdır. Akarsular kendilerine boşaltılan kirli suları ve diğer çözeltileri bir yandan taşıırken diğer yandan konsantrasyonlarını düşürmeye çalışmaktadırlar. Ancak günümüzde rast gele deşarjların çeşidi ve miktarı o kadar çoğalmıştır ki; su kaynaklarının bu kirli suları temizleyebilmesi olanaksız duruma gelmiştir. Çeşitli amaçlar için kullanılan bu akarsuların kirlilik konsantrasyonlarının zamanla ve konumla değişimi bilinmelidir. Bu ise, herhangi bir su kaynağı alanına enjekte edilen maddelerin bu ortam içerisinde nasıl yayıldıklarının bilinmesi ile mümkündür. Bunun için deşarj edilen atık maddelerin yayıldıkları ortam içerisinde ilerlemelerini ifade eden matematik modelin kurulup, mühendislik ve pratik amaçlar için basit kullanılabilir duruma getirilerek atık madde konsantrasyonlarının zaman ve konumla değişimlerinin belirlenmesi gerekir.

Yoğunluğu akışkanın yoğunluğunun aynısı veya farklı olan maddelerin, çeşitli nedenlerle herhangi bir ortam içerisinde iletimi , gerek temel bilimlerde ve gerekse hidrolik, su temini ve çevre sağlığı, sulama, kimya, metalürji ve benzeri mühendislik bilimlerinde karşılaşılan bir çok problemin çözüm yollarını araştırmak amacıyla inceleme konusu olmuştur.

Akarsular, insanlığın doğal su şebekesidir. Bir ülke için öneminin yanında özellikle sınır aşan suların önemi uluslar arası boyuttadır. Her hangi bir nedenle kirlenmiş göl gibi durgun suları korumak ve karantinaya almak mümkündür. Oysa sürekli akan akarsuların kirlenmesi halinde insanı, diğer canlıları ve çevreyi kirlilikten korumak oldukça güçtür. Akarsular deniz ve göl gibi başka su kaynakları ile bağlantılıdır. Bu nedenle, bir akarsuda meydana gelebilecek bir kirlilik, başka su kaynakları ve bazen birden fazla ülke için büyük bir risk olmaktadır. Bu tezde özellikle akarsulardaki boyuna dispersiyon olayı ele alınmıştır.

Dünyada, insanoğlunun karşılaştığı hemen hemen tüm problemler, insan nüfusunun artışına bağlı olarak büyümektedir. İnsan ve diğer canlıların sayısının gün geçtikçe artmasına karşılık tatlı su kaynakları sınırlıdır. Bu yüzden, günümüzde, tatlı su kaynakları ihtiyaca cevap veremeyecek halde gelmiştir. Birçok ülke şuan su kıtlığı yaşamakta, bir kısmının ise yaşaması beklenmektedir (Aytek ve Toprak, 2001). Bu nedenle ‘sulamada kullanılmış suların tekrar kullanımı’ konusu gündeme gelmiştir. Sulamada kullanılmış ve dolayısıyla çeşitli kimyasal gübre ve ilaçlarla kirlenmiş olan sulama dönüş akımlarının sulamada tekrar kullanılması halinde, sulama suyuna hangi oranlarda ve kanalın hangi noktasında karıştırılması ve yeniden kullanılmak üzere kanalın hangi noktasından alınması gerektiği problemi de önem kazanmıştır. Bu problem büyük ölçüde boyuna dispersiyon olayının konusudur.

Özetle herhangi bir nedenle nükleer, kimyasal veya biyolojik kirleticilerin bir akarsuya karışması durumunda, bu suların temizlenmesi, tekrar kullanılması veya doğal ortama verilemesi, bir akımın havalandırılması, kısaca su kalitesinin korunması için akarsuyun iletim ve yayılma katsayısının doğruya en yakın şekilde tahmin edilmesi ile mümkündür. Tüm bu nedenlerden dolayı akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının tahminine yönelik çalışmalara ciddi bir şekilde ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Konunun Tarihçesi

Deneysel ve teorik çalışmalar, Taylor (1921, 1953, 1954) ile başlamış ve Scheidegger (1954), Aris (1956), Elder (1959), Bear (1960), Parker (1961), Bearve Bachmat (1965), Fischer (1967, 1968 a, b, 1975), Sayre (1968), Sayre ve Chang (1968), Sooky (1969), Godfrey ve Frederick (1970), Atesman (1970), Sümer (1970), Chang (1971), Savcı (1972), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Graf (1986) ile devam etmiştir . Bu çalışmalar daha çok, prizmatik kanallar ve doğal akarsularda boyuna yayılma mekanizmasının daha iyi anlaşılmasına yönelik olmuştur. Bununla birlikte, Taylor (1954) ve Elder (1959)'in analitik sonuçlarının birbirinden farklı çıktığı görülmektedir. Savcı (1972) bu farklılığın araştırmacıların farklı hız dağılımlarını kullanmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir .

Fischer (1968), Godfrey ve Frederick (1970), Yotsukura ve dig. (1970), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Boning (1974) akarsulardaki yayılma katsayısının tespitine yönelik yerinde ölçüm ve sonuçlarının değerlendirilmesi çalışmaları ile bilinir. ABD'deki akarsular üzerinde yapılmış bir çok çalışmada, genellikle U.S. Geological Survey tarafından elde edilen veriler kullanılmıştır . Daha sonra Jobson (1997)'de akarsularda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veri kümeleri kullanılarak izleyicinin akım içindeki seyahat süresi ve boyuna yayılmaya ilişkin modeller sunulmuştur. Arkasından Seo ve Cheong (1998) ve Kashefipour ve Falconer (2002)'de doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ve boyut analizi gibi metotlar önceki araştırmacıların elde ettikleri verilere uygulanarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. El Hadi ve Daver (1976) akımın, taban pürüzlülüğüne bağlı olarak boyuna yayılmayı araştırmış, Scheidegger (1954), Bear (1960), Bear ve Bachmat (1965) ise konvektif yayılma denklemi (KYD) üzerinde çalışmıştır. Son olarak, Toprak ve diğ. (2003)'te Kashefipour ve Falconer (2002) tartışılmıştır. Sooky (1969), Godfrey ve Frederick (1970), Bansal (1970), Chatwin (1971), Nordin ve Sabol

(1974), Day (1975) ve El Hadi ve Daver (1976) kısmen düzgün olan bazı doğal akarsular için model veya teorilerle yapılan yayılma tahminlerinin, ölçüm sonucu elde edilmiş yayılma değerlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ve gözlenen boyuna yayılma katsayısının bir çok nedenle teorik tahminlerden daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Savcı (1972) bu farklılığa değinerek ölçüm yayılma katsayısının teorik olandan daha büyük olması kabul ve basitleştirmelerden kaynaklandığını belirtmiştir .

Nordin ve Sabol (1974), Godfrey ve Frederick (1970) ve Thackston ve Krenkel (1967) arazi gözlemleri ve izleyici çalışmaları veya deneme-yayılma kalibrasyonları sonucunda, ampirik veya kalibre edilmiş değer ve verilerle çeşitli modelleri geliştirmiş. Li ve Zhou (1997) bu tür modellerin genelleştirilmesine geometri ve akım şartları açısından itiraz etmiştir . Çünkü doğal akarsuların akım ve geometri değişkenleri birinden diğerine farklılık göstermektedir .

2.2 Önceki Çalışmaların İncelenmesi

Taylor (1954) boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi için;

$$D_1 = 10,1.r.U$$

bağıntısı geliştirilmiştir. Burada, r boru yarıçapı, U kayma hızı ve D₁ boyuna yayılma katsayısıdır.

Taylor (1954) aslında borulardaki yayılma olayı ile ilgili bir çalışma olup doğrudan akarsulardaki boyuna yayılma katsayısının tahminine yönelik değildir . Ancak, yayılma olayı ile ilgili daha sonraki bir çok çalışma Taylor (1954) analizlerine dayanmaktadır .

Elder (1959) Taylor (1954)'un en yakın takipçisi olmuş ve çalışmalarını devam ettirmiştir. Elder (1959)'in boyuna yayılma katsayısı konusundaki ilk laboratuvar ölçümleri Taylor (1921, 1953, 1954)'e dayanmaktadır. Çalışmada, logaritmik düşey hız dağılımının kabulü ile

$$D_1 = \frac{0.4041}{K^3} + \frac{K}{6} HU.$$

denklemini geliştirilmiştir. Burada K von Karman sabitidir ki, yaklaşık değeri 0.41 olarak alınırsa bu ifade

$$D_1=5.93HU^*$$

şekline dönüşür. Bu denklem oluşturulurken sonsuz geniş kanal kabulü yapılmış ve türbülans dolayısı ile momentum, madde ve ısı iletiminin tam olarak birbirine analog olduğunu varsayımı yapılmıştır. Bu varsayım ölü bölgelerin etkisini ihmal etmek demektir.

Guymer ve West (1992) Conwy halicinin bir en kesitindeki hız ve tuzluluk dağılımı ölçümlerine dayanarak boyuna yayılma katsayısının düşey ve yatay germe bileşenlerinin önemine değinmiştir. Doğal akarsulardan alınan çok sayıda ölçülen veri kümelerinin kullanıldığı çalışmaları göz önünde tutarak D_1/HU oranının 5.93 gibi sabit bir sayı olmayıp çok daha büyük ve 8.6 ile 7500 arasında değişen değerler aldığını belirtmiştir. Diğer taraftan Seo ve Cheong (1998), Elder (1959)'in akarsu ve derelerdeki boyuna yayılma katsayısını tam olarak açıklayamadığını ve bu bağıntı ile hesaplanan katsayının genel olarak önemli derecede beklenen değerler altında kaldığını belirtmiştir. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan elde edilen ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da kullanılan 81 veri kümesine denklemini uygulayarak sonuçları aynı veri kümesindeki ölçülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma, sonuçlarının ölçülen yayılma katsayısı değerlerinin çok altında kaldığını göstermiştir. Ayrıca, veriler ile bu bağıntı sonuçları arasında 0,309 değerinde düşük bir korelasyon katsayısı, maksimum ve ortalama değerler ile standart sapma ve benzeri istatistiklerin verilerinkinden farklı olduğunu tespit etmiştir.

Parker (1961), Taylor (1954)'un kabullerini türbülanslı akım için kütlenin korunumu kanununa uyguladığında, hız profili üzerinde enine değişkenlerin boyuna değişkenlerden daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. Taylor (1954)'un türbülanslı akım denklemini açık kanalda, boru yarıçapı yerine hidrolik yarıçapı (R) koyarak uygulamış ve

$$D_1 = 14.8R^{\frac{3}{2}}\sqrt{2gS}$$

denklemini vermiştir. Burada g yer çekim ivmesi ve S enerji çizgisi eğimidir.

Fischer (1967 ve 1975) sırasıyla, doğal akarsularda yayılma mekanizmasını, boyuna yayılma katsayısını ve kıvrımların yayılma olayına etkilerini araştırarak teorik ve ampirik bağıntılar geliştirmiştir. Fischer (1967) akarsularda boyuna yayılma katsayısının tahmini için

$$D_1 = -17A \int_0^w U'(y)H(y) \int_0^y \frac{1}{\varepsilon(y)H(y)} \int_0^y U'(y)H(y) dy dy dy$$

şeklinde bir bağıntı sunmuştur. Burada, U' , y doğrultusundaki mesafenin bir fonksiyonu olarak kesit ortalama akım hızının mesafe ile sapması, W akarsu genişliği, y enine akım doğrultusundaki kartezyen koordinatı, E_y ise deneysel olarak, $0.23 HU^* - 0.7 HU^*$ arasında değer aldığı tespit edilen y doğrultusundaki enine türbülans karışımı katsayısıdır. Bu bağıntı, kütle denkleminin korunum bileşkesinin zamandan bağımsız parçasının sınır şartlarına göre entegrasyonunun derinliğe bölünmesi esasına dayanmaktadır. Fischer (1975) boyuna yayılma katsayısının tahmini için, bu kez (2.5) denklemini integralsiz olarak sadeleştirilmiş halini

$$D_1 = \frac{0.07U'^2 \lambda^2}{\varepsilon_y}$$

denklemini ile sunmuştur. Burada λ hızın maksimum olduğu noktadan kıyıya kadar olan mesafedir. Laboratuvar deneylerinden, Fischer U'^2/U^2 nin, ortalamasının $0,2$ olacak şekilde

$0,17$ ile $0,25$ arasında değiştiğini ve λ 'nın ise yaklaşık olarak $0,7W$ 'ye eşit olduğunu bulmuştur. Bu değerlerin (2.6) denkleminde yerine konması ve $E_y = 0.6 HU^*$ alınması ile boyuna yayılma katsayısının

$$D_1 = \frac{0.011U^2W^2}{\varepsilon_y}$$

bağıntısı ile bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Liu (1977), Seo ve Cheong (1998), Koussis ve Mirasol (1998), Kashefipour ve

Falconer (2002) ile bir çok araştırmacının, boyuna yayılma katsayısının tahmini için Fischer (1975) gibi, aynı hidrolik ve geometrik değişkenlerle çalıştıkları, nehirlerden ölüm sonucu elde edilen veri kümelerini ve laboratuvar sonuçlarını değerlendirdikleri görülmüştür. Bu yüzden Fischer (1975)'in, 1976'dan itibaren bir çok araştırmacıya ilham kaynağı olduğu düşünülmüştür. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan ölüm sonucu elde edilmiş ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da uygulanış ve sonuçlarını aynı veri kümesindeki ölülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonunda, Fischer'in denkleminin, Elder (1959)'in denkleminin tersine, ölülen değerlerin çok üstünde sonuçlar verdiği, maksimum ve ortalamanın verilerinkinden çok yüksek (sırasıyla, yaklaşık 7 ve 5 katı), minimumun ise verilerinkine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sooky (1969) enkesit şekli ve hız dağılımının yayılma katsayısı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Logaritmik ve üstsel hız profili kabullerini yaparak uniform bir akıma sahip düzgün doğrultulu bir açık kanal için akım genişliğinin derinliğine oranının bir fonksiyonu olarak boyutsuz yayılma denklemini geliştirmiştir. Bu çalışmasında üçgen ve daire enkesitler kullanmıştır. Godfrey ve Frederick (1970) verilerin analizi sonucu, Sooky (1969)'nin bulduğu boyutsuz yayılma katsayısının akım genişliğinin hidrolik yarıçapa oranına bağlı olarak arttığını göstermişlerdir. Buna karşı, Seo ve Cheong (1998), "Sooky (1969)'nin çalışmaları ile gerçek akarsulardaki doğal yayılma katsayısı açıklanamaz. Çünkü, gerçek akarsular uniform bir enkesite sahip olmadığı halde, Sooky (1969) uniform bir enkesit kabulünü yapmaktadır" şeklinde itirazda bulunmuştur. Bansal (1971) ise U.S. Geological Survey'den temin ettiği verilerle yaptığı çalışmalardan Sooky (1969)'yi destekler sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir .

Sümer (1970), ağırlıklı ve ağırlıksız maddelerin türbülanslı yayılmasına ilişkin deneysel bir çalışma yapmış ve 1) herhangi bir kesit şekline sahip düzgün doğrultulu bir akımda madde yayılışının tek boyutlu bir yayılma denklemi ile karakterize edilebileceği, 2) boyuna türbülans difüzyonu ile beraber kesit içerisinde hız ve konsantrasyon profillerinin uniform olmayışının ortak etkisi sonucu meydana gelen türbülans difüzyonunun süperpoze edilebileceği, 3) ağırlıklı katı maddelerin bir açık kanalda boyuna yayılışının tek boyutlu bir denklem ile ifade edilebileceği sonuçlarını çıkarmıştır.

Bansal (1971) yayılma katsayısının hesaplanmasına yönelik ampirik ve teorik bağıntıları inceleyerek özetlemiştir. U.S. Geological Survey'den temin ettiği verileri kullanarak boyutsuz yayılma katsayısının, akım genişliğinin hidrolik yarıçapa oranına bağlı olarak arttığını tespit etmekle Sooky (1969)'nin vardığı sonuçları desteklemiştir

McQuivey ve Keefer (1974) bir boyutlu doğrusal akım denklemi ile bir boyutlu yayılma denkleminin birleştirilmesi sonucu Froude sayısının 0,5'ten küçük değerleri için en küçük kareler yöntemi ile

$$D_1 = \frac{0.058Q}{SW}$$

denklemini geliştirmiştir. Burada, Q baz akım debisini göstermektedir. Her ne kadar bu araştırmacılar, geliştirdikleri bağıntıya basit bir denklem demişlerse de Fischer (1975) bu denklemin analitik temelden yoksun olduğu, çünkü mekanizma, taşkın dalgaları ve çözilemeyen maddeler için açık bir şekilde farklı olacağı şeklinde itiraz etmiştir. Kashefipour ve Falconer (2002) McQuivey ve Keefer (1974)'in (2.8) denklemini

$$D_1 = \frac{0.058HU}{S}$$

şeklinde vermiştir. Denklem (2.8) ve (2.9) aynı fakat farklı şekillerde gösterildiği ve ikisinde de birim genişlik debisi kullanıldığı anlaşılmaktadır .

Savcı (1970, 1972, 1973, 1977, 1987, 1989) sırasıyla, boyuna yayılma ile ilgili çalışmaların bir kritiğini yaparak bir seri deneysel çalışma ile batmış sıçrama durumunda maddenin boyuna yayılması, çözülebilir bir maddenin boyuna yayılması, hidrolik sıçramada maddenin boyuna yayılması ve Froude sayısının boyuna yayılma katsayısına etkisi, su kalitesi kontrolünde türbülans yayılması ve akımda türbülans yayılması gibi konuları ele almıştır. Genel olarak, boyuna yayılma ve batmış sıçramada çözilebilen bir maddenin boyuna yayılması konularında yapmış olduğu bir çok laboratuvar deneylerinin sonuçlarını yukarıda verilen çalışmalarında sunmakta

ve sabit kanal şartlarında cidar pürüzlülüğünün boyutsuz yayılma katsayısını artırdığı ve kanal cidar pürüzlülüğünün etkisinin taban pürüzlülüğünün etkisinden daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. Gözlem sonucu elde edilmiş yayılma katsayısının, teorik yayılma katsayısından daha büyük olduğunu tespit etmiş ve bu farklılığın, araştırmacıların yapmış oldukları kabul ve basitleştirmelerden kaynaklandığını belirtmiştir. Diğer taraftan Taylor (1954) ve Elder (1959)'in analitik sonuçlarının birbirinden farklı çıktığını da tespit ederek bu farklılığın araştırmacıların farklı hız dağılımlarını kullanmalarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir .

Liu (1977) akarsulardaki yayılma olayına yanal hız gradyanının rolünü de hesaba katıp Fischer (1967) denklemini kullanarak

$$D_1 = \beta \frac{0.011U^2W^2}{HU_*}$$

şeklinde yeni bir yayılma katsayısı denklemini geliştirmiştir. Burada, β akarsu enkesit şekli ve kesit boyunca hız dağılımının bir fonksiyonu olarak

$$\beta = 0.18\left(\frac{U_*}{U}\right)^{1.5}$$

denkleminde ifadesini bulan bir parametredir

Zhang (1995) Corrsin hipotezi üzerinde yeni bir analiz yaparak bu hipotez ile elde edilen doğrusal olmayan dinamik denklemin kesin sonuçlarını sunmuştur . Exponansiyel fonksiyona sahip bir hız alanı için, Corrsin yaklaşımının kesin sonuçları ile doğrusal ve yarı doğrusal teorilerin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Corrsin hipotezi sonuçlarının, değişkeni σ' olan eksponansiyel bir korelasyon fonksiyonu için boyuna asimptotik yayılma katsayısının σ' 'dan küçük değerleri için σ'^2 ile, büyük değerleri için ise σ' ile orantılı olduğu sonucuna varmıştır

Cardoso ve diğ. (1996) iki boyutlu türbülanslı akımda, pasif bir izleyicinin yayılmasını ve eş konsantrasyon eğrilerine bağlı geometriyi deneysel olarak tespit etmeye çalışmıştır. Deneysel sistem daha önce Tabeling ve diğ. (1991)'de kullanılan deney sistemlerinin aynısıdır. Çalışma ortamı 30x30 cm ebadında, PVC'den yapılmış

açık bir haznedir. Çalışılan sıvı, 3 mm kalınlıktaki bir tuzlu su tabakasıdır. Akım üretmek için haznenin bir tarafından diğer tarafına yatay olarak bir elektrik hattı döşenmiş ve akımın tam altında bir mıknatıs tabakası yerleştirilmiştir. Magnetik alan ile elektrik akımının karşılıklı etkileşimleri sonucu, yapısı mıknatıs tabakaları tarafından oluşturulan akım dolaşım sistemini üretmektedir. Tuzlu suyun flüoresanlı karışımı olan izleyici, sıvı durgun halde iken akımın tam ortasına enjekte edilmiştir. Sistemin destabilize olması için bir saniyeden daha az zaman geçmektedir. Ayrıca, yoğunluk etkilerini gidermek için sıvıya phenolphthalerin maddesi eklenmiştir.

Jobson (1997) kirliliğin nehirdeki hızını, kirletici pik konsantrasyonunun seyrelme derecesini ve kirliliğin belli bir noktadan geçmesi için gerekli zamanı tahmin etmek için modeller geliştirmiştir. Modeller, US Geological Survey tarafından boyut, boyuna eğim ve jeomorfik açıdan farklı tipte yüze yakın bir nehir dizisinden toplanan verilere dayanmaktadır. Geliştirdiği modelleri, drenaj alanları, topografya ve benzeri özellikler açısından birbirinden farklı iki akarsuya uygulamıştır.

Basha (1997) üniform olmayan eksenel bir hız dağılımı ile nehirlerde yayılma olayının analitik bir modelini sunmuştur. Yayılma olayının, izotropik olmayan türbülans difüzyon katsayıları dışında başka bir sabit ile iki boyutlu adveksiyon-yayılma denklemi ile tanımlanabileceğini ve akarsuyun yayılmaya izin vermeyen paralel banklarla yandan sınırlandırılmış prizmatik enkesite sahip sonsuz uzunlukta olduğu kabullerini yapmıştır. Konsantrasyon dağılımının önemli istatistik parametrelerinin çıkarılması için momentler yöntemini kullanmış ve konsantrasyon moment denklemlerini analitik olarak çözmüştür. Ayrıca çalışmasında, zamana bağlı iki boyutlu yayılma denklemini tek boyutlu olarak sadeleştirerek konsantrasyon momentlerinin hız dağılımı ile bağımlılığını ve dağılım şeklini analiz etmiştir.

Ayrıca, hız profilinin, karışım uzunluğu ve zamanı ile konsantrasyon çarpık dağılımı üzerindeki etkisini incelemiştir . Bununla birlikte, enjeksiyon senaryoları etkisinin geniş zamanlarda anlamlı olmadığını belirtmiş ve modelin prizmatik nehirlerin simülasyonunda basit, pratik bir araç olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Jackel ve Vereecken (1997)'de teorik alan metodu ile rastgele bir akımdaki efektif yayılma için makro yayılma katsayısı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bogle (1997) boyuna yayılmayı karakterize eden parametre değerlerini elde etmek için Sacramento Deltası ve Kuzey California ' dan alınan kesit hız dağılımı ölçümelerini analiz etmiştir. Fischer bu parametreleri, laboratuvar ölçümleri ile ideal durumlar için teorik dönüştürmeler yaparak ve gerçek akarsulardan elde edilmiş verileri kullanarak hesaplamıştır . Bogle (1997)'ın sonuçları, Fischer tarafından kullanılan parametre değerlerinin, delta akarsularındaki yayılmayı anlamlı derecede tahmin edebildiğini göstermiştir

Li ve Zhou (1997) doğal akarsularda boyuna yayılma için stokastik bir teori geliştirmişlerdir. Akarsu en ve taban kıvrımlarındaki düzensiz değişimleri, bir boyutlu uygun bir rastgele alan ile temsil etmiş ve boyuna çözelti taşınımını, bir boyutlu stokastik çözelti taşınımı bağıntısı ile açıklamıştır. Sınır değişkenleri küçük ve istatistiksel olarak homojen olduğu zaman, stokastik çözelti taşınımı bağıntısının, temsili bir stokastik teknik kullanılarak kapalı formda çözülebildiğini belirtmişlerdir. Sonuçları, geniş ölçekli boyuna taşınımın, efektif boyuna yayılma katsayısı ile açıklanabilen bir gradiyent yayılım ile temsil edilebileceğini göstermiştir. Bu katsayı, akarsu en ve boy kesitindeki akım değişimlerinin etkisi ile meydana gelen boyuna karışımı ifade etmektedir . Araştırmacılar bu katsayının, uniform kanallardakinden daha büyük olabildiği sonucuna varmıştır. Özellikle akımın ortalama Froude sayısının yüksek olduğu durumlarda ve nehir en ve taban kıvrımları arttığı zaman, doğal akarsular ile uniform kanallar arasındaki farklılığın arttığını belirtmişlerdir. Bu analizlerinin, Taylor (1953, 1954), Elder (1959) ve Fischer (1967)'den bu yana doğal akarsularda boyuna taşınım konusundaki teorik çalışmaların başında gelen yeni bir gelişmeyi temsil ettiğini iddia etmişlerdir .

Al Naib ve Sanders (1997) bir kanalın içine doğru yatık ve düşey vuruşlar (çarpmalar) yapan bir su jetinin kenarlarının aşınması ve yayılması ilkelerinin genelleştirilmesini araştırmış ve ilgili bağıntıları geliştirmişlerdir. Lazer dopplerin anemometre tekniği, akım içine girmeksizin ortalama hızların ölçülmesi için uygulanmıştır. Aynı zamanda kanallardaki akımın dolaşım halindeki üç boyutlu durumunun araştırılması için de bu teknik kullanılmıştır . Deneyde, jet eğimli kanal

tabanı ile 45°'den 90°'ye kadar değiştirilerek farklı eğimler, aynı zamanda kanal genişlik ve derinliğinin jet çapına oranının farklı değerleri ve akımın değişik Froude sayıları için de çalışılmıştır.

Strack ve Fairbrother (1997) hareketli cephe yayılması için Strack (1992) tarafından sunulmuş olan diferansiyel denklemi nümerik bir yöntemle çözmüştür. Bu, yayılmanın boy ile sınırlı olduğu konveksiyon-yayılma esaslı klasik denklemlerden (Scheidegger, 1954; Bear, 1960; Bear ve Bachmat 1965) farklıdır. Bu nümerik yöntem, sonsuz uzunlukta bir akarsu hattının bir noktasına konsantrasyon yığılması durumu için özetlenmiştir. Nümerik çözüm kesin çözümle karşılaştırılarak kanıtlanmıştır .

Guymer (1998)'de planda-sinüs şeklinde geniş ölçekli bir kanal üzerinde yapılan bir seri laboratuvar deneyinin sonuçları sunulmuştur. Kanal, farklı enkesit şekline sahip beş bölgeye ayrılmıştır. Belli yerlere fluorometre yerleştirilerek konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Böylece farklı enkesit şekillerine göre yayılmanın nasıl olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda debiler de değiştirilerek konsantrasyonlar ölçülen ve yayılmanın debi ile değişimi de belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta, doğal enkesitli kanal geometrisinin, güçlü bir çarpık dağılım gösterdiği ve boyuna yayılma parametresini % 150 arttırdığı tespit edilmiştir .

Koussis ve Mirasol (1998), Fischer (1967, 1968, 1975) tarafından sunulan orijinal teori ve bağıntıları kullanıp von Karman sabitinin değerini Fischer (1975) denkleminde yerine koyarak

$$D_1 = \frac{\phi U . W^2}{H}$$

şeklinde yeni bir denklem geliştirmiştir. 16 veri kümesine regresyon analizinin uygulanması sonucu ϕ 'nın değeri 0.6 olarak bulunmuştur. Fischer (1975)'in sonuçları ile karşılaştırıldığında kendi sonuçlarının ölçülen verilere çok daha yakın olduğu görülmüştür

Seo ve Cheong (1998), Elder (1959)'in çalışmasına değinerek doğal akarsularda yayılma katsayısının tahmini için kullanılamayacağını belirtmiştir. Çalışmalarında, ABD'de 26 akarsu üzerinde ölçüm yapılarak elde edilen 59 veri kümesinden 35'i

kullanılmıştır. Tek adımlı Huber metodu için regresyon ve boyut analizlerinden yararlanılarak akarsularda boyuna yayılma katsayısını veren

$$\frac{D_1}{HU_*} = 5.915 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{1.428}$$

denklemini geliştirilmiştir. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan ölçüm sonucu elde edilmiş ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da kullanılan 81 veri kümesine Seo ve Cheong (1998)'in denklemini uygulamış ve sonuçlarını aynı veri kümesindeki ölçülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucu, hem hesaplanan hata türlerine, hem de korelasyon ve diğer istatistiksel kriterlere göre, Seo ve Cheong (1998)'in denkleminin, Elder (1959) ve Fischer (1975)'in bağıntılarından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında Fischer (1975)'in sonuçları ile Seo ve Cheong (1998)'in sonuçları arasında 0,87 değerinde bir korelasyon olduğu ve Cheong (1998)'in denklemini de Fischer (1975)'in denklemini gibi, ölçülen verilerden daha yüksek sonuçlar verdiği (maksimum değer iki kattan fazla ve minimum ve ortalama değerler yaklaşık iki kat) görülmüştür.

Benson ve diğ. (2000)'de kısmi bir konveksiyon-yayılma denkleminin uygulaması sunulmuştur .

Bidwell (2000)'de çözünen maddenin bir boyutlu taşınımını tahmin etmek için sayısal analize dayalı bir yöntem sunulmuştur.

Swamee ve diğ. (2000) dış kaynaktan bir akarsuya enjekte edilen çözülebilir bir maddenin boyuna yayılması ile ilgili en son yapılan çalışmaları sunmuştur . Çalışmada, kütle-zaman eğrisi için iki taraflı logaritmik ve üstel eşitliğin kabulü ile bir akarsuyun belli bir noktasının mansabında herhangi bir noktadaki çözünen maddenin konsantrasyonunun hesaplanması için bir denklem geliştirilmiştir. Ayrıca, boyut analizi kullanılarak bazı yayılma parametreleri ve bunların akım özellikleri ile kanalın geometrisi üzerine etkileri açıklanmıştır .

Baeumer ve diğ. (2001) izleyici taşınımını için kullanılan klasik konveksiyon-yayılma denkleminin uygulama alanını genişleten "subordination" adlı matematiksel bir

yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde zaman değişkenin, farklı partiküller ile denenmiş operasyon zamanı ile temsil edilerek rastgele olması sağlanmıştır.

Pasquero ve diğ. (2001) iki boyutlu türbölánsta daneli malzemenin yayılmasının belirlenmesinde standart stokastik model performansını incelemiştir. Birbiri ile bitişik girdapların varlığı nedeni ile iki boyutlu türbölánsta tanecik yayılması Gaussian olmayan hız dağılımı ve eksponansiyel olmayan bir hız otokorelasyonu ile karakterize edilmiştir.

Gandolfi ve diğ. (2001)'de bir akarsuda çözünenin taşınımı denklemini bir boyutlu olarak ele alınmış ve üç farklı durum için incelenmiştir. İlk durumda bir çözelti kütlesi akarsuyun her hangi bir kesitinde $x = 0$ noktasına enjekte edilmiş ve konsantrasyonun $x = -\infty$ ve $x = +\infty$ da sıfır olacağı kabul edilmiştir . Yani çözelti akarsuya enjekte edildikten sonra hem memba ve hem de mansaba doğru hareket edebilmektedir. İkinci durumda çözeltinin sadece mansaba doğru hareket ettiği kabul edilmiştir. Bu durumda membaya doğru bir taşınım söz konusu olmamaktadır.

Üçüncü durum ise yayılmasız olanıdır ki bu durumda, ne memba ne de mansaba doğru bir taşınımdan söz edilebilmektedir. Sonunda, yayılmanın ihmal edilebileceği durumlarda ve akarsulara boşaltılan noktasal su kalite gözlem ve modelleme çalışmalarının ön inceleme safhasında kullanılabilecek basit formüller geliştirilmiştir. Çalışmada, İtalya'da bir nehre giren evsel deterjan atıkları incelenmiştir.

Kashefipour ve Falconer (2002) akarsularda boyuna yayılma katsayısının tahminine yönelik son çalışmalardandır. Çalışmada, ABD'de 30 akarsuda yerinde ölçüm sonucu elde edilen 81 veri kümesi kullanılmıştır. Sonuçta regresyon ve boyut analizleri yöntemleri ile akarsularda boyuna yayılma katsayısını veren

$$D_1 = 10.612 HU \frac{U}{U_*}$$

$$D_1 = \left[7.428 + 1.775 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{0.572} \right] HU \frac{U}{U_*}$$

denklemleri önerilmiştir. Bu denklemlerin sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki determinasyon katsayılarının sırasıyla $R^2 = 0.84$ and $R_2 = 0.80$ gibi yüksek değerlerde olduğu belirtilmiştir . Özellikle akarsulardaki boyuna yayılma katsayısı için geliştirilmiş mevcut diğer ampirik denklemlerle dört farklı istatistik kriter ile yaptıkları karşılaştırma sonucu sonuçların ölçülen verilere daha çok benzediği iddia edilmiştir. Toprak ve diğ. (2003) hesapları gözden geçirdiklerinde (2.14) ve (2.15) denklemlerinin sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki determinasyon katsayılarının, çalışmada belirtildiği gibi yüksek olmadığı fark edilmiştir. Hesaplar yeniden tekrarlandığında çalışmada sözü edilen katsayıların sırasıyla logaritmik koordinat sisteminde $R^2_{14} = 0.3238$, $R^2_{15} = 0.3197$, Kartezyen koordinat sisteminde ise $R^2_{14} = 0.393$ ve $R^2_{15} = 0.3853$ olduğu görülmüştür. Ayrıca korelasyon katsayısının yüksek olması her zaman model sonuçlarının ölçülen veriler ile uyum içinde olduğu anlamına gelmemektedir.

Dikkatli bir incelemeden sonra ve Seo ve Cheong (1998)'in (2.13) denklemi ile Kashefipour ve Falconer (2002)'in (2.14), (2.15) denklemleri ölçülen verilere uygulandığında bu denklemler arasında sırasıyla 0.981 ve 0.992, ayrıca (2.14) ve (2.15) denklemleri arasında ise 0.997 gibi çok yüksek bir korelasyon olduğu görülmüştür. Buna karşılık, bu üç denklem ile ölçülen veriler arasında sırasıyla 0.603, 0.627, 0.621 gibi daha düşük bir korelasyon katsayısı hesaplanmış ve bu bağıntıların sonuçlarının rölatif hatalarının yüksek olduğu görülmüştür. Bu tespitlere rağmen Toprak ve diğ. (2003) tarafından, Kashefipour ve Falconer (2002)'de önerilen (2.14) ve (2.15) denklemlerinin, aynı çalışmada karşılaştırıldıkları Elder (1959), Fischer (1975), Liu (1977), Kousis ve Mirasol (1998) ve Seo ve Cheong (1998)'in önerdiği denklemlerden daha iyi sonuç verdiği teyit edilmiştir.

2.3 Önceki Çalışmaların değerlendirilmesi ve sonuç

Bu konudaki çalışmaları ana hatları ile, çalışılan akım ortamına göre, amacına göre, izleyici türüne göre ve kullanılan yöntemle göre sınıflandırılabilir Toprak (2003). Bir önceki bölümdeki incelenen çalışmaların büyük bir çoğunluğunun temeli Taylor (1953,1954) analizlerine dayanmaktadır. Bu çalışmada da geliştirilen matematiksel model Taylor (1953,1954) ve Elder (1959)'in çalışmalarına dayanmaktadır. Ancak yöntem olarak farklı çalışmalarda yapılmıştır. Literatürde en çok regresyon analizi (Koussis ve Mirasol, 1988; Seo ve Cheong, 1998; Kashefipour ve Falconer, 2002), boyut analizi (Kashefipour ve Falconer, 2002), nümerik metodlar (Bogle, 1997),

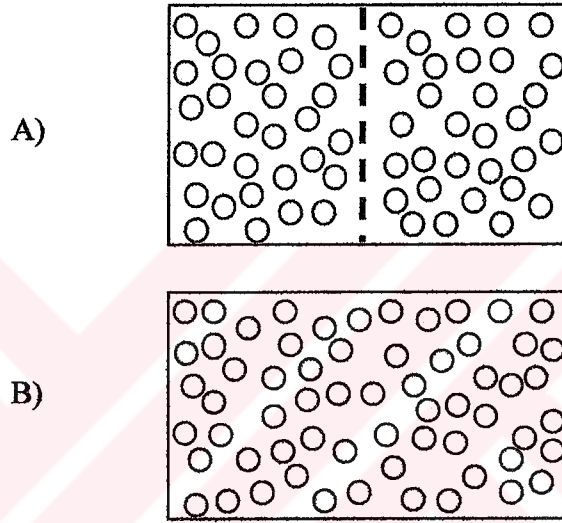
analitik metotlar (Cushman ve Ginn 2000), stokastik yaklaşımlar (li ve Zhou, 1997) gibi çok sayıda metodun kullanıldığını görmek mümkündür. Bu çalışmalar akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını tahmin etmek için kullanıldığı zaman en iyi sonuçların Toprak (2003) ifade ettiği üzere kendi çalışmasında kullandığı 96 adet akarsu verisine dayanarak sırasıyla (Kashefipour ve Falconer) (2002)(1) Kashefipour ve Falconer) (2002)(2) ve Seo & Cheong (1998) çalışmaları tarafından elde ettiği belirtilmiştir. Bu çalışmada da Toprak (2003) kullandığı deney verilerinin büyük çoğunluğu kullanılarak başarı sırasının aynı olduğu teyit edilmiştir. Dolayısı ile elde edilen yeni denklemin yukarıdaki modellerle karşılaştırmasını yapmak yeterli görülmüştür.



3. DISPERSİYON OLAYININ MEKANİZMALARI

3.1 Difüzyon

Difüzyon: Meloküllerin kinetik enerjilerine bağlı olarak rasgele hareketlerine difüzyon denir. Difüzyon, kısıtlanmadığı sürece her yöne doğru olur.



Şekil 3.1 Difüzyon olayı

Şekil 3.1a da kapta bulunan yoğunluğu farklı iki çözeltinin arasındaki set kaldırılırsa bir süre sonra yoğunluğu yüksek olandan düşük olana doğru madde karışmaya başlayacaktır. Daha önce bahsedildiği üzere bu karışım çok yavaştır ancak bir karıştırıcıyla çalkantı yapılırsa karışım çok daha hızlı olacaktır,

3.1.1 Fick'in difüzyon kanunu

Fick'in difüzyon kanunu Fourier'in (1822) ısı akımı kanuna çok benzer.

- Fourier'in Isı Akım Kanunu (1822)

- Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı o doğrultudaki sıcaklık gradyanına bağlıdır

Fourier	Fick
ısı	kütle
sıcaklık	konsantrasyon

Tablo 3.1 ‘Fourier ve Fick’in ısı ve difüzyon kanunlarının karşılaştırılması’

- Fick’in Difüzyon Kanunu (1855)

Çözünmüş kütle akısı , birim zamanda birim alandan geçen kütle akısı o doğrultudaki çözelti konsantrasyonunun gradyanına bağlıdır

$$q = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.1)$$

q =çözünmüş kütle akısı

c =difüze olan kütle konsantrasyonu

D =moleküler difüzyon katsayısı (m^2/sn)

- Eksi işareti taşınımın yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru olduğunu gösterir.

Denkleminin 3 boyutlu gösterimi:

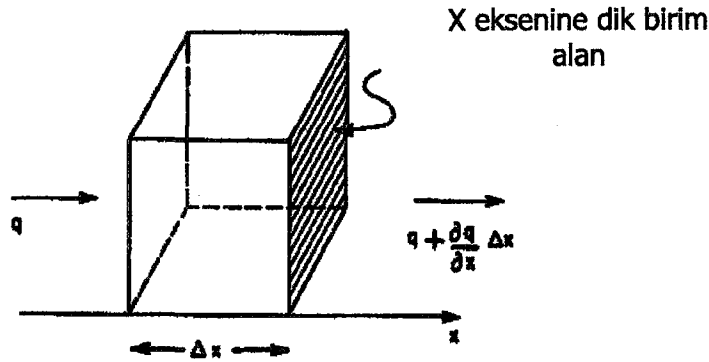
$$q = -D \nabla C \quad (3.1a)$$

$$\vec{q} = \vec{i}q_x + \vec{j}q_y + \vec{k}q_z \Rightarrow \text{vektör}$$

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

3.1.2 Kütlenin korunumu

- Bir boyutlu taşıma mekanizması



Şekil 3.2 ‘Bir boyutlu taşıma mekanizması’

$$\text{Hacimdeki birim zamanda kütle değişimi} = \frac{\partial C}{\partial t} (\Delta x \cdot 1)$$

$$\text{Hacimdeki net kütle değişimi} = q - \left(q + \frac{\partial q}{\partial x} \Delta x \right) = -\frac{\partial q}{\partial x} \Delta x$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} \Delta x = -\frac{\partial q}{\partial x} \Delta x$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} \quad (3.2)$$

(3.1) denklemini (3.2)'de yerine konursa;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(-D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

Kütlenin korunum denkleminin 3 boyutlu gösterimi;

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} = 0 \quad (3.4)$$

$\vec{q}$ kütle akısını aşağıdaki taşıma mekanizmaları için düşünelim.

- Moleküler difüzyon $q = -D \nabla C$
- Konveksiyon $\vec{q} = C \vec{u}$

Bu iki mekanizma toplanabilir.

$$\vec{q} = C \vec{u} - D \nabla C \quad (3.5)$$

3.5 denklemini 3.4'de yerine koyarsak

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \vec{u} - D \nabla C) = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \vec{u}) = D \nabla^2 C \quad (3.6)$$

$$(i) \nabla \cdot (C \vec{u}) = (\nabla C) \cdot \vec{u} + C (\nabla \cdot \vec{u})$$

(a)

$$(a) = \nabla \cdot \vec{u} = \left(\frac{\partial \vec{u}_x}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \vec{u}_y}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \vec{u}_z}{\partial z} \right) = 0 \quad (\text{süreklilik})$$

$$\nabla \cdot (C \vec{u}) = \nabla C \cdot \vec{u}$$

$$= \left(\vec{i} \frac{\partial C}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial C}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \cdot (u_x \vec{i} + u_y \vec{j} + u_z \vec{k})$$

$$= \left(u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

$$(\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = \vec{k} \cdot \vec{k} = |\vec{i}| \cdot |\vec{i}| \cdot \cos 0 = 1)$$

$$(\vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \vec{k} = \vec{k} \cdot \vec{i} = 0)$$

3.6 denklemi aşağıdaki hale gelir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla C \cdot \vec{u} = D \nabla^2 C$$

Sadece moleküler difüzyon dikkate alınırsa **moleküler difüzyon denklemi** (3.3) denkleminin 3 boyutlu hali elde edilmiş olur.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$

(lineer 2. derece kısmi diferansiyel denklem)

3.1.3 Konvektif difüzyon

Konveksiyon akışkanın hız alanı dolayısıyla yani hareketiyle meydana gelen taşınımıdır.

Konvektif-difüzyon denklemi

- $\vec{u}$ hızıyla hareket eden akışkanın hızı aşağıdaki vektörel formda yazılabilir.

$$\vec{u} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

- konveksiyon ve difüzyonla taşınım birbirinden ayrı fakat toplanabilir taşınım mekanizmalarıdır.
- Konvektif akı = Akışkanın hızı dolayısıyla birim alandan geçen kütle oranıdır ve q_u ile ifade edilirse

$$q_u = u.C$$

<detay> $\text{kütle} = \text{hacim} \cdot \text{konsantrasyon} \quad (M = L^3 \frac{M}{L^3})$

$$\begin{aligned} \text{kütle oranı} &= \text{hacim oranı} \cdot \text{konsantrasyon} = \text{deşarj (debi)} \cdot \text{konsantrasyon} \\ &= \text{hız} \cdot \text{alan} \cdot \text{konsantrasyon} \quad (\text{birim alan için düşünülürse}) \\ &= \text{hız} \cdot \text{konsantrasyon} \end{aligned}$$

- Konvektif akı ve difüzyon akısından meydana gelen toplam kütle oranı aşağıdaki gibi yazılır.

$$q = uC + (-D \frac{\partial C}{\partial x}) \quad (3.7)$$

(3.7) denklemini kütle korunumu denkleminde yerine yazarsak;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (uC - D \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uC) = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

- **3 boyutlu Konvektif-Difüzyon denklemi**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{q}$$

$$(\text{diverjans}) = -(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z})$$

Kütle taşınım oranı

$$\vec{q} = C\vec{u} - D\nabla C \quad (\text{gradyan}) = (\frac{\partial C}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial C}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial C}{\partial z} \vec{k})$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(C\vec{u} - D\nabla C) = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(C\vec{u}) = D\nabla^2 C \quad (3.6)$$

(i)

$$(i) = \nabla \cdot (C\vec{u}) = (\nabla C) \cdot \vec{u} + C(\nabla \cdot \vec{u}) \quad (a)$$

$$(a) = \nabla \cdot \vec{u} = \left(\frac{\partial \vec{u}_x}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \vec{u}_y}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \vec{u}_z}{\partial z} \right) = 0 \quad (\text{süreklilik})$$

$$\nabla \cdot (C \vec{u}) = \nabla C \cdot \vec{u}$$

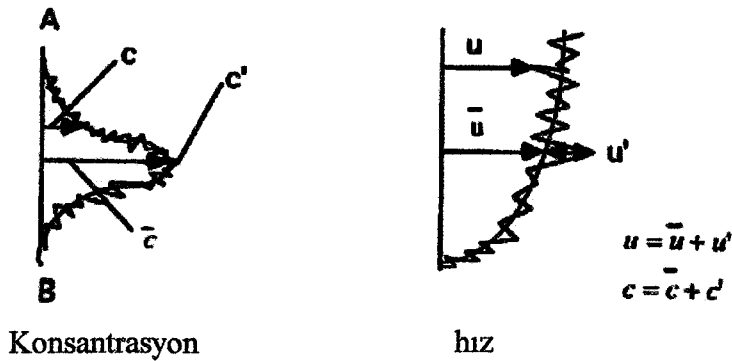
$$\begin{aligned} &= \left(\vec{i} \frac{\partial C}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial C}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \cdot (u_x \vec{i} + u_y \vec{j} + u_z \vec{k}) \\ &= \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

(3.6) denklemi aşağıdaki hali alır. Bu denklem 3 boyutlu konvektif difüzyon denklemdir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (3.8)$$

3.2 Türbülans Difüzyonu

Akarsuya bir noktadan bırakılan kütle türbülanslı akımda laminar akımdakine göre çok daha hızlı yayılır. Ayrıca bu yayılım moleküler difüzyondan da çok hızlıdır. Örneğin durgun suya bırakılan boya 24 saat içinde en fazla 1 metre yol alır fakat türbülanslı akımdakine benzer şekilde bir karıştırıcıyla çalkantı yapılırsa boya büyük bir hızla suya karışır.



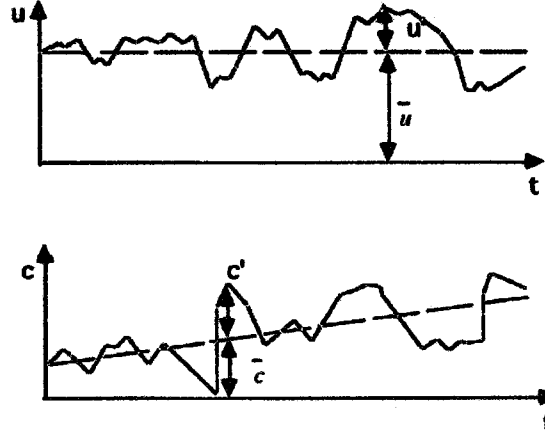
Şekil 3.3 (a) Türbülanslı akım ortamında c' ve u' sapmaları

Şekil 3.3 (a),(b) de görüldüğü üzere ortalama konsantrasyonda ve ortalama hızda türbülans dolayısıyla sapmalar olmaktadır.

$\bar{u}, \bar{c}$ = sırasıyla hız ve konsantrasyonun zamansal ortalamalarıdır.

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$$

$$\bar{u}' \equiv 0$$



Şekil 3.3 (b) ‘Türbülanslı akım ortamında c’ ve u’ sapmaları’

2- Boyutlu konvektif-difüzyon denklemi

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} = D_m \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (3.9)$$

$\frac{\partial vc}{\partial y}$ = y doğrultusundaki türbülans hareketine bağlıdır yani aslında y yönünde akım hareketi yoktur sadece türbülansa bağlı sapmalar vardır.

$$u = \bar{u} + u'$$

$v = v'$ (akım y yönünde hareket etmemektedir sadece v hızının sapması vardır.)

$$c = \bar{c} + c'$$

u = herhangi bir andaki hız

$\bar{u}$, $\bar{c}$ = kesitsel ortalama hız ve konsantrasyon

u' , c' = kesitsel ortalama hızdan ve konsantrasyondan sapma

Yukarıdaki verilenler (3.8) denkleminde yerine konur ve denklemin zamansal ortalamaları (averaj) alınırsa ;

$$\frac{\partial (\bar{c} + \bar{c}')}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u} + \bar{u}')(\bar{c} + \bar{c}')}{\partial x} + \frac{\partial v'(\bar{c} + \bar{c}')}{\partial y} = D_m \frac{\partial^2 (\bar{c} + \bar{c}')}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 (\bar{c} + \bar{c}')}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{uc}}{\partial x} = D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} - \frac{\partial \bar{c'}}{\partial t} - \frac{\partial \bar{uc'}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u'c}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u'c'}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v'c}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v'c'}}{\partial y} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c'}}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c'}}{\partial y^2}$$

Reynold's zamansal ortalama (averaj) kuralları (Schlichting, 1979)

$$\begin{aligned}\bar{\bar{f}} &= \bar{f} \\ \overline{f+g} &= \bar{f} + \bar{g} \\ \overline{f \cdot g} &= \bar{f} \cdot \bar{g} \\ \frac{\partial \bar{f}}{\partial s} &= \frac{\partial \bar{f}}{\partial s} \\ \int \bar{f} \cdot ds &= \int \bar{f} ds\end{aligned}$$

Not : $\bar{u'} = \bar{v'} = 0$, $\bar{c'} = 0$ ve $\frac{\partial \bar{c'}}{\partial t} = 0$

Sıfır olan terimler Reynolds zamansal ortalama kuralları uygulanarak denklemden düşerse

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{uc}}{\partial x} = D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} - \frac{\partial \bar{u'c'}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v'c'}}{\partial y} \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial \bar{u'c'}}{\partial x}, \frac{\partial \bar{v'c'}}{\partial y} = u', v', c' \text{ sapmalarına bağlı konvektif taşınımıdır.}$$

- Elder (1959) yukarıdaki ifadelerin deneysel olarak aşağıdaki ifadelere eşit olduğunu göstermiştir.

$$\bar{u'c'} = -\epsilon_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \quad (3.11a)$$

$$\bar{v'c'} = -\epsilon_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \quad (3.11b)$$

burada ϵ_x, ϵ_y = türbülans difüzyonu katsayısıdır.

(3.11)(a,b) ifadelerini (3.10) denkleminde yerine koyup üst çizgileri düşürüp denklemi yeniden düzenlersek;

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + (D_m + \varepsilon_y) \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (3.12)$$

Moleküler difüzyon türbülans difüzyonu yanında ihmal edilebilecek düzeyde küçüktür.

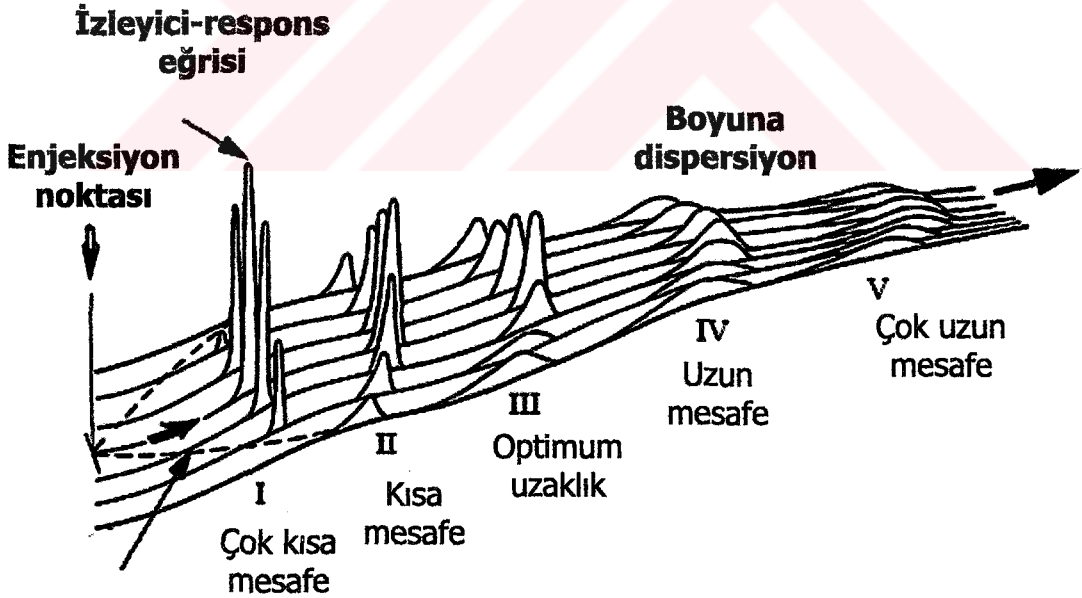
$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \varepsilon_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \varepsilon_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}$$

3 boyutlu akım için;

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \varepsilon_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \varepsilon_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \varepsilon_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

3.2.1 Boyuna dispersiyon

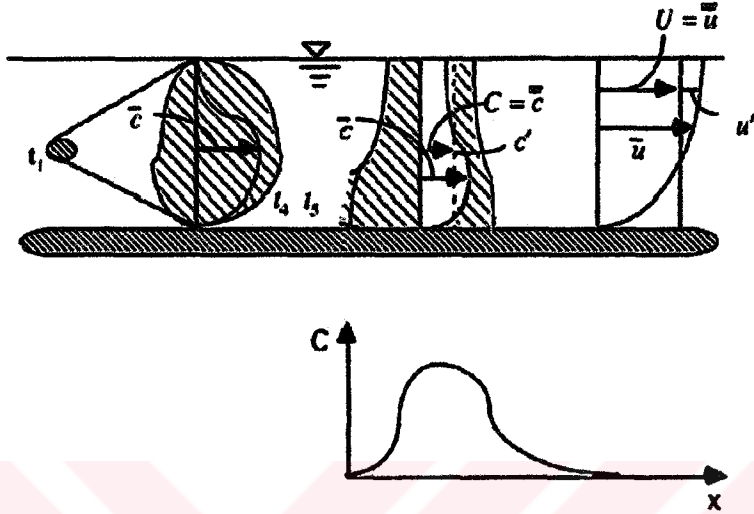
Dispersiyon maddenin herhangi bir ortamda 3 boyutlu olarak yayılmasıdır. Aşağıdaki şekilde enjeksiyon noktasına bırakılan izleyici maddenin yayılışını inceleyelim.



Şekil 3.4 İzleyici maddenin boyuna dağılımı

İzleyici madde şekilde görüldüğü gibi orta noktadan bırakılmıştır bu yüzden I noktasında ortada konsantrasyon daha yüksektir ve izleyici madde henüz cidarlara ulaşmamıştır. II noktasında ise izleyici madde yavaş yavaş kesit içerisinde

dağılmaktadır ve izleyici madde en son akım çizgisine ulaşmıştır. III noktasında ise ortadaki akım çizgisindeki konsantrasyon hala kenarlara göre daha yüksektir. IV noktasında ise yanal karışım tamamlanmıştır, artık bundan sonra **boyuna dispersiyon** önem taşıyacaktır. Yanal yöndeki karışım tamamlanıncaya kadar geçen süreye başlangıç periyodu yada **Taylor periyodu** denmektedir.



Şekil 3.5 'Atık madde bulutunun ilerleyişi'

Yukarıdaki şekilde t₁ anında bırakılan madde t₄ anında düşey yönde karışımını tamamlamıştır ve konsantrasyon dağılımı şekilde görülmektedir. T₅ anında ilerleyen madde bulutu artık tamamen kesite yayılmıştır.

Başlangıç periyodundan sonra önem kazanan boyuna dispersiyonun denklemi (bir sonraki kısımda nasıl çıkarıldığı anlatılacak), akım doğrultusu boyunca taşınan ve akıma karışarak ilerleyen atık madde akımını ifade eden hareket denklemidir. Dispersiyon denkleminin çok fazla değişkenin bulunması ve bu durumuyla çözümünün neredeyse olanaksız hale gelmesi ile başlangıç periyodundan sonra yalnız boyuna dispersiyonun önem kazanarak tek değişken durumuna gelmesi (diğer doğrultularda değişiklik ve değişkenlerin ihmal edilmesiyle) dispersiyon ile ilgili çalışmaların büyük bölümünün boyuna dispersiyon konusuna kaydırılmasına neden olmuştur. Kirlilik ile ilgili pratik problemlerden en önemlileri boyuna dispersiyon mekanizmasının anlaşılmasıyla çözülebilir duruma gelmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır.

1-) Akarsuya karışan tehlikeli radyoaktif ve kimyasal maddelerin konsantrasyon ve konumlarının akım boyunca belirli kesitlerde hesaplanması.

2-) Endüstriyel ve kentsel atıklardaki yüksek konsantrasyonlu periodik kurşun vs. atıkların dağılımlarının belirlenmesi.

3.2.2 Boyuna dispersiyon denklemi

Akım iki boyutlu olarak düşünüldüğünden iki boyutlu konvektif-difüzyon denklemini (3.9) yazalım.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + (D_m + \varepsilon_y) \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \bar{u} &= U + u' & \bar{u}' &= 0 \\ \bar{c} &= C + c' & \bar{c}' &= 0 \end{aligned}$$

U, C = Hız ve konsantrasyonun kesitsel ortalaması

$\bar{u}, \bar{c}$ = Herhangi bir andaki hız ve konsantrasyon.

u', c' = Kesitsel hız ve konsantrasyonlardan sapmaları göstermektedir.

(3.9) denkleminin zamansal ortalamalarını alırsak

$$\frac{\partial(C + c')}{\partial t} + (U + u') \frac{\partial(C + c')}{\partial x} = (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2(C + c')}{\partial x^2} + (D_m + \varepsilon_y) \frac{\partial^2(C + c')}{\partial y^2}$$

Burada üst çizgiler zamansal ortalamayı göstermektedir. Reynolds zamansal ortalama kuralları uygulanıp değeri sıfır olan terimler denklemden düşürülürse;

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + (D_m + \varepsilon_y) \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{\partial \overline{u'c'}}{\partial x} \quad (3.14)$$

$\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$ ifadesi ihmal edilir çünkü yanal karışım tamamlanmıştır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial \overline{u'c'}}{\partial x} \quad (3.15)$$

Taylor (1953,1954) u' sapma hızına bağlı boyuna konvektif taşınımın C kesitsel ortalama konsantrasyonunun gradyanına bağlı olduğu göstermiştir.

→ **Boyuna dispersiyon**

$$-\overline{u'c'} + (D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = K \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.16)$$

K boyuna dispersiyon katsayısıdır.

Türbülanslı uniform bir akımda; difüzyon terimi konvektif taşınım yanında ihmal edilebilir. Aşağıda da görüldüğü gibi difüzyon terimi %1 mertebesindedir.

$$(D_m + \varepsilon_x) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \ll -\overline{u'c'}$$

%1 %99

(3.16) denklemi (3.15) denkleminde yerine konursa 1 boyutlu dispersiyon denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.17)$$

1 boyutlu boyuna dispersiyon denklemi $x > \frac{0.4Uh^2}{\varepsilon_t}$ (Taylor periyodu) için geçerlidir. Bunun nedeni yanıl karışımın tamamlanıp karışım sadece boyuna doğrultuda olduğu içindir.

$$x > \frac{0.4Uh^2}{\varepsilon_t} \quad \longrightarrow \quad \text{(Taylor periyodu)}$$

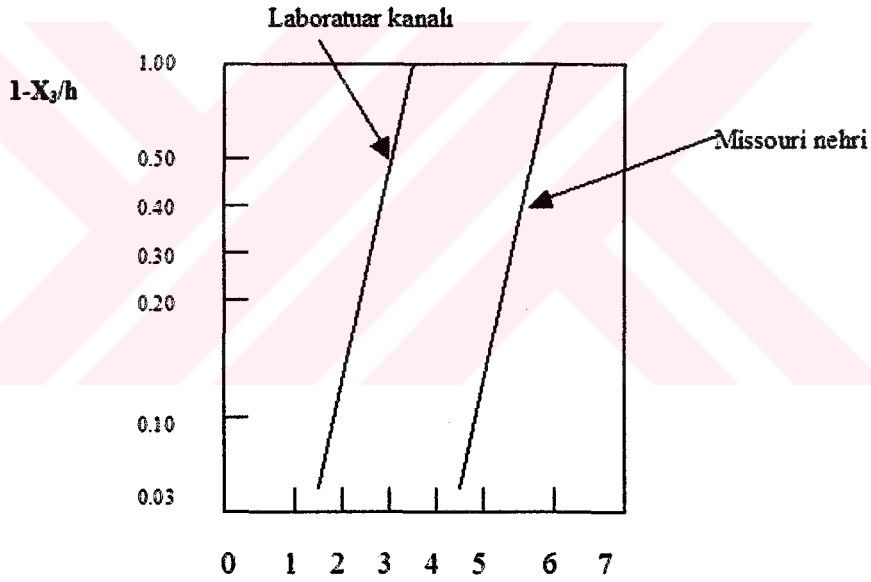
U= kesitsel ortalama hız

h=su derinliği

ε_t = enine türbülans difüzyonu katsayısı.

4. SONSUZ GENİŞ AÇIK KANALLARDA BOYUNA DİSPERSİYON KATSAYISININ BULUNMASI

Kolaylık olsun diye ilk önce açık kanallarda boyuna dispersiyon katsayısının nasıl bulunduğunun incelenmesi faydalı olur. Bu akım halinde hız dağılımı logaritmik kanuna uyar ve tabiattaki ölçmelerle üst üste düştüğü Şekil 4.1 den görülmektedir. Şekil 4.1 de Missouri Nehrinde yapılan ölçmeler sonucu bulunan sonuçlar (Vanoni 1963) yarı logaritmik ölçekte gösterilmiştir.



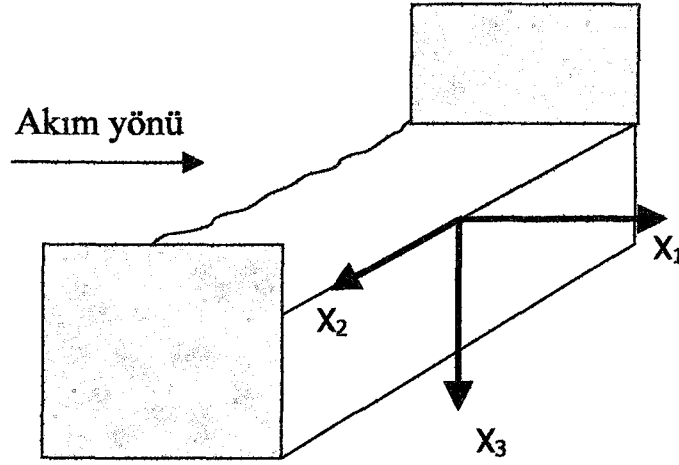
Şekil 4.1 'Düşey yönde logaritmik hız dağılımı'

Elde edilen bu noktalar ;

$$U_1 - U_1^{\max} = \frac{U_*}{k} \ln\left(1 - \frac{X_3}{h}\right) \quad (4.1)$$

Şeklindeki logaritmik profile uymaktadır. Dolayısı ile bu şekildeki hız profili açık kanallarda rahatlıkla kullanılabilir. Burada k karman sabitidir.

Kartezyen koordinat sistemi şekil:4.2 deki gibi seçilsin.



Şekil 4.2 ‘Açık kanal kesiti’

Türbülanslı bir akım alanının kapsadığı katı maddelerin C zamansal ortalama konsantrasyonunun sağladığı korunum denklemi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_1 \frac{\partial C}{\partial X_1} + U_2 \frac{\partial C}{\partial X_2} + U_3 \frac{\partial C}{\partial X_3} = \frac{\partial}{\partial X_1} (\epsilon_1 \frac{\partial C}{\partial X_1}) + \frac{\partial}{\partial X_2} (\epsilon_2 \frac{\partial C}{\partial X_2}) + \frac{\partial}{\partial X_3} (\epsilon_3 \frac{\partial C}{\partial X_3}) \quad (4.2)$$

X_3 doğrultusunda akım hızı sıfırdır, dolayısıyla $U_3=0$ dır. $U_2=0$ alınacaktır çünkü sekonder akımların etkisi ihmal edilmiştir. Yapılan kabuller aşağıda kısaca maddeler halinde toplanmıştır.

- Moleküler difüzyon türbülans difüzyonu yanında ihmal edilmektedir.
- Dispersiyon maddesi korunmaktadır.
- Akım yalnız X_1 doğrultusundadır.
- Boyuna türbülans difüzyonunu karakterize eden $\epsilon_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ terimi diğer

terimler yanında çok küçüktür

- Aşağıdaki tarifler yapılsın

$$c = C_m + c' \quad , \quad U = U_{lm} + u' \quad , \quad \xi = X_1 - U_{lm}t$$

Burada C_m , U_{lm} kesitsel ortalama hızlar ve konsantrasyonlardır. c' , u'

kesitsel ortalama konsantrasyonlardan sapmayı ve (ξ, X_3) ortalama akım hızıyla hareket eden eksen takımıdır.

- Olay iki boyutlu olarak düşünülmektedir. Yani X_2 'li terimler denklemden düşmektedir

- $\frac{\partial c'}{\partial \xi} \cong 0$ ve $\frac{\partial \bar{c}}{\partial \xi} \cong \text{sabit}$ alınmaktadır (Taylor (1954))
- X_3 doğrultusunda akım hızı sıfırdır , dolayısıyla $U_3=0$ dır
- $U_2=0$ alınacaktır çünkü sekonder akımların etkisi ihmal edilmiştir.
- Akımın zamanla değişmediği $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ kabul edilmiştir.

Yapılan kabuller doğrultusunda aşağıdaki denklem elde edilir.

$$(U - U_{lm}) \frac{\partial C_m}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial X_3} (\epsilon_3 \frac{\partial c}{\partial X_3}) \quad (4.3)$$

Bu halde (3.3) denkleminin integre edilebilmesi için ϵ_3 türbülans difüzyonu katsayısının bilinmesi lazımdır. Türbülans dolayısıyla X_3 doğrultusunda momentum, madde , yada ısı iletimi tam olarak birbirine analogtur (Elder 1959).

$$\epsilon_3 = \frac{\tau}{\rho \frac{\partial U_1}{\partial X_3}} \quad (4.4)$$

Burada τ kayma gerilmesidir ve X_3 boyunca dağılımı ;

$$\tau = -\tau_0 \frac{X_3}{h} \quad (4.5)$$

(3.1) den $\frac{\partial U_1}{\partial X_3}$;

$$\frac{\partial U_1}{\partial X_3} = -\frac{U_*}{k} \frac{1/h}{1 - \frac{X_3}{h}} \quad (4.6)$$

Dolayısıyla (4.4) , (4.5) ve (4.6)'dan ;

$$\epsilon_3 = k U_* X_3 \left(1 - \frac{X_3}{h}\right) \quad (4.7)$$

bulunur.

Denklemin boyutsuzlaştırılması

Hesaplarda kolaylık olsun diye boyutsuz büyüklüklerle çalışmak faydalıdır.

$$v = \frac{X_3}{h} \quad , \quad U = \frac{k}{U_*} (U_1 - U_{lm}) \quad , \quad \epsilon = \frac{\epsilon_3}{h k U_*} \quad (4.8)$$

Burada U , v , ϵ büyüklükleri boyutsuz büyüklüklerdir. (4.1) ve (4.7) den faydalanarak U , ϵ büyüklükleri;

$$U = 1 + \ln(1 - v) \quad (4.9)$$

$$\varepsilon = v(1 - v) \quad (4.10)$$

şeklinde bulunur. (4.8) ifadeleri (4.3) denkleminde yerine konulursa;

$$\begin{aligned} \frac{U_* U}{k} \frac{\partial C_m}{\partial \xi} &= \frac{\partial}{\partial v} \left(\varepsilon h k U_* \frac{\partial c}{\partial v} \right) \\ \frac{h U}{k^2} \frac{\partial C_m}{\partial \xi} &= \frac{\partial}{\partial v} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial v} \right) \end{aligned} \quad (4.11)$$

(4.11) denklemini v' ye göre integralini alalım.

$$\frac{h \partial C_m}{k^2 \partial \xi} \int U dv = \varepsilon \frac{\partial c}{\partial v} + \tau(\xi) \quad (4.12)$$

(4.12) denklemine dikkat edilirse integralin içinde sadece U boyutsuz büyüklüğü kalmıştır çünkü sadece U hızı v' nin fonksiyonudur. $\tau(\xi)$ ise akım doğrultusuna bağlı integral sabitidir. $\frac{\partial c}{\partial \xi} \cong \text{sabit}$ alındığından integralin dışına alınmıştır.

$v=0$ için $\frac{\partial C}{\partial v} = 0$ sınır şartı yazılırsa $\tau(\xi) = 0$ bulunur ve 4.12 denklemi aşağıdaki hali alır. $\frac{\partial C}{\partial v} = 0$ çünkü serbest yüzeyde aşağıdan yukarıya doğru madde akısı olamayacağı için konsantrasyon gradyanı sıfıra eşittir.

$$\frac{h \partial C_m}{k^2 \partial \xi} \int U dv = \varepsilon \frac{\partial c}{\partial v} \quad (4.13)$$

(4.13) denklemini tekrar v' ye göre integral alınırsa;

$$\frac{h \partial C_m}{k^2 \partial \xi} \int_{\varepsilon}^1 \frac{1}{v} dv \int U dv = c + \tau(\xi) \quad (4.14)$$

$v=1$ de yani tabanda konsantrasyon sıfırdır öyleyse $v=1$ için $C=0$ olmalıdır ve buradan tekrar $\tau(\xi) = 0$ bulunur. Şekil (3.5) den de zaten tabanda konsantrasyonun 0 olduğu görülmektedir. U ve ε değerleri (4.9) ve (4.10) daki gibidir ve yerine konursa denklem aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\frac{h \partial C_m}{k^2 \partial \xi} \int \frac{1}{v(1-v)} dv \int (1 + \ln(1-v)) dv = c \quad (4.15)$$

Ortalama akım hızı ile hareket eden bir enkesitten birim zamanda iletilen madde miktarı M olduğuna göre

$$M = \int_h (U_1 - U_{lm}) c dX_3$$

Diğer taraftan , zamanın büyük değerleri için M madde akısı ve konsantrasyon gradyanı arasında

$$M = -Dh \frac{\partial C_m}{\partial \xi}$$

şeklinde bir bağıntı vardır.

Bu iki denklem birbirine eşitlenirse;

$$-Dh \frac{\partial C_m}{\partial \xi} = \int_h (U_1 - U_{lm}) c dX_3 \quad (4.16)$$

(4.15) ifadesinde bulunan c ve $v=X_3/h$ değerleri (4.15) ifadesinde yerine konursa;

$$-Dh \frac{\partial C_m}{\partial \xi} = \int_0^1 \frac{UU_*}{k} h dv \int_0^v \frac{1}{v(1-v)} dv \int_0^v (1 + \ln(1-v)) dv \frac{h \partial C_m}{k^2 \partial \xi}$$

$$D = -hU_* \frac{1}{k^3} \int_0^1 (1 + \ln(1-v)) dv \int_0^v \frac{1}{v(1-v)} dv \int_0^v (1 + \ln(1-v)) dv \quad (4.17)$$

(4.17) denklemi açık kanallarda boyuna dispersiyon katsayısını bulan bir denklemdir ve nümerik integrasyon yapılarak D boyuna dispersiyon katsayısı;

$$D = 5.63hU_*$$

bulunur.

Nümerik integrasyon Fortranda programlanarak değeri hesaplanmıştır ve Fortran program datası EK-1 de sunulmuştur.

4.1 YENİ MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Bir önceki kısımda çıkarılan denklem akarsularda iyi sonuç vermemektedir ve dispersiyon katsayısını gerçek değerden çok düşük tahmin etmektedir.(F.Toprak 2003). Bunun nedeni yapılan kabul ve varsayımlar (Savcı 1972) ve bazı araştırmacıların dediği gibi logaritmik hız dağılımının kullanılmasıdır. Fischer (1967) de yukarıdaki modelde kullanılan logaritmik hız dağılımı yerine yanal hız değişimlerini kullanarak ve birçok kabul ve varsayımlar yaparak akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını veren literatür taramasında bahsedilen denklemi bulmuştur. Yeni matematiksel model geliştirilirken daha önce kullanılmayan quartic hız dağılımı kullanılmıştır.

4.1.1 Akarsularda Yanal Hız Dağılımları

Gilbert V. BOGLE (1997) 'Stream Velocity Profiles and Longitudinal Dispersion' adlı çalışmada Sacramento nehrinin çeşitli kesitlerinin yanal ve düşey hız profillerini çıkarmıştır. Quartic hız dağılımının akarsuların yanal hız dağılımının bulunması için iyi bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Akarsularda yanal hız dağılımını gösteren quartic fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

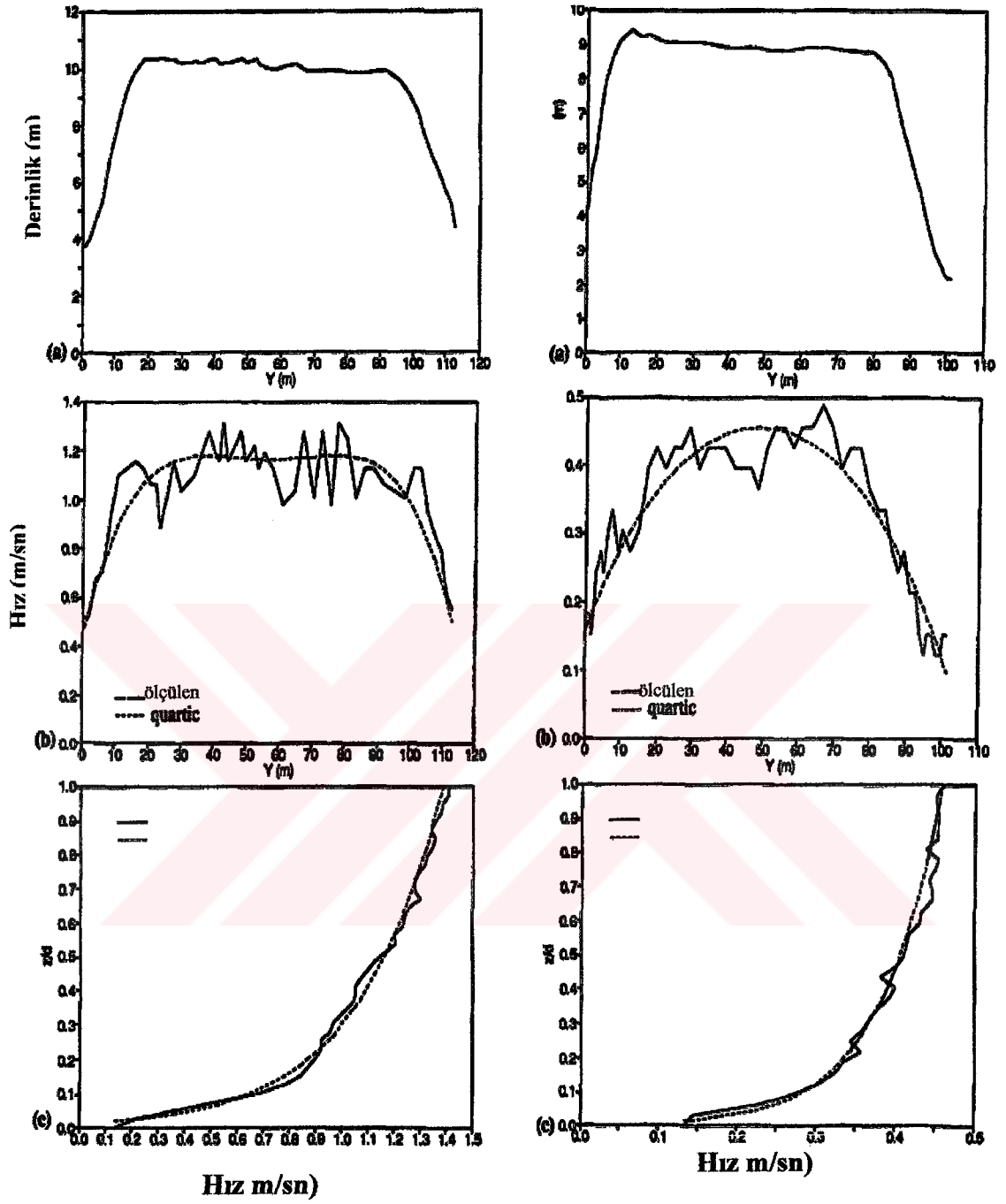
$$U(y) = U_{lm} \left(A_q + B_q \left(\frac{2y}{w} \right)^2 + C_q \left(\frac{2y}{w} \right)^4 \right)$$

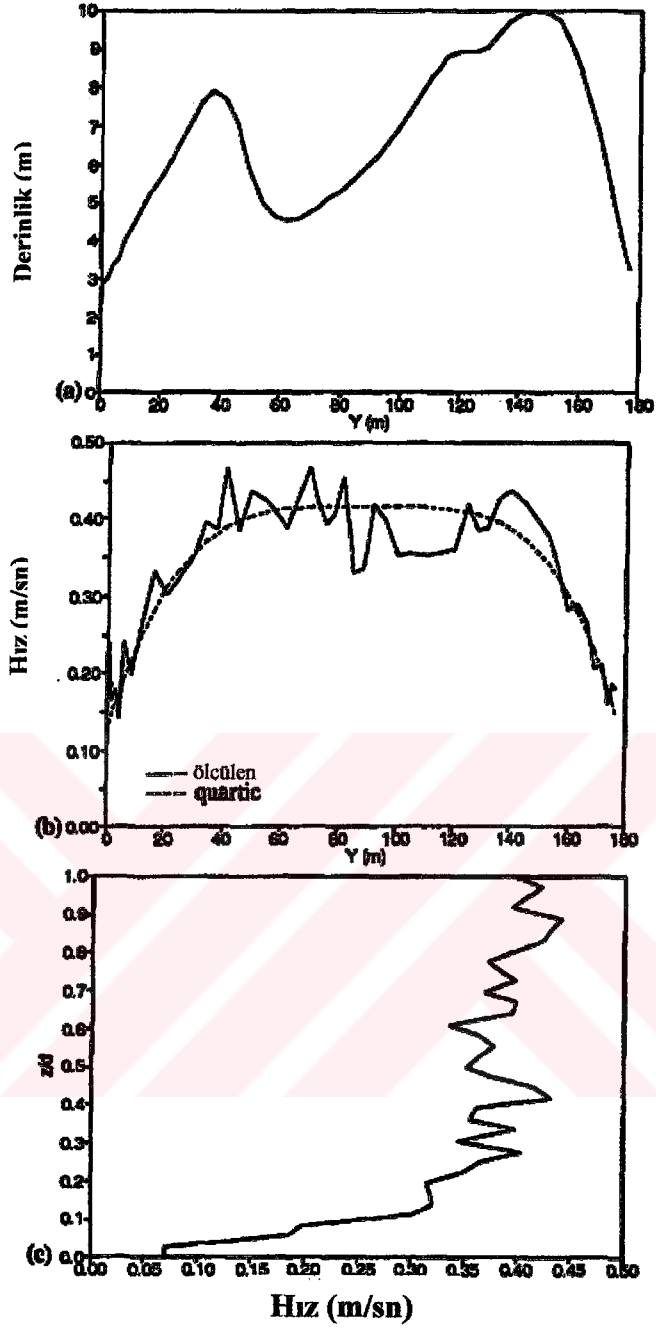
$$A_q + B_q + C_q = 0$$

$$A_q + \frac{B_q}{3} + \frac{C_q}{5} = 1$$

Burada A_q , B_q , C_q herhangi birer sayıdır. Genellikle A_q ifadesine bir değer atanıp daha sonra B_q , C_q değerlerini bulma yoluna gidilir ve en uygun hız dağılımı bulunana kadar devam edilir. Burada U_{lm} ortalama akım hızıdır

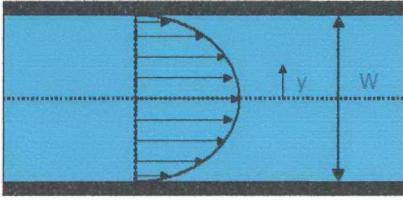
4.1.2 Sacramento Nehrinin Bazı Kesitlerindeki Hız dağılımları



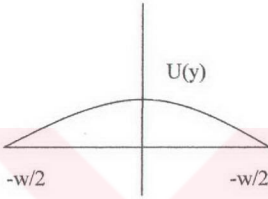


Şekil 4.3 ‘Sacramento nehrinin bazı kesitlerinde hız dağılımları’

Şekil 4.3 de görüldüğü üzere yanal hız dağılımı düşey hız dağılımına göre daha fazla ortalama hızdan sapmalar göstermektedir. Dolayısı ile yanal hız dağılımının karışıma daha çok etki yaptığı yorumu yapılabilir. Quartic fonksiyonunda uygun bir hız dağılımı olduğu şekillerden görülmektedir.



Şekil 4.4 ‘Akarsu kesitinin üstten görünüşü’



$$U(y) = (A_q + B_q \left(\frac{2y}{w}\right)^2 + C_q \left(\frac{2y}{w}\right)^4) \quad (a)$$

$$A_q + B_q + C_q = 0$$

$$A_q + \frac{B_q}{3} + \frac{C_q}{5} = 1$$

Cidarlarda hızın sıfır olduğu düşünülürse;

$$U(w/2) = 0$$

$$U(-w/2) = 0$$

(b)

(a) ifadesine (b) ifadesinden herhangi birini koyalım.

$$U\left(\frac{w}{2}\right) = (A_q + B_q \left(\frac{2(w/2)}{w}\right)^2 + C_q \left(\frac{2(w/2)}{w}\right)^4) = 0$$

$$A_q + B_q + C_q = 0$$

bulunur.

U ortalama hızının 1 olduğunu düşünelim;

$$\bar{U} = \frac{\int_{-w/2}^{w/2} U(y) dy}{w} = 1 \quad (c)$$

U(y) hızının y’ ye göre integralini alalım

$$\int_{-w/2}^{w/2} (A_q + B_q \left(\frac{2y}{w}\right)^2 + C_q \left(\frac{2y}{w}\right)^4) dy = A_q y + \frac{4B_q}{w^2} \frac{y^3}{3} + \frac{16C_q}{w^4} \frac{y^5}{5} \Big|_{-w/2}^{w/2} \quad (d)$$

(d) ifadesini (c) ifadesinde yerine koyarsak;

$$\bar{U} = \frac{A}{q} w + \frac{B}{3} w + \frac{C}{5} w = 1 \quad \text{ve} \quad \frac{A}{q} + \frac{B}{3} + \frac{C}{5} = 1 \quad \text{bulunur}$$

4.1.3 Kayma gerilmesi denklemleri

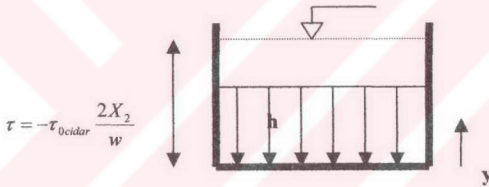
Forchheimer (1914) taban yakınlardaki akım hızı ile taban kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi şu şekilde vermiştir.

$$\gamma \cdot h \cdot J = k_4 \cdot u_6^2$$

Burada h ; akım derinliği, J enerji çizgisi eğimi ve k_4 bir sabittir. Eşitliğin sol tarafı, kanal tabanının birim yüzey alanı için taban kayma gerilmesini verir ve τ_0 ile gösterilir

$$\tau_0 = \gamma \cdot h \cdot J$$

Eşitliğin sağ tarafı incelenirse $\gamma \cdot h$ terimi basıncı tarif etmektedir. Şekil üzerinde bir kanal kesiti için gösterecek olursak;



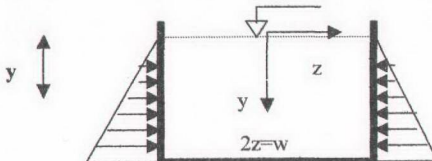
Şekil 4.5 'Tabandaki basınç dağılımı'

Tabandaki basınç bilinirse taban kayma gerilmesinin de bilineceği açıktır.. Taban kayma gerilmesinin h yüksekliğiyle değişimi şu şekildedir.

$$\tau = -\tau_0 \frac{X_3}{h}$$

Öyleyse cidardaki basınç bilinirse cidar kayma gerilmesi' de bulunabilir.

τ_{0_cidar} kayma gerilmesi dağılımı ifadesi aşağıda gösterilmiştir.



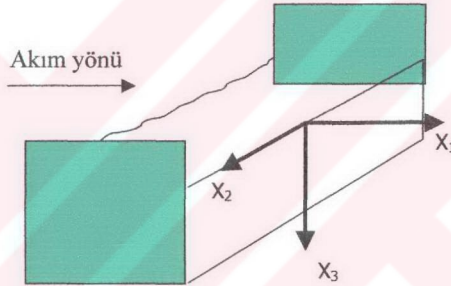
Şekil 4.6 'Cidardaki basınç dağılımı'

$$\tau = -\tau_{0\text{cidar}} \frac{2X_2}{w}$$

Örneğin cidardaki bir y noktasında basınç biliniirse o noktadaki kayma gerilmesi ve dağılımı bulunabilir. Taban basıncı ve cidar basınçları birbirinin cinsinden yazılabildiğine göre taban kayma gerilmesi ve cidar kayma gerilmesi de birbirinin cinsinden yazılabilir örneğin $\tau_{0\text{cidar}} = \frac{\tau_0}{n}$ (n herhangi bir sayı olabilir)

4.1.4 Yeni matematiksel modelin geliştirilmesi

Kartezyen koordinat sistemi şekil:2 deki gibi seçilsin.



Şekil 4.7 'Akarsu kesiti'

Türbülanslı bir akım alanının kapsadığı katı maddelerin C zamansal ortalama konsantrasyonunun sağladığı korunum denklemi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_1 \frac{\partial C}{\partial X_1} + U_2 \frac{\partial C}{\partial X_2} + U_3 \frac{\partial C}{\partial X_3} = \frac{\partial}{\partial X_1} (\epsilon_1 \frac{\partial C}{\partial X_1}) + \frac{\partial}{\partial X_2} (\epsilon_2 \frac{\partial C}{\partial X_2}) + \frac{\partial}{\partial X_3} (\epsilon_3 \frac{\partial C}{\partial X_3}) \quad (4.1.2)$$

Yeni matematiksel modelin bir önceki bölümde anlatılan modelden en önemli farkı düşey yöndeki hız değişimlerini ihmal edip yanal yöndeki hız değişimlerini kullanmasıdır. Yanal hız değişimleri daha önce kullanılmayan quartic fonksiyon esas alınarak bulunmuştur. Ayrıca düşey türbülans difüzyonu katsayısı enine türbülans difüzyonu katsayısı yanında (Fisher 1967)'e benzer tarzda ihmal edilmiştir. Aşağıda yapılan kabul ve varsayımların bir özeti yapılmıştır.

Yapılan kabul ve varsayımlar

- Moleküler difüzyon türbülans difüzyonu yanında ihmal edilmektedir.
- Dispersiyon maddesi korunmaktadır.
- Akım yalnız X_1 doğrultusundadır.
- Boyuna türbülans difüzyonunu karakterize eden $\varepsilon_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ terimi diğer terimler yanında çok küçüktür

- Aşağıdaki tarifler yapılsın

$$c = C_m + c' \quad , \quad U = U_{lm} + u' \quad , \quad \xi = X_1 - U_{lm}t$$

Burada C_m , U_{lm} kesitsel ortalama hızlar ve konsantrasyonlardır. c' , u' kesitsel ortalama konsantrasyonlardan sapmayı ve (ξ, X_3) ortalama akım hızıyla hareket eden eksen takımıdır.

- Olay iki boyutlu olarak düşünülmektedir. Yani X_3 'li terimler denklemden düşmektedir
- $\frac{\partial c'}{\partial \xi} \cong 0$ ve $\frac{\partial \bar{c}}{\partial \xi} \cong \text{sabit}$ alınmaktadır (Taylor (1954))
- X_3 doğrultusunda akım hızı sıfırdır, dolayısıyla $U_3=0$ dır
- $U_2=0$ alınacaktır çünkü sekonder akımların etkisi ihmal edilmiştir.
- Akımın zamanla değişmediği $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ kabul edilmiştir.

- Fischer (1967) akarsularda enine türbülans dispersiyonu katsayısının ε_2 'nin en az düşey türbülans difüzyonu katsayısı ε_3 kadar önemli olduğunu ve akarsular için ε_3 katsayısının ihmal edilebileceğini söylemiştir. Ayrıca Parker (1961), Taylor (1954)'un kabullerini türbülanslı akım için kütlelin korunumu kanununa uyguladığında, hız profili üzerinde enine değişkenlerin boyuna değişkenlerden daha etkili olduğu sonucuna varmıştır

Yapılan kabuller ve varsayımlar ışığı altında aşağıdaki ifade elde edilir.

$$(U - U_{lm}) \frac{\partial C_m}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial X_2} (\varepsilon_2 \frac{\partial c}{\partial X_2}) \quad (4.1.3)$$

Bu halde (4.1.3) denkleminin integre edilebilmesi için ε_2 türbülans difüzyonu katsayısının bilinmesi lazımdır. Türbülans dolayısıyla X_2 doğrultusunda momentum, madde, yada ısı iletimi tam olarak birbirine analogtur. Bu yaklaşım (Elder 1959) yaklaşımının aynısıdır.

Akarsular için aşağıdaki yanal hız değişimi alınarak denklem çözülecektir.

$$U_1 = U_{lm} \left(A + B \left(\frac{2X_2}{W} \right)^2 + C \left(\frac{2X_2}{W} \right)^4 \right) \quad (4.1.4)$$

ve burada $A+B+C=0$ ve $A + \frac{B}{3} + \frac{C}{5} = 1$ dir.

$\left(A + B \left(\frac{2X_2}{W} \right)^2 + C \left(\frac{2X_2}{W} \right)^4 \right)$ ifadesi boyutsuz bir sayı olduğundan bu ifadeye boyutsuz U diyelim ve bu ifade $U_1 = U_{lm} U$ haini alır U_{lm} ortalama akım hızıdır ve buradan

$$U_1 - U_{lm} = U_{lm} (U - 1) \quad (4.1.5)$$

(4.1.5) denklemini (4.1.3) denkleminde yerine konulursa aşağıdaki ifade bulunur.

$$U_{lm} (U - 1) \frac{\partial C}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial X_2} \left(\varepsilon_2 \frac{\partial C}{\partial X_2} \right) \quad (4.1.6)$$

Bu halde (4.1.6) denkleminin integre edilebilmesi için ε_2 katsayısının bilinmesi gerekmektedir.

Türbülans dolayısıyla X_2 doğrultusunda momentum, madde, yada ısı iletimi tam olarak birbirine analogdur (Elder (1959), yani

$$\varepsilon_2 = - \frac{\tau}{\rho \frac{\partial U_1}{\partial X_2}} \quad (4.1.7)$$

Burada τ cidar kayma gerilmesidir ve X_2 boyunca dağılımı:

$$\tau_{cidar} = -\tau_{0cidar} \frac{2X_2}{W} \quad \text{dır} \quad (4.1.8)$$

(4.1.4) Denklemi X_2 eksenine göre türevi alınırsa;

$$\frac{\partial U_1}{\partial X_2} = U_{lm} \left(8B \frac{X_2}{w^2} + 64C \frac{X_2^3}{w^4} \right) \quad (4.1.9)$$

Taban kayma gerilmesi hızı $U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ ifadesi ile verilmektedir. Burada τ_0 taban kayma gerilmesidir. Cidar kayma gerilmesi taban kayma gerilmesinin n ile bölümünden elde ettiği düşünölsün burada n herhangi bir sayı olabilir. Buradan $\tau_{0\text{cidar}}$ aşğıdaki şekilde yazılır.

$$\tau_{0\text{cidar}} = \frac{\tau_0}{n} \quad (4.1.10)$$

Buradan ε_2 bulunur.

$$\varepsilon_2 = \frac{n \rho U_*^2 \frac{2 X_2}{w}}{\rho U_{lm} \left(8B \left(\frac{X_2}{w^2} \right) + 64C \left(\frac{X_2^3}{w^4} \right) \right)}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{n U_*^2 \frac{2 X_2}{w}}{8 U_{lm} \frac{X_2}{w^2} \left(B + 8C \left(\frac{X_2}{w} \right)^2 \right)}$$

ve burada gerekli sadeleştirmeler yapıörsä ε_2

$$\varepsilon_2 = \frac{n U_*^2 w}{4 U_{lm} \left(B + 8C \left(\frac{X_2}{w} \right)^2 \right)}$$

bulunur.

Denklemin boyutsuzlaştırılması

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_2}{n U_*^2 w} \quad v = \frac{2 X_2}{w} \quad \text{boyutsuz ifadeleri (4.1.6) denkleminde yerine}$$

$$\frac{4 U_{lm}}{4 U_{lm}}$$

yazılırsa

$$U_{lm} (U-1) \frac{\partial C}{\partial \xi} = \frac{n U_*^2}{U_{lm} w} \frac{\partial}{\partial v} \left(\varepsilon \frac{\partial C}{\partial v} \right)$$

ve buradan

$$\frac{w U_{lm}^2}{n U_*^2} (U-1) \frac{\partial C}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial v} \left(\varepsilon \frac{\partial C}{\partial v} \right) \quad (4.1.15)$$

$$\varepsilon = (B + 8C(v)^2) \quad (4.1.16)$$

$$U = A + B(v)^2 + C(v)^4 \quad (4.1.17)$$

(4.1.15) denklemini v 'ye göre integral alınırsa

$$\frac{w U_{lm}^2}{n U_*^2} \int (U-1) dv \frac{\partial C}{\partial \xi} = \varepsilon \frac{\partial C}{\partial v} + \tau(\xi) \quad (4.1.18)$$

$v=0$ için $\frac{\partial C}{\partial v} = 0$ sınır şartı yazılırsa $\tau(\xi) = 0$ bulunur ve 4.1.18 denklemini aşağıdaki

hali alır.

$$\frac{w U_{lm}^2}{n U_*^2} \int (U-1) dv \frac{\partial C}{\partial \xi} = \varepsilon \frac{\partial C}{\partial v} \quad (4.1.19)$$

tekrar v 'ye göre integral alınırsa

$$C = \frac{w U_{lm}^2}{n U_*^2} \int (U-1) dv \int_{\varepsilon} \frac{1}{\partial \xi} \frac{\partial C}{\partial v} + \tau(\xi) \quad (4.1.20)$$

$v=1$ de yani cidarda konsantrasyon sıfırdır öyleyse $v=1$ için $C=0$ olmalıdır. U ve ε değerleri (4.16) ve (4.17) deki gibidir ve yerine konursa denklem aşağıdaki şekle dönüşür.

$$0 = \frac{w U_{lm}^2}{n U_*^2} \int (A + B(v)^2 + C(v)^4 - 1) dv \int \frac{1}{(B + 8C(v)^2)} dv \frac{\partial C}{\partial \xi} + \tau(\xi)$$

Hatırlanacağı üzere $A+B+C=0$ dı. $v=1$ değeri yukarıdaki denklemde yerine konursa

$$0 = \frac{wU_{lm}^2}{nU_*^2} \int (A+B+C-1)dv \int \frac{1}{(B+8C)} dv \frac{\partial C}{\partial \xi} + \tau(\xi)$$

ve $A+B+C=0$ değeri yerine konarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{wU_{lm}^2}{nU_*^2} \int dv \int \frac{1}{(B+8C)} dv \frac{\partial C}{\partial \xi} = \tau(\xi)$$

Buradan (4.1.20) ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$C = \frac{wU_{lm}^2}{nU_*^2} \frac{\partial C}{\partial \xi} \left(\int (U-1)dv \int \frac{1}{\varepsilon} dv + \int dv \int \frac{1}{(B+8C)} dv \right)$$

Ortalama akım hızı ile hareket eden bir enkesitten birim zamanda iletilen madde miktarı M olduğuna göre

$$M = \int_h (U_1 - U_{lm}) C dX_1$$

$$U_h = \frac{k}{U_*} (U_1 - U_{lm})$$

$$U_h = 1 + \ln(1-z)$$

Not: U_h hızı akım doğrultusundaki hızın derinlik derinlikle değişimi için yazılmıştır.

Diğer taraftan , zamanın büyük değerleri için M madde akısı ve konsantrasyon gradyanı arasında

$$M = -Dh \frac{\partial C}{\partial \xi}$$

şeklinde bir bağıntı vardır.

Bu iki denklem birbirine eşitlenir ve $U_1 - U_{lm} = U - 1$ ve C değeri yerine konursa

$$(z = \frac{X_1}{h})$$

$$-Dh \frac{\partial C}{\partial \xi} = h \frac{U_*}{k} \int_0^1 [1 + \ln(1-z)] dz \frac{wU_{lm}^2}{nU_*^2} \frac{\partial C}{\partial \xi} \left[\int_0^v (U-1)dv \left(\int_0^v \frac{1}{\varepsilon} dv + \int_0^v dv \int_0^v \frac{1}{(B+8C)} dv \right) \right]$$

gerekli sadeleştirmeler yapılırsa

$$D = \frac{U_m^2 w}{U_*} \frac{1}{rk} \int_0^1 [1 + \ln(1-z)] z \left[\int_0^v (A+B(v)^2 + C(v)^4 - 1) dv + \int_0^v \frac{1}{(B+8C(v)^2)} dv + \int_0^v dv \int_0^v \frac{1}{(B+8C)} dv \right] 4.1.21$$

(4.1.21) denklemi aşağıdaki şekili alır.

$$D = \beta \frac{U^2 w}{U_*} \quad (4.1.22)$$

Bu integraller belirli integral olduğu için çözümünden bir rakam çıkacaktır ancak bilinmeyenler nedeniyle bu rakama β diyerek Kashefipour&Falconer (2002)'in kullandığı 81 adet deney verilerinden faydalanarak Fortrandada bir program hazırlanarak bulunmuştur. Deney verileri Tablo 5.1' de dir.

Liu (1977) Fischer (1975)'in geliştirdiği aşağıda yazılı denklemin akarsularda iyi sonuç vermemesi üzerine;

$$\text{Fischer'in denklemi} \rightarrow K = 0.011 \frac{U^2 W^2}{h U_*}$$

0.011 katsayısı yerine β denmiştir ve bu katsayının sinüslülük, ani genişleme ve daralma ve ölü bölgelerin etkisini içeren bir katsayı olduğunu ifade edilip değerinin aşağıdaki ifadeye eşit olduğunu söylenmiştir.

$$\beta = a \left(\frac{U_*}{U} \right)^b$$

Liu(1977) bu β katsayısını Godfey ve Frederic (1970) ve başka deney datalarını kullanarak en küçük kareler yöntemiyle β katsayısını belirlemişlerdir ve ;

$$\beta = 0.18 \left(\frac{U_*}{U} \right)^{1.5}$$

bulmuşlardır.

Bu çalışmada ise β katsayısı Kashefipour&Falconer (2002)'in kullandığı 81 adet deney verilerinden faydalanarak Fortrandada bir program hazırlanarak bulunmuştur ve aşağıda bulunan değer yazılmıştır. Fortran program datası Ek 1 de sunulmuştur.

$$\beta = 3.93 \left(\frac{U_*}{U} \right)^{1.33}$$

Bulunmuştur.

Yeni geliştirilen denklemin en son hali aşağıdadır.

$$D = \beta \frac{U^2 w}{U_*} \quad \text{ve} \quad \beta = 3.93 \left(\frac{U_*}{U} \right)^{1.33}$$

5. YENİ DENKLEMİN DİĞER DENKLEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Karşılaştırma Kriterleri (9 Adet)

- Ayrılma oranlarının yüzde dağılımı
- Ayrılma oranlarının mutlak değer ortalaması
- Ortalama
- Ortalama karesel hata (OKH)
- Ortalama mutlak hata (OMH)
- Ortalama mutlak rölaf hata (OMRH)
- Yeni denklemle diğer denklemlerin hesapladığı dispersiyon katsayılarının ölçülmüş değerlerle karşılaştırılması
- Yeni denklem ve diğer denklemlerin ayrılma oranlarının karşılaştırılması
- Korelasyon katsayıları

Karşılaştırma kriterlerini ilki Seo & Cheong (1998)'un çalışmasından ikinci kriter ise bu çalışmaya özgü olup yeni bir karşılaştırma kriteridir. Daha sonraki karşılaştırma kriterleri Z.Fuat TOPRAK (2004) 'Akarsularda Boyuna Dispersiyon Katsayısının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi' adlı doktora tezinden alınmıştır.

Denklemler karşılaştırılırken Kashefipour&Falconer(2002)'nin kullandığı 81 adet deney datasından faydalanılmıştır ve Yeni denklem Seo&Cheong , Kashefipour& Falconer(2002)(1) ve Kashefipour &Falconer(2002)(2) ait denklemlerle karşılaştırılmıştır. Mevcut diğer denklemlerle karşılaştırmaya gerek görülmemiştir çünkü Z.Fuat TOPRAK (2004) gösterdiği üzere bu denklemler akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını diğer denklemlere göre en iyi tahmin eden denklemlerdir.

Karşılaştırmalarda kullanılan denklemler şu şekildedir.

$$\text{Seo\& Cheong} \rightarrow \frac{D_1}{HU_*} = 5.915 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{1.428}$$

$$\text{Kashefipour\&Falconer(2002)(1)} \rightarrow D_1 = 10.612 HU \frac{U}{U_*}$$

$$\text{Kashefipour\&Falconer(2002)(2)} \rightarrow D_1 = \left[7.428 + 1.775 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{0.572} \right] HU \frac{U}{U_*}$$

Karşılaştırmada kullanılan deney dataları tablo halinde aşağıda verilmiştir

Tablo 5.1 ‘Akarsulara ait veriler’

Doğal kanallarda boyuna dispersiyon katsayısının deneysel ölçümleri						
Kaynak	Kanal	H(m)	W(m)	U(m/s)	U _* (m/s)	D ₁ (m ² /s)
Fischer	Copper creek, VA (aşağı ölçüm)	0.049	15.9	0.21	0.079	19.52
		0.84	18.13	0.52	0.100	21.40
		0.49	16.2	0.25	0.079	19.52
	Clinch river, TN	0.86	46.9	0.28	0.067	13.93
		2.13	59.4	0.86	0.104	53.88
		2.09	53.3	0.79	0.107	46.45
	Copper creek, VA (yukarı ölçüm)	0.39	18.6	0.14	0.116	9.85
	Clinch river, VA	0.58	36.0	0.30	0.049	8.08
	Coachell canal, CA	1.56	24.4	0.67	0.043	9.57
	Power river, VA	0.85	33.8	0.16	0.055	9.50
McQuivey & Keefer	Bayou Anacoco	0.94	25.9	0.34	0.067	32.52
		0.91	36.6	0.40	0.067	39.48
		0.41	19.8	0.29	0.044	13.94
	Nooksack river	0.76	64.0	0.67	0.268	34.84
		2.94	86.0	1.20	0.514	153.29
		0.39	15.8	0.32	0.060	9.29
	Antietam creek	0.52	19.8	0.43	0.069	16.26
		0.71	24.4	0.52	0.081	25.55
		0.32	35.1	0.21	0.043	4.65
	Monacacy river	0.45	36.6	0.32	0.051	13.94
		0.87	47.5	0.44	0.070	37.16
		2.23	182.9	0.93	0.065	464.52
	Missouri river	3.56	201.2	1.27	0.082	836.13
		3.11	196.6	1.53	0.077	891.87
		0.98	67.1	0.88	0.110	41.81
	Wind/Bighorn rivers	2.16	68.6	1.55	0.161	162.58
		0.30	32.6	0.43	0.046	9.29
	Elkhorn river	0.42	50.9	0.46	0.046	20.90
	John Day river	0.56	25.0	1.01	0.137	13.94
		2.46	34.1	0.82	0.169	65.03
	Comite river	0.26	12.5	0.31	0.043	6.97
		0.41	15.8	0.37	0.055	13.94
	Amite river	0.81	36.6	0.29	0.068	23.23
		0.8	42.4	0.42	0.068	30.19

Seo& Cheong	Sabine river	2.04	103.6	0.56	0.054	315.87	
		4.75	127.4	0.64	0.081	668.90	
		2.35	70.1	0.43	0.101	111.48	
		Yadkin river	3.84	71.6	0.76	0.128	260.13
			0.81	13.4	0.37	0.077	13.94
	Muddy creek	1.20	19.5	0.45	0.093	32.52	
		Sabine river, Texas	0.98	35.1	0.21	0.041	39.48
	White river	0.55	67.1	0.35	0.044	30.19	
	Chattahoochee river	1.13	65.5	0.39	0.075	32.52	
	Susquehanna river	1.35	202.7	0.39	0.065	92.90	
	Antietam creek,MD	0.98	24.1	0.59	0.098	101.50	
		0.66	11.9	0.43	0.085	20.90	
	Monacy river	0.71	93.0	0.16	0.046	41.40	
		0.65	51.2	0.62	0.044	29.60	
		1.15	97.5	0.32	0.058	119.80	
	Conococheague creek, MD	0.69	42.2	0.23	0.064	40.80	
		0.41	49.7	0.15	0.081	29.30	
		1.13	43.0	0.63	0.081	53.30	
	Chattahoochee river, GA	1.95	75.6	0.74	0.138	88.90	
		2.44	91.9	0.52	0.094	166.90	
	Salt creek, NE	0.50	32.0	0.24	0.038	52.20	
	Difficult run, VA	0.31	14.5	0.25	0.062	1.90	
	Bear creek, Co	0.85	13.7	1.29	0.553	2.90	
	Little Pincy creek, MD	0.22	15.9	0.39	0.053	7.10	
	Bayou Anacoco	0.45	17.5	0.32	0.024	5.80	
	Bayou Bartholomew, LA	1.40	33.4	0.20	0.031	54.70	
	Amite river, LA	0.52	21.3	0.54	0.027	501.40	
	Tickfau river, LA	0.59	14.9	0.27	0.080	10.30	
	Tangipahoa river, LA	0.81	31.4	0.48	0.072	45.1	
		0.40	29.9	0.34	0.020	44.00	
Red river, LA	1.62	253.6	0.61	0.032	143.80		
	3.96	161.5	0.29	0.060	130.50		
	3.66	152.4	0.45	0.057	227.60		
	1.74	155.1	0.47	0.036	177.70		
Sabine river, LA	1.65	116.4	0.58	0.054	131.30		
	2.32	160.3	1.06	0.054	308.90		
Sabine river, TX	0.50	14.2	0.13	0.037	12.80		
	0.51	12.2	0.23	0.030	14.70		
	0.93	21.3	0.36	0.035	24.20		
Missisipi river. LA	19.94	711.2	0.56	0.041	237.20		
Missisipi river. MO	4.94	533.4	1.05	0.069	457.70		
	8.90	537.4	1.51	0.097	341.10		
Wind/Bighorn river, WY	1.37	44.2	0.99	0.142	184.60		
	2.38	85.3	1.74	0.153	464.60		
Clinch river, VA	1.16	48.5	0.21	0.069	14.76		
Missouri river	3.28	180.6	1.62	0.078	1486.45		
Monacy river	0.41	40.5	0.23	0.040	66.50		

5.1 Karşılaştırma Kriterlerinin Tatbiki

Ayrılma oranı

White (1973) ayrılma oranını aşağıdaki şekilde tanımlamıştır

$$\text{Ayrılma oranı} = \log \frac{K_p}{K_m}$$

K_p : tahmin edilen dispersiyon katsayısı

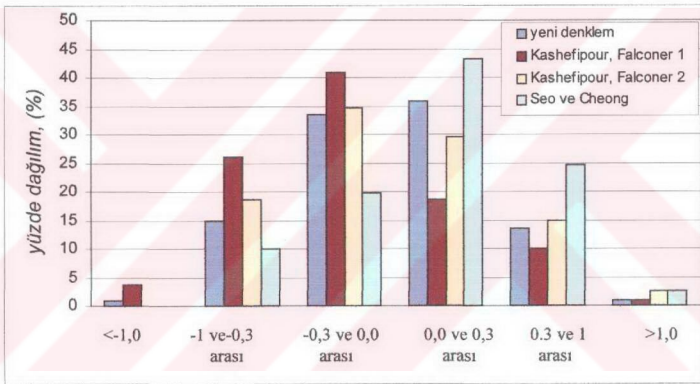
K_m : ölçülmüş dispersiyon katsayısı

Ayrılma oranları 0.3 ve -0.3 arasında ise tahmin edilen değer yaklaşık olarak doğru kabul edilmiştir. Eğer ayrılma oranı 0 ve 0.3 arasındaysa dispersiyon katsayısı ölçülen değerden daha yüksek hesaplanmıştır benzer şekilde eğer ayrılma oranı 0 ve -0.3 arasındaysa dispersiyon katsayısı ölçülen değerden daha düşük hesaplanmıştır. Aşağıda tablo halinde ayrılma oranlarının dağılım yüzdeleri verilmiştir

Tablo 5.2 'Ayrılma oranlarının dağılım yüzdeleri'

MODEL	Ayrılma Oranları (%)				Toplam doğruluk (%)
	<-0.3	-0.3-0	0-0.3	>0.3	
Seo ve Cheong (1998)	9.8	19.8	43.2	27.2	63
Kashefipour& Falconer (2002)(1)	28.4	42.0	18.5	11.1	60.5
Kashefipour& Falconer (2002)(2)	18.5	34.6	29.6	17.3	64.2
Yeni Denklem	15	33.4	35.8	15.8	69.2

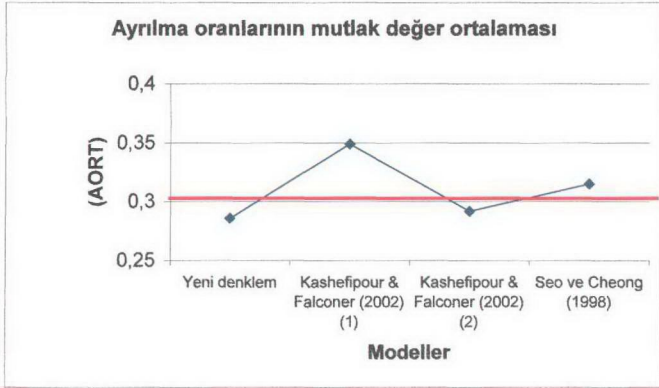
Toplam doğruluk yüzdesi ayrılma oranları -0.3 ve 0.3 arasındaki yüzde dağılımına göre yapılmıştır (-0.3 ve 0.3 ayrılma oranlarına çok yakın değerlerde örneğin 0.314 den küçük değerlerde doğru kabul edilmiştir). -0.3 ve 0.3 aralığına bakılırsa Kashefipour & Falconer (2002)(1) ve Kashefipour & Falconer (2002)(2) denklemlerinin ayrılma oranlarının büyük bir bölümü sıfırdan küçüktür buda bu iki denklemin gerçek değerden daha düşük tahmin ettiğini gösterir. Seo ve Cheong (1998) denkleminde ise normalden büyük değerler tahmin edilmektedir. Yeni denkleminde ise sıfırdan küçük ayrılma oranı için $\%33.4$ ve sıfırdan büyük ayrılma oranı içinde $\%35.8$ dağılımları vardır bu da sonuçların dengeli olduğunu gösterir. Aşağıda ayrılma oranları yüzdeleri birde grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.1 ‘Ayrılma oranları yüzdeleri’

Ayrılma oranlarının mutlak değer ortalaması

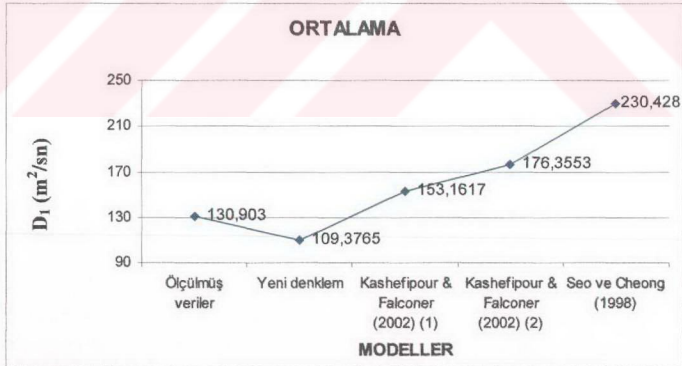
Bu oranlar her bir denklem için 81 adet verinin ayrılma oranlarının mutlak değerlerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Doğruluk şartı ayrılma oranının 0.3 den küçük olmasını gerektirdiğinden kritik değer 0.3 tür. Sonuçlara göre kritik değerın altında yeni denklem ve Kashefipour & Falconer (2002)(2) denklemini kalmaktadır ve sıfıra en yakın sonucu yeni denklem verdiğinden genel olarak yeni denklemin daha güvenilir sonuçlar verdiği yorumu yapılabilir.



Şekil 5.2 Ayrılma oranlarının mutlak değerlerinin ortalaması

Ortalama

Bu karşılaştırmada her bir denklemin tahmin ettiği 81 adet boyuna dispersiyon katsayısının ortalamalarının ölçülmüş dispersiyon katsayılarının ortalamalarıyla karşılaştırılmış ve ortaya şu sonuç çıkmıştır.

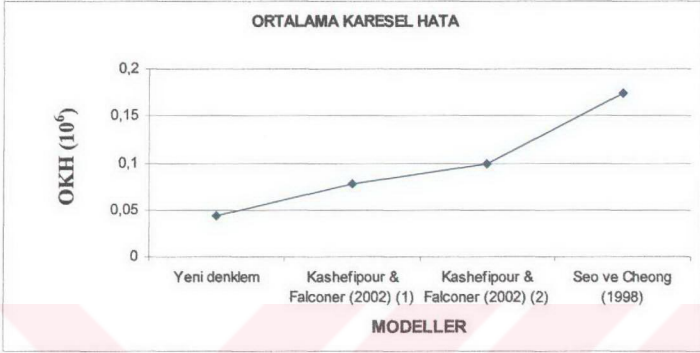


Şekil 5.3 'Ortalama'

Ölçülmüş dispersiyon katsayılarının ortalaması 130.903 dür. Bu ortalama değere en yakın sonuç 109.37 ile yeni denklemdir. Daha sonra 153.16 ile Kashefipour & Falconer (2002)(1) denklemi gelmiştir.

Ortalama karesel hata (OKH)

$$OKH = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (D_{ip} - D_{im})^2 \right]$$

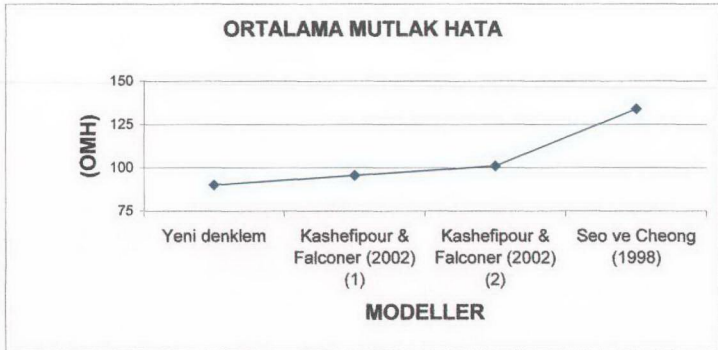


Şekil 5.4 'Ortalama karesel hata'

Ortalama karesel hata tahmin edilen dispersiyon katsayısıyla ölçülen dispersiyon katsayılarının farkının karesinin ortalamasıdır. Grafikte görüldüğü üzere yeni denklem en az ortalama karesel hatayla dispersiyon katsayılarını tahmin etmektedir.

Ortalama mutlak hata (OMH)

$$OMH = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N |(D_{ip} - D_{im})| \right]$$

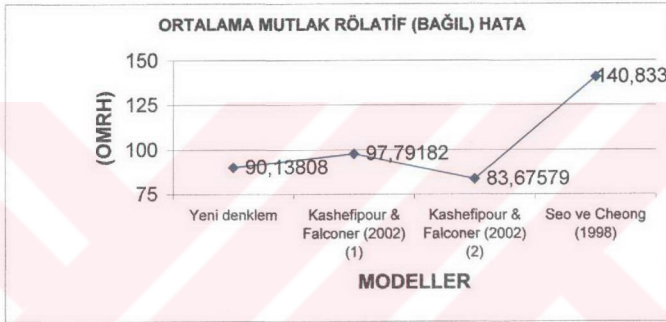


Şekil 5.5 'Ortalama mutlak hata'

Ortalama mutlak hata kriterine göre yeni denklem en iyi sonucu vermiştir. Başarı sıralaması bir önceki sıralamaya göre aynıdır. Seo & Cheong'un denklemi burada diğer denklemlere göre çok başarısız olduğu görülmektedir.

Ortalama mutlak rölatif hata (OMRH)

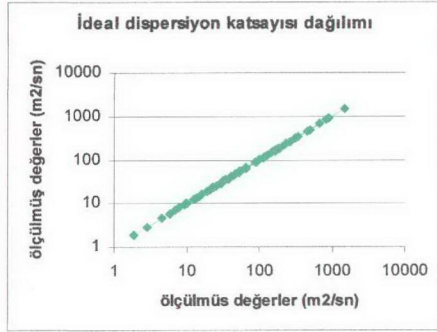
$$OMH = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N 100 \frac{|(D_{ip} - D_{im})|}{D_{im}} \right]$$



Şekil 5.6 ‘Ortalama mutlak rölatif hata’

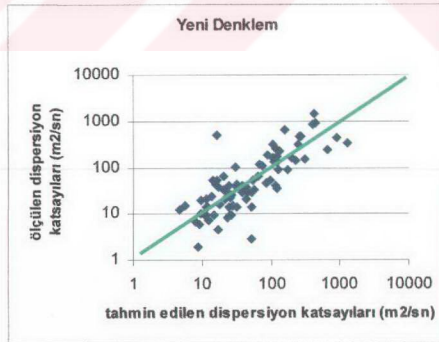
Bu karşılaştırma kriterinde bu kez Kashefipour & Falconer (2002) (2) denklemi başarı sağlamıştır. Daha sonra ardından yeni denklem gelmektedir. Bu karşılaştırma kriteri ortalama mutlak hata kriterine benzemektedir (şekil 5.5). Tek farkı tahmin edilen ve ölçülen dispersiyon katsayılarının mutlak değer farkının ölçülen dispersiyon katsayısına bölümüdür. Sadece dispersiyon katsayılarının mutlak değer farkı göz önünde tutulursa yeni denklem daha başarılıdır (Şekil 5.5), bunun anlamı yeni denklem ölçülen değerlere daha yakın tahminlerde bulunduğunu gösterir. Ancak ortalama mutlak rölatif hata kriteri ölçülen dispersiyon katsayılarına bölünürse Kashefipour & Falconer (2002) (2) denklemi biraz daha iyi sonuç vermektedir. Bunun nedeni yeni denklemin birkaç adet büyük dispersiyon katsayısını tahmin ederken Kashefipour & Falconer (2002) (2) denklemine göre biraz daha yüksek tahmin ederek sonuçları ortalama mutlak hataya göre biraz değiştirmiştir.

Yeni denklemle diğer denklemlerin hesapladığı dispersiyon katsayılarının ölçülmüş değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 5.7 ‘İdeal boyuna dispersiyon katsayısı dağılımı’

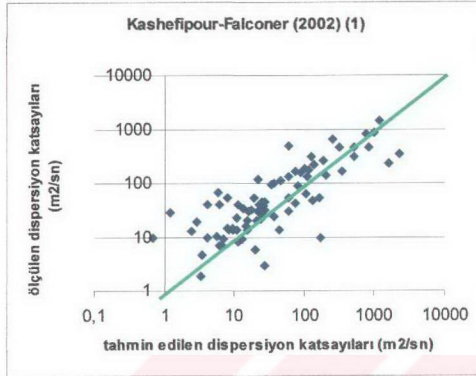
Öncelikle ideal dağılımın gösterilmesi grafiklerin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Şekilde dikkat edilirse düşey ve yatay eksenin değerleri birbirinin aynısıdır ve ölçülmüş değerlere eşittir. Dolayısı ile x,y dağılımı ortada kesişmektedir yani x,y dağılımı ne kadar yeşil çizgiye yakınsa sonuçlar o kadar iyi tahmin edilmiş demektir. Şimdi sırayla bütün denklemlerin hesapladığı dispersiyon katsayılarının ölçülmüş değerlerle olan değişimini verelim.



Şekil 5.8 ‘Yeni denklemle gerçek boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması’

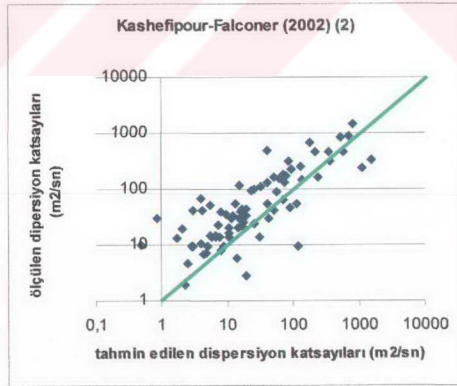
Şekilde görüldüğü gibi yeni denklemin hesapladığı dispersiyon katsayıları dağılımında bir denge vardır yani yeşil çizginin altında kalan dağılımla yeşil çizginin

üzerinde kalan dağılım yaklaşık aynıdır ve genel olarak dağılımlar yeşil çizgiye yakın ve toplu halindedir.



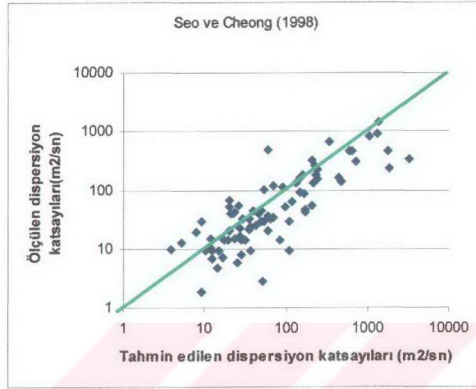
Şekil 5.9 ‘Kashefipour & Falconer (2002)(1) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması’

Yukarıda Kashefipour & Falconer (2002)(1) denkleminin hesapladığı boyuna dispersiyon katsayılarının dağılımı görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi değerlerin çoğu grafiğin üzerindedir bunun anlamı Kashefipour & Falconer (2002)(1) denkleminin ölçülen değerlerden daha düşük tahmin ettiği'dir. Yeni denklemin sonuçlarıyla karşılaştırılırsa Kashefipour & Falconer (2002)(1) denklemi sonuçları dağılımının yeni denkleme göre ideal çizgiden daha fazla uzaklaşma ve sapmalar gösterdiği görülür.



Şekil 5.10 ‘Kashefipour & Falconer (2002)(2) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması’

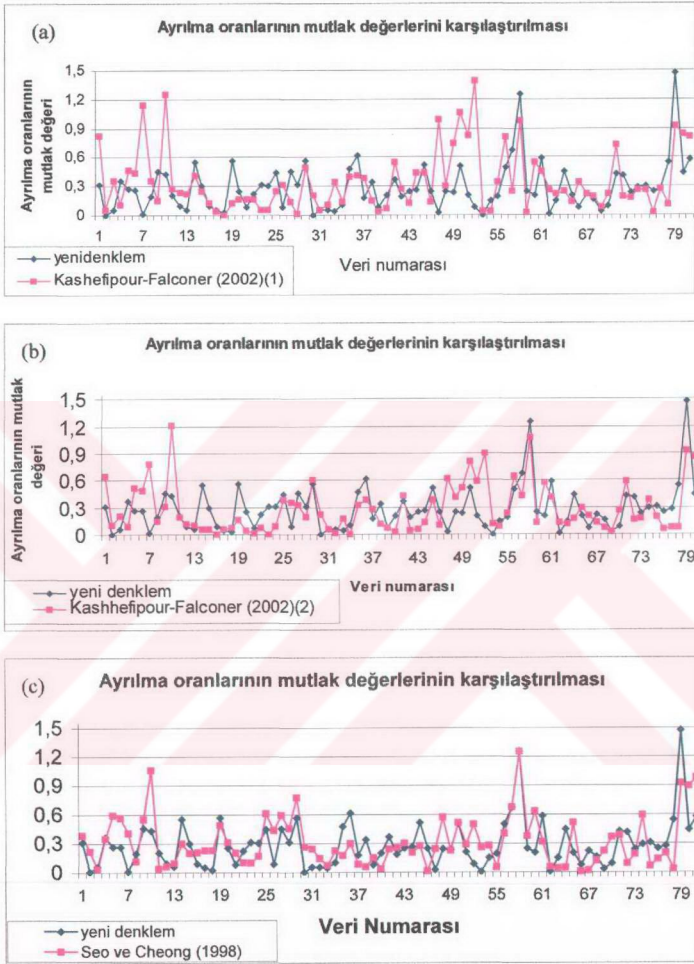
Şekilde Kashefipour& Falconer (2002)(2) denkleminin dağılımına bakılırsa Kashefipour& Falconer (2002)(1) denklemi gibi dispersiyon katsayılarını ölçülmüş değerlerden daha düşük hesapladığı görülür.



Şekil 5.11 'Seo & Cheong (1998) denklemiyle ölçülmüş boyuna dispersiyon katsayılarının karşılaştırılması'

Seo & Cheong (1998) denkleminin boyuna dispersiyon katsayısı dağılım grafiği yukarıdadır. Görüldüğü üzere değerlerin büyük bir kısmı yeşil çizginin altındadır buda Seo & Cheong (1998) denkleminin boyuna dispersiyon katsayılarını ölçülmüş değerlerden yüksek tahmin ettiğini gösterir ve dağılımı diğer denklemlere göre daha düzensizdir.

Yeni denklem ve diğer denklemlerin ayrılma oranlarının karşılaştırılması.

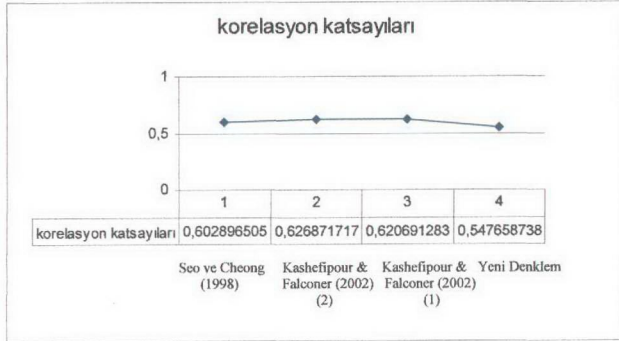


Şekil 5.12 ‘Yeni denklem ve diğer karşılaştırılması. (a,b,c)’

denklemlerin ayrılma oranlarının

Bu karşılaştırma kriterinde bu kez ölçülmüş değerlerle değil tahmin edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu grafik dağılımı ne kadar sifıra yakınsa o kadar iyidir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak yeni denklemin ayrılma oranlarının dağılımı daha iyidir. Dikkat edilirse yeni denklemin 0.3 den küçük ayrılma oranları d değerleri sayısı daha çoktur.

Korelasyon katsayıları



Şekil 5.13 'Korelasyon katsayıları'

Korelasyon katsayıları incelendiğinde bütün denklemlerin sonuçları birbirine yakındır ancak ilginçtir ki en düşük korelasyon katsayısını yeni denklem vermektedir ve şimdiye kadar kullanılan karşılaştırma kriterlerinde her zaman en kötü sonucu veren Seo & Cheong (1998)'den bile düşüktür. Z.Fuat TOPRAK (2004) "Akarsularda boyuna Dispersiyon Katsayısının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi" adlı doktora tezinde bu duruma değinmiştir. Korelasyon katsayısı tek başına bir modelin başarılı veya başarısız olduğunu söyleyebilmek için yeterli bir parametre olmadığını söylemiş ve göstermiştir. Çalışmasında Fischer (1975) ve Liu(1977) denklemlerinin sonuçları ve test grubu verileri arasındaki korelasyonun oldukça yüksek olduğunu ve sırasıyla 0.98 ve 0.96 'ya eşit olduğunu söylemiştir. Ancak diğer bütün istatistiksel karşılaştırmalardan bu modellerin sonuçlarının veriler ile iyi bir uyum içerisinde olmadığını göstermiştir. Hatta bu modellerin akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını belirlemede başarısız olduklarından yeni denklemle karşılaştırmaya gerek bile duyulmamıştır. Bu nedenle korelasyon katsayısına gereğinden fazla güvenilmemiş ve bir çok kriter esas alınarak sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

6. UYGULAMA

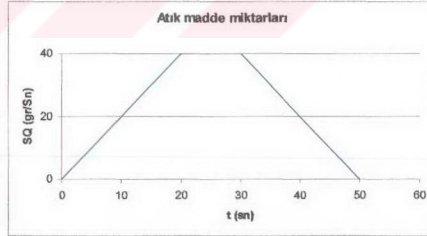
Giriş

Yeni geliştirilen denklemin bir uygulamasını yapmak amacıyla Murat Şimşek' in (2000) “Doğal Akarsularda ve Sinüs kanallarda boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi” konulu yüksek lisans tezinde kullandığı Green-Duwmish nehrine ait akarsu verileri kullanılmış ve kendi çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Kullandığı veriler Fischer H.B'in, “Method's for predicting Dispersion Coefficient in Natural Streams” adlı çalışmasından alınmıştır.

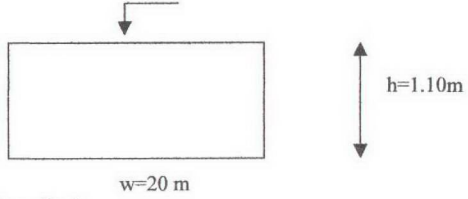
Tablo 6.1 ‘Green-Duwmish nehrine ait akarsu verileri’

Kanal genişliği (w) (m)	Derinlik (h) (m)	Ortalama hız (U) (m/sn)	Kayma Hızı U_* (m/sn)	Boyuna dispersiyon katsayısı K (m^2/sn)
20.00	1.10	0.29	0.049	7.4

Akarsuya tabandan bırakılan atık madde miktarının zamanla değişimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.1 ‘Atık madde miktarının zamanla değişimi’



Şekil 6.2 ‘Akarsu kesitinin boyutları’

Sonlu farklar yönteminde açık çözüm şekli ile çözümler yapılacaktır. Açık çözüm için gereken stabilite kriterleri sağlanmalıdır.

$U=0.29$ ve $\Delta t=10$ sn için;

$$U * \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad \text{ve} \quad \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{2K + U\Delta x}{4K^2 4KU\Delta x + U^2 \Delta x^2}$$

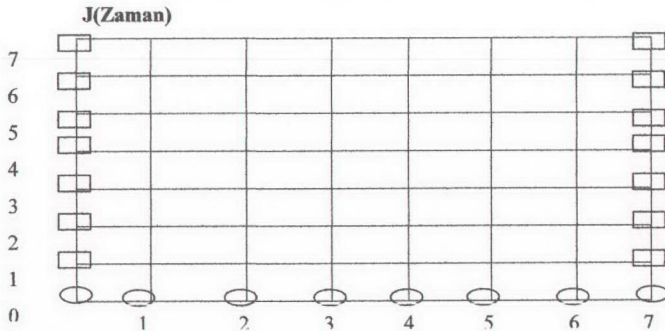
Bu stabilite koşulunu sağlayabilmek $\Delta x=25\text{m}$ ’den az olmamalıdır. Başlangıç ve sınır koşulları için ;

$t=0$ anında konsantrasyonlar bilinmektedir. $C(I,0)=1,00 \text{ gr/m}^3$ (B.K)

7 noktasında konsantrasyonlar bilinmektedir. $C(7,J)=1,00 \text{ gr/m}^3$ (S.K.1)

Tablo 6.2 ‘Ölçülmüş ve hesaplanmış dispersiyon katsayılarının gösterimi’

Ölçülmüş Boyuna Dispersiyon Katsayısı	Yeni Denklemlerle Hesaplanmış Boyuna Dispersiyon katsayısı
7.4 (m ² /sn)	12.64 (m ² /sn)



Şekil 6.3 ‘Uygulama sorusu için hesap ağı’

○ Başlangıç koşulu ile bilinen

□ Sınır koşulu ile bilinen

Akım 2 noktasından bırakıldığından ve akım hızıyla akım doğrultusu boyunca taşınacağına göre : $C(1,J)=1.00 \text{ gr/m}^3$ olacaktır (S.K.2)

I: Akım doğrultusu boyunca uzaklık

J: Zaman

İterasyona başlanabilecek en uygun nokta başlangıç ve sınır koşulları nedeniyle ya (2.1) noktası yada (6.1) noktasıdır. Bu çözümde başlangıç (6.1) noktası alınmıştır. Konsantrasyonları bulmak için Savcı (1973) bulduğu denklem $\alpha=1$ hali için çözülecektir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

Bu denklem sonlu farklar yönteminde kullanılacak duruma getirildiğinde aşağıdaki formu alacaktır. $\Delta t=10\text{sn}$ $\Delta x=50\text{m}$ olarak alınmıştır.

$$C(I, J) = C(I, J) + \Delta t \left[K * \frac{C(I+1, J) - 2C(I, J) + C(I-1, J)}{\Delta x^2} - U \frac{C(I+1, J) - C(I-1, J)}{2\Delta x} \right]$$

Uygulama sorusu

Akarsularda akım doğrultusu boyunca birbirini izleyen 7 noktadaki kesitsel ortalama konsantrasyonları bulalım. Akarsuya atık madde 2 noktasından Şekildeki gibi bırakılmaktadır. Başlangıçta tüm noktadaki kesitsel ortalama konsantrasyon 1gr/m^3 olması istenmektedir. Hesap yapılan akarsu kesimde kesit değişmemektedir ve boyuna dispersiyon katsayısı sabittir.

Problem çözümünde önce gerçek dispersiyon katsayısı daha sonra karşılaştırma yapmak amacıyla yeni denklemin hesapladığı dispersiyon katsayısı ile hesap yapılacaktır. 2 noktasında atık madde deşarjı yapıldığından Şekil 6.1'e uygun olacak

şekilde ilk 50 sn içindeki iterasyon adımları için yukarıdaki ifadeye $\left(\frac{SQ * \Delta t}{A * \Delta x}\right)$ terimi eklenirse;

$$C(I, J) = C(I, J) + \Delta t \left[K * \frac{C(I+1, J) - 2C(I, J) + C(I-1, J)}{\Delta x^2} - U \frac{C(I+1, J) - C(I-1, J)}{2\Delta x} \right] + \frac{SQ * \Delta t}{A * \Delta x}$$

$$C(6,1) = C(6,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(7,0) - 2C(6,0) + C(5,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(7,0) - C(5,0)}{2 * 50} \right]$$

$$C(6,1) = C(6,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(7,0) - 2C(6,0) + C(5,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(7,0) - C(5,0)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(5,1) = C(5,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(6,0) - 2C(5,0) + C(4,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(6,0) - C(4,0)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(4,1) = C(4,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(5,0) - 2C(4,0) + C(3,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(5,0) - C(3,0)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(3,1) = C(3,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(4,0) - 2C(3,0) + C(2,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(4,0) - C(2,0)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(2,1) = C(2,0) + 10 \left[7.40 * \frac{C(3,0) - 2C(2,0) + C(1,0)}{50^2} - 0.29 \frac{C(3,0) - C(1,0)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3 + \frac{10 * 10}{22 * 50} = 1.909 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(1,1) = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3 \text{ (S.K.2)}$$

$$C(6,2) = C(6,1) + 10 \left[7.40 * \frac{C(7,1) - 2C(6,1) + C(5,1)}{50^2} - 0.29 \frac{C(7,1) - C(5,1)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(5,2) = C(5,1) + 10 \left[7.40 * \frac{C(6,1) - 2C(5,1) + C(4,1)}{50^2} - 0.29 \frac{C(6,1) - C(4,1)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$C(4,2) = C(4,1) + 10 \left[7.40 * \frac{C(5,1) - 2C(4,1) + C(3,1)}{50^2} - 0.29 \frac{C(5,1) - C(3,1)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

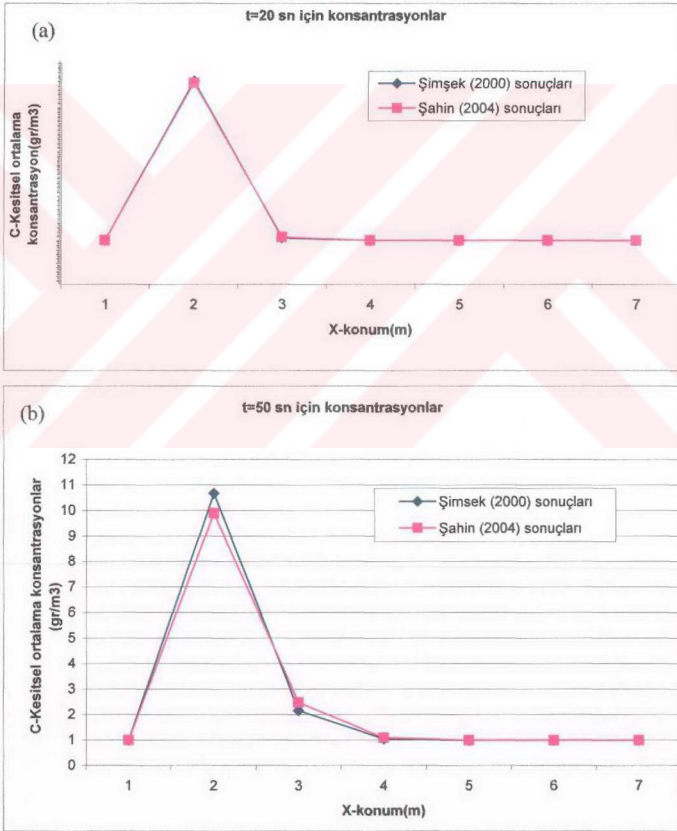
$$C(3,2) = C(3,1) + 10 \left[7.40 * \frac{C(4,1) - 2C(3,1) + C(2,1)}{50^2} - 0.29 \frac{C(4,1) - C(2,1)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

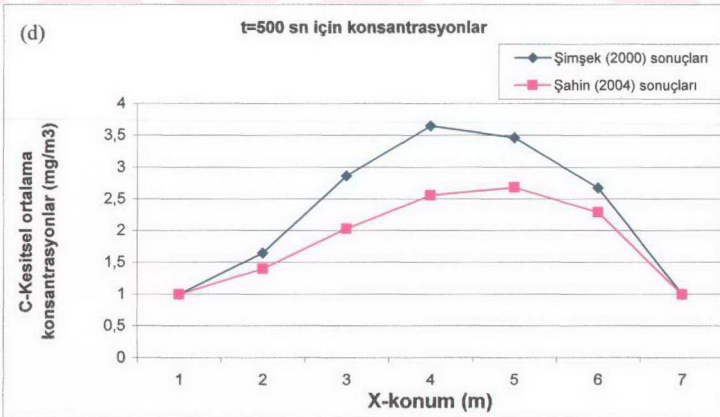
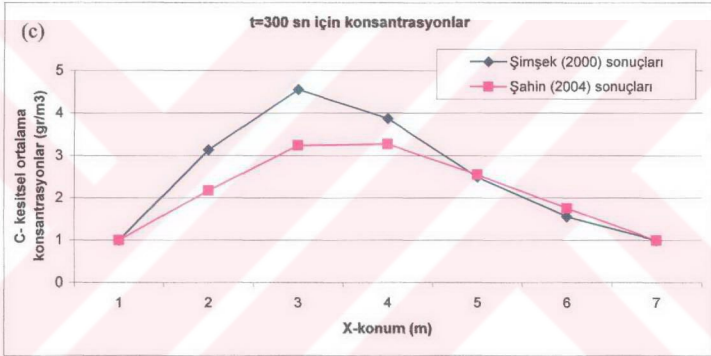
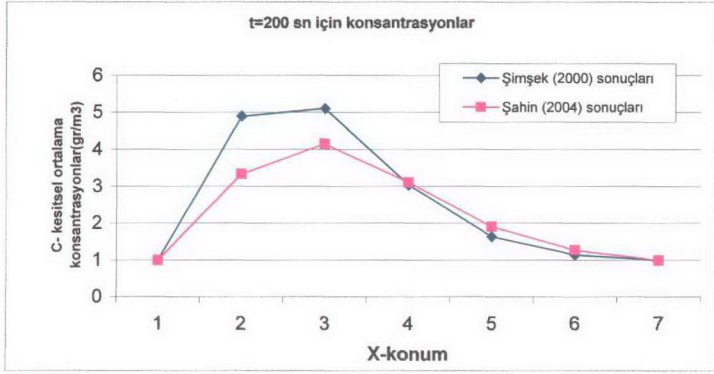
$$C(2,2) = C(2,1) + 10 \left[7.40 * \frac{C(3,1) - 2C(2,1) + C(1,1)}{50^2} - 0.29 \frac{C(3,1) - C(1,1)}{2 * 50} \right] = 1.00 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$+ \frac{30 \cdot 10}{22 \cdot 50} = 1.582 \text{ gr} / \text{m}^3$$

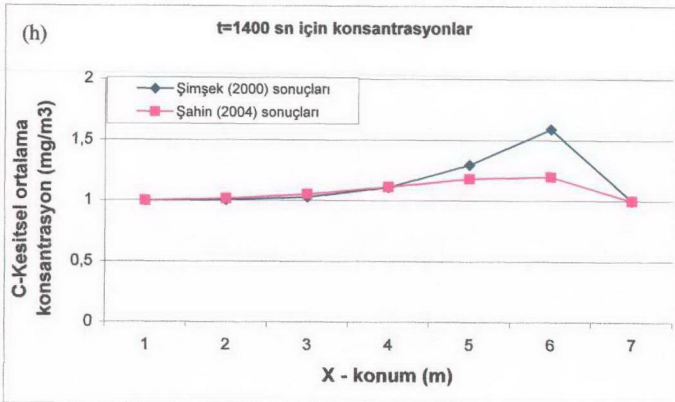
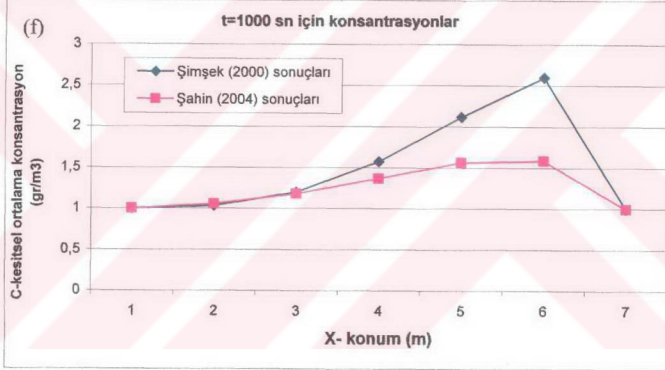
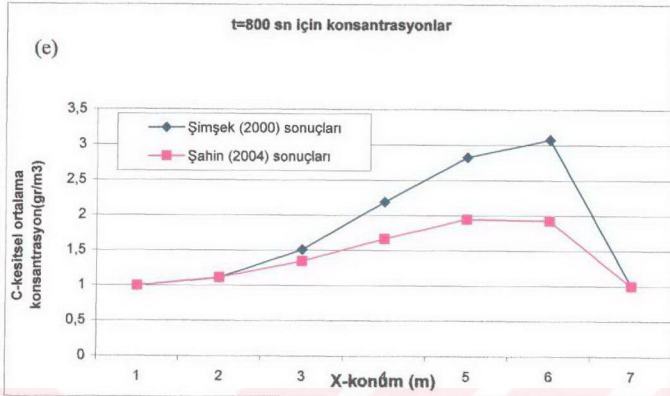
iterasyon adımlarının ilk iki sırasının matematiksel çözümünü elle yapılarak gösterilmiş oldu. Bundan sonraki iterasyon adımları EK-1 Tablo da verilmiştir. Bu tür problemlerin elle çözümü çok uzun zaman alacağından Fortran programlama dilinde bir program yazılarak iterasyon adımları çözülmüştür. Fortran program datası ek de sunulmuştur.

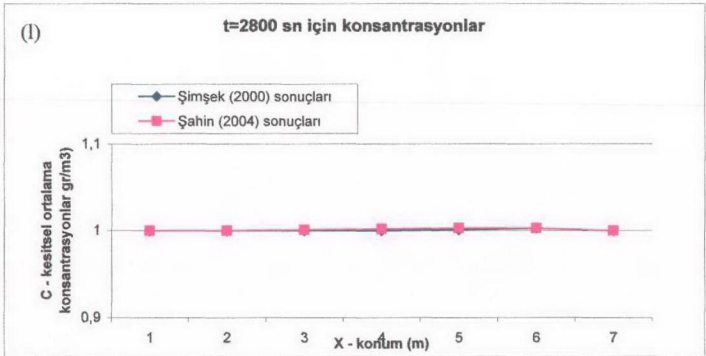
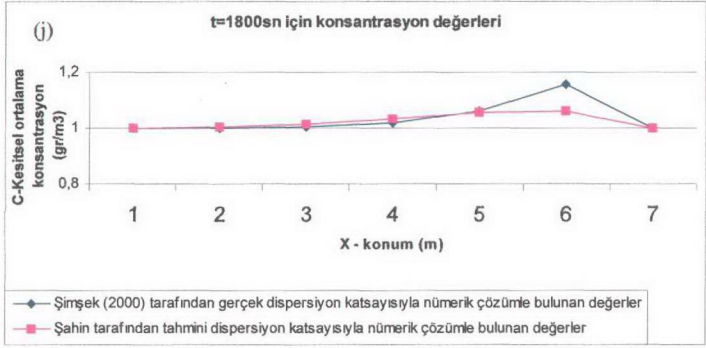
Şekil 6.4 ‘Konsantrasyon- konum grafikleri (a,b,c,d,e,f,g,h,j,k,l)’

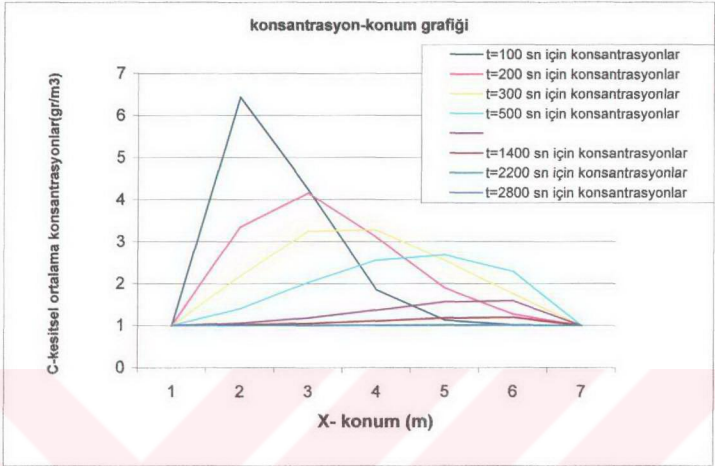




İlk 6 şekili sırayla inceleyelim. A şeklinde atık madde deşarjı yeni yapıldığından gerçek boyuna dispersiyon katsayısıyla çözümle tahmini boyuna dispersiyon katsayısı çözümü arasındaki fark çok azdır bunun nedeni şekil (3.5) de görüldüğü gibi atık madde bulutu henüz akarsuya karışmaya yeni başlamıştır. Zaman ilerledikçe b şeklinde görüldüğü gibi gerçek boyuna dispersiyon katsayısıyla çözümle tahmini boyuna dispersiyon katsayısı arasındaki konsantrasyon farkı belirginleşmeye başlamıştır. Bunun nedeni atık madde artık yavaş yavaş akarsuya karışmaya başlamıştır ve hesap yapılan boyuna dispersiyon katsayıları farklı olduğundan konsantrasyonlarda farklı çıkmıştır. Ancak konsantrasyon miktarları arasındaki fark kabul edilebilir düzeydedir. Dikkat edilecek olursa gerçek boyuna dispersiyon katsayısıyla nümerik olarak hesaplanan konsantrasyonlar her zaman daha yüksek çıkmaktadır. Bilindiği üzere gerçek boyuna dispersiyon katsayısı $7.40 \text{ m}^2/\text{sn}$ iken yeni denklemle hesaplanan boyuna dispersiyon katsayısı $12.64 \text{ m}^2/\text{sn}$ yani daha yüksektir. Dispersiyon maddenin yayılımı demek olduğundan boyuna dispersiyon katsayısı yüksek olan akarsularda atık madde yayılımı daha hızlı olmalıdır. Bunun sonucunda atık madde konsantrasyonu tahmini boyuna dispersiyon katsayısıyla yapılan nümerik hesapta daha düşük çıkması gerektiği sonucuna varılır. Grafiklere bakıldığında bu durumun gerçekleştiği görülmektedir. Şekil d,e,f incelendiğinde ise zaman ilerledikçe konsantrasyonun düştüğü ve atık madde bulutunun ilerlediği görülür. Zaten bilindiği üzere akarsularda durumun aynen bu şekilde olması beklenir. Şekil g,h,j,k,l,m, da durum aynen bu şekildedir. Şekil (6.5) de tahmini boyuna dispersiyon katsayısıyla hesaplanan konsantrasyon konum grafikleri toplu halde gösterilmiştir. Şekil (1) de görüldüğü üzere konsantrasyon $t=2800\text{sn}$ de azalarak ilk duruma gelmiştir.

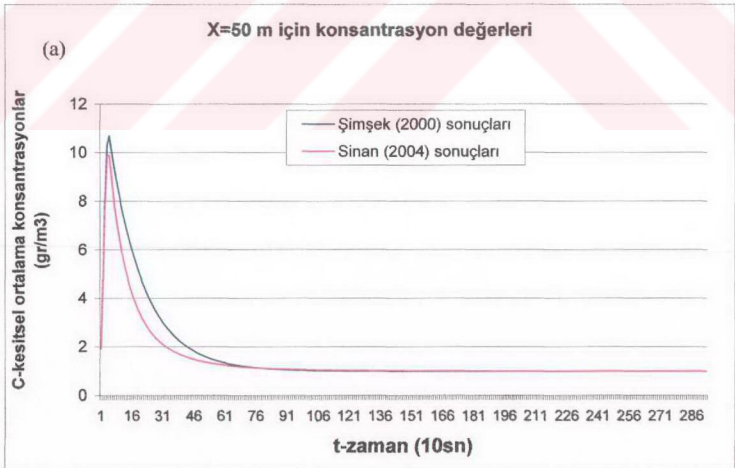


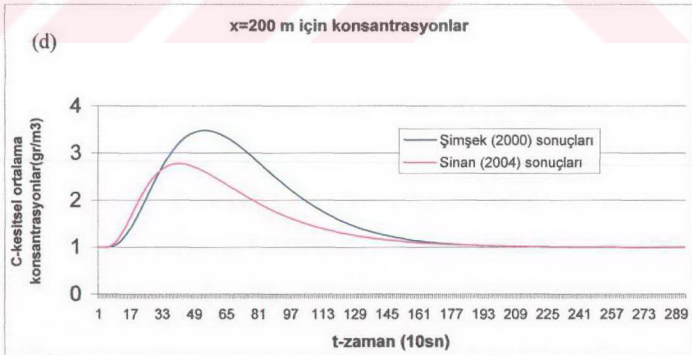
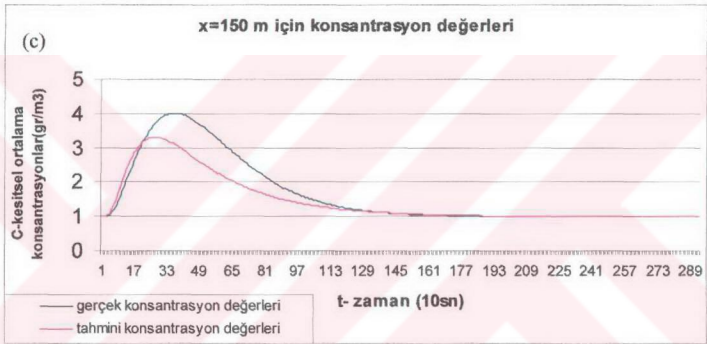
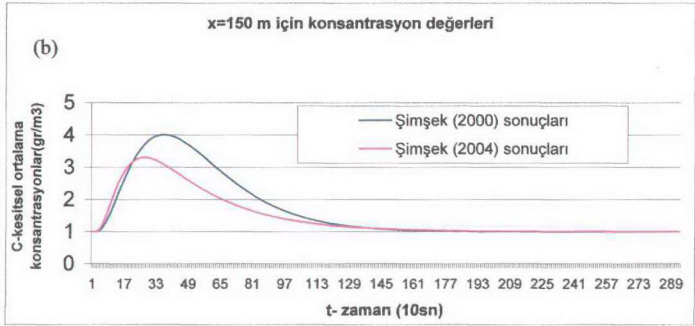


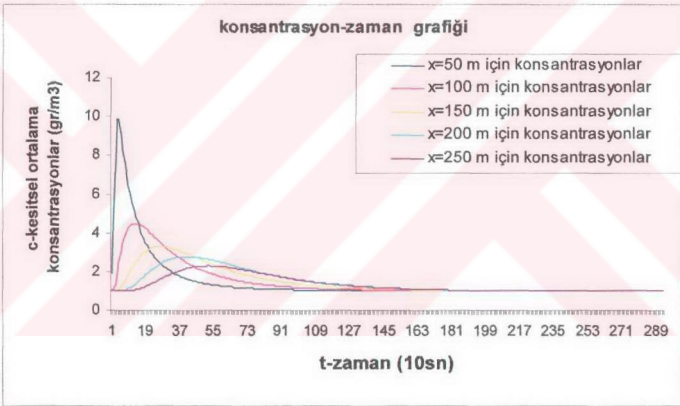
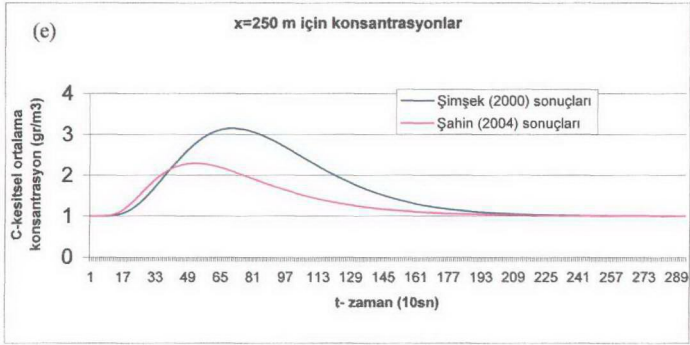


Şekil 6.5 'Konsantrasyon-konum grafiklerinin toplu gösterimi'

Konsantrasyon- zaman grafikleri







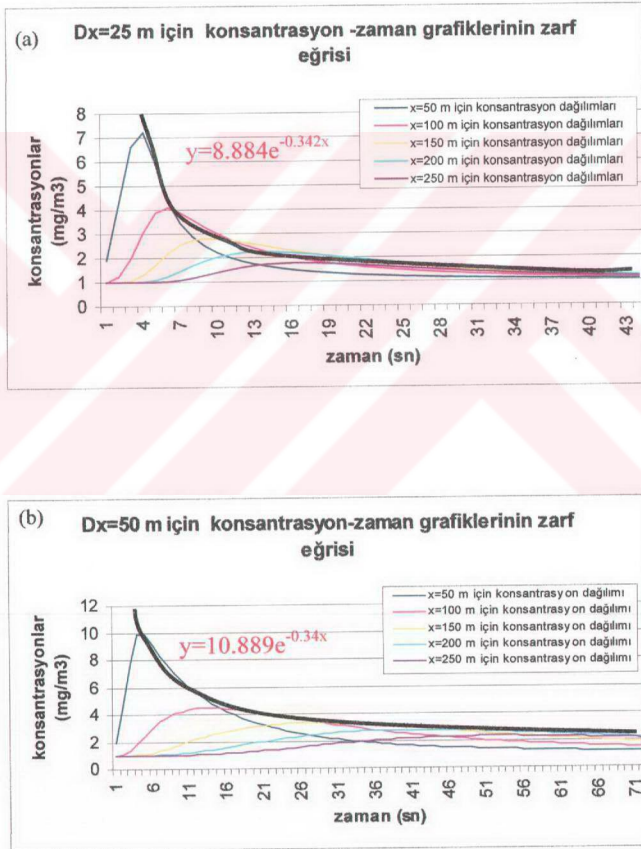
Şekil 6.7 ‘Konsantrasyon-zaman grafiklerinin toplu halde gösterimi’

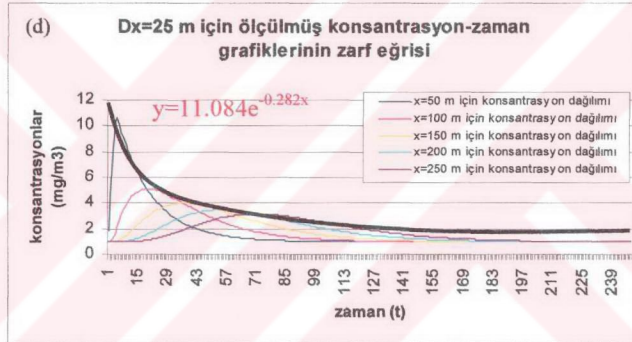
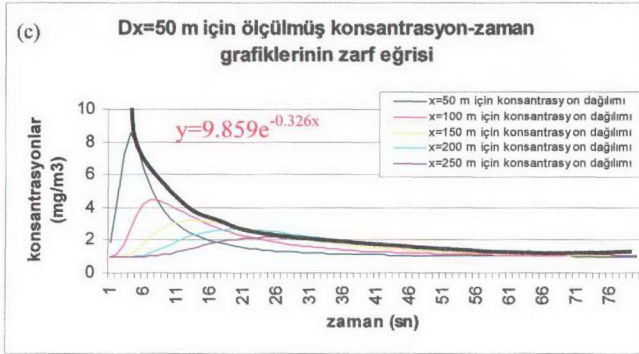
Şekil 6.7 de konsantrasyon-zaman grafiklerinin toplu halde gösterimi görülmektedir. Şekil a,b,c,d,e de beklendiği üzere konsantrasyon dağılımları zamanla azalmaktadır ve gerçek boyuna dispersiyon katsayısıyla bulunan konsantrasyon değerleri tahmini boyuna dispersiyon katsayısıyla bulunan konsantrasyon değerlerinden yüksektir.

6.3 Zarf eğrileri

Zarf eğrileri herbir konsantrasyon-zaman grafiklerinin maksimum noktasından teğet geçen eğri olarak tanımlanabilir. Zarf eğrilerinin çizilmesi sonuçların uyumunu görmek açısından faydalıdır. Aşağıda çeşitli durumlar için zarf eğrileri ve denklemleri görülmektedir.

Şekil 6.8 Zarf eğrileri





Tahmin edilen dispersiyon katsayısıyla hesaplanan $\Delta x=25\text{m}$ ve $\Delta y=50\text{m}$ için zarf eğrileri sırasıyla $y=8.884e^{-0.342x}$ ve $y=10.889e^{-0.34x}$ dir. Gözlemlenen sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Ölçülmüş dispersiyon katsayısıyla hesaplanan zarf eğrileri $\Delta x=25\text{m}$ ve $\Delta y=50\text{m}$ için sırasıyla $y=9.859e^{-0.326x}$ ve $y=11.084e^{-0.282x}$ dir ve bu değerlerde birbirlerine yakındır. Sonuç olarak Δx değerleri farklı olsa sonuçlar arasında bir uyum olduğu söylenebilir.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Matematiksel model, akarsu genişliği, kesitsel ortalama akım hızı ve kayma hızına bağlı olarak boyutlu boyuna dispersiyon katsayısını tahmin etmektedir. Konuyla ilgili en önemli çalışmalar olan Seo ve Cheong (1998), Kashefipour & Falconer I-II (2002) ait modeller yeni geliştirilen modelle karşılaştırılmıştır ve aşağıda sıralanan sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Dokuz adet karşılaştırma kriteri esas alınarak yapılan karşılaştırma ile sonuçların eldeki verilere uyumu açısından geliştirilen matematiksel modelin en başarılı model olduğu, arkasından Kashefipour & Falconer I (2002) ve Kashefipour & Falconer II (2002) ve Seo ve Cheong (1998) tarafından önerilen modellerin olduğu söylenebilir.
2. Beta katsayısını hesaplarken 81 adet veri kullanılmıştır. Bunun yerine verilerin içinden bir kısmı seçilerek beta katsayısının bulunması yoluna gidilebilirdi ancak beta katsayısını bulmak için kullanılan Fortran programı mevcut verileri kullanarak en iyi katsayıyı bulmaya çalıştığından ve verilerin hepsini kullanmak en iyi beta katsayısını vereceğinden ve modelin sonuçları genelleştirilebileceğinden eldeki verilerin hepsi kullanılmıştır.
3. Bir model ve bağıntının başarısından emin olmak için ve başka modellerle karşılaştırmak için az sayıda karşılaştırma kriteri yerine imkanlar el verdiği sürece çok sayıda karşılaştırma kriterinin kullanılmasında fayda vardır.
4. Uygulamada kullanılan boyuna dispersiyon katsayısı ile yeni modelin hesapladığı boyuna dispersiyon katsayısı için ayrılma oranı 0.23 dır. Ayrılma oranının 0.3 den küçük olması istendiğinden 0.23 oranının yeterli olması gerekir. Uygulamada da görülmüştür ki gerçek boyuna dispersiyon katsayısı ile hesaplanan boyuna dispersiyon katsayısı ile

yapılan nümerik çözüm sonuçları birbirine yakındır. Dolayısı ile ayrılma oranının iyi bir karşılaştırma kriteri olduğu gösterilmiştir.

5. Akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının bulunması ile ilgili çalışmaların mükemmel olabilmesi için;

- Hem enine hemde düşey doğrultudaki hız değişimini,
 - Akarsu kesitinin üniform olmayışını
 - Sekonder akımların etkisini
- ihativa etmesi gerektiği görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Al Naib, S. and Sanders, J.,** 1997. Oblique and vertical jet dispersion in channels, *ASCE Journal ofHydra u/ic Engineering*, 123(5), 456-462.
- Aris, R.,** 1956. On the dispersion of the solute in a fluid flowing through a tube, *Proceedings ofthe Royal Society, Series A*, 1956, (235), 67-77.
- Atesman, KM.,** 1970. The dispersion of matter in turbulent shear flows, *PhD thesis*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Aytek, A. and Toprak, Z. F.,** 2001. Freshwater-saltwater distribution and freshwater potential of Turkey, *Proceedings of International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment*, İTÜ, İstanbul, July 2001, 233 - 238.
- Baeumer, B., Benson, D.A., Meerschaert, M.M., and Wheatcraft, S.W.,** 2001. subordinated Advection-Dispersion Equation for contaminant transport, *Water Resources Research*, 37(6), 1543-1550.
- Bansal, M.K,** 1970. Dispersion and reaeration in natural streams, *PhD thesis*, Kansas University, Lawrence, Kansas.
- Bansal, M. K.,** 1971, Dispersion in natural streams, *J. Hydr. Div., ASCE*, 97(11), 1867-1886
- Basha, H.A.,**1997. Analytical model of two-dimensional dispersion in laterally nonuniform axial velocity distributions, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, 123(10), pp.853-862.
- Bear, J.,** 1960.The transition zone between fresh and salt waters in coastal aquifers, *PhD Thesis*, University of California, Berkeley.
- Bear, T. And Bachmat, Y.,** 1965. A unified approach to transport phenomena in porous media. Underground storage and mixing of water. *Prog. Rep. 3, Technion -Israel Ins. of Technol., Hydraulic Lab., Haifa, P.N. 1/65.*

- Bear T. and Young P.C.**, 1983. Longitudinal dispersion in natural streams, *ASCE J. Envir. Engrg.*, 109(5), 1049-1067.
- Beltaos, S.**, 1980. Longitudinal dispersion in rivers, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, 106(HY1), 151-172.
- Benjamin, J.I.L and Cornell, C.A.**, 1970. Probability statistics and decision for civil engineering, McGraw-Hill Book Co., 1970.
- Benson, D.A., Wheatcraft, S.W. and Meerschaert, M.M.**, 2000. Application of a Fractional Advection-Dispersion Equation, *Water Resources Research*, 36(6), 1403-1412.
- Bidwell, V.J.**, 2000. A formula for prediction advection-dispersion in the vadose zone at uneven drainage intervals, *Water Resources Research*, 36(10),3077-3080
- Bogle, G.V.**, 1997. Stream velocity profiles and longitudinal dispersion, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, 123(9), 816-820.
- Boning, C.W.**, 1974. Generalization of streamtravel rates and dispersion characteristics from time of travel measurements, *US. Geological Survey, Journal ofResearch*, 2(4), 495-499.
- Cardoso, O.,Gluckmann, B., Parcollet, O. and Tabeling, P.**, 1996. Dispersion in a quasi-two-dimensional-turbulent flow: An experimental study, *Physics of Fluids*, 8(1), 209-214.
- Chatwin, P.C.**, 1971. On the interpretation of some longitudinal dispersion experiments, *J Fluid Mech.*, 48(4), 689-702.
- Chatwin P.C.**, 1980. Presentation of longitudinal dispersion data, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, 106, 71-83.
- Chin, C.L. and Lee, T.S.**, 1971. Stochastic simulation in study of transport processes in irregular natural streams, *Stochastic Hydraulics*, C. L. Chiu, ed., School of Engineering Publication Series 4, University of Pittsburgh, Pittsburgh,
- Day, T.J.**, 1975. Longitudinal dispersion in natural channels, *Water Resources Research*, 11(6), 909-918.
- Dou, C., Woldt, W., Bogardi, I. and Dahap, M.**, 1997, Numerical solute transport simulation using flizzy sets approach, *Journal of Contaminant Hydrology*, 27, 107-126.
- El Hadi, N. D., and Daver, K. S.**, 1976. Longitudinal dispersion for flow over rough

- beds, *J. Hydr. Div., ASCE*, 102(4), 483-498.
- Elder, J.W.**, 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, *Journal of Fluid Mechanics*, 5(4), 544-560.
- Fischer, H.B.**, 1967. The mechanics of dispersion in natural streams, *ASCE, J. Hydr. Div.*, 93(6), 187-216.
- Fischer, H.B.**, 1968 a. Dispersion predictions in natural streams, *ASCE J Sanitary Div.*, 94(5), 927-943.
- Fischer, H.B.**, 1968 b. The effects of bends on dispersion in streams, *Water Resources Research*, 5(2), 496-506.
- Fischer H.B.**, 1975. Discussion of Simple method for prediction dispersion in streams' by R.S. McQuivey and T.N. Keefer, *J. Environ Eng Div ASCE*, 101:453-5
- Fischer H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H.**, 1979. Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, Inc., New York, N.Y.
- Fukooka, S. and Sayre, W.**, 1973. Longitudinal dispersion in sinuous channels, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, 195-217.
- Gandolfi, C., Facchi, A. and Whelan, M.J.**, 2001. On the relative role of hydrodynamic dispersion for river water quality, *Water Resources Research*, 37(9), 2365-2375.
- Godfrey, R. G., and Frederick, B. J.**, 1970. Stream dispersion at selected sites, *US Geological Survey*, Prof. Paper, 433-K, Washington, D.C.
- Graf, J.B.**, 1986. Travel time and longitudinal dispersion in Illinois streams, *Water-Supply Paper 2269*, U.S, Geological Survey.
- Guymer, I., and West, J.R.**, 1992. Longitudinal dispersion coefficients in Estuary. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 118(5), 718-734.
- Guymer, I.** 1998. Longitudinal dispersion in sinuous channel with changes in shape, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 124(1), 33-40.
- Jackel, U. and Vereecken, H.**, 1997. Renormalization group analysis of macrodispersion in a directed random flow, *Water Resources Research*, 33(10), 2287-2299.
- Jobson, H.E.**, 1997. Predicting travel time and dispersion in rivers and streams, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, 123(11), 971-978.
- Karahan M. Emin** (1975) Uniform olmayan taban malzemesi için hareketin

- başlangıcının belirlenmesi / Tez (Doktora)--İTÜ Müh. Mim. Fak.,
Kashefpour, S.M. and Falconer, ~ Longitudinal dispersion coefficients in natural streams, *Water Research*, 36(2002), 1596-1608.
- Klipatrick, F.A.,** 1993. Simulation of soluble waste transport and buildup in surface waters using tracers, *U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, Book 3.
- Koussis, AD. and Rodriguez-Mirasol, J.,** 1998. Hydraulic estimation of dispersion coefficient for streams, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 1988; 124:3 17-20.
- Li, S.G. and Zhou, X.,** 1997. Stochastic theory for irregular stream modeling II: Solute transport, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 123(7), 610-615.
- Liu, H.,** 1977. Predicting dispersion coefficient of stream, *J. Envir., Engrg., Div., ASCE*, 103(1), 59-69.134
- McQuivey, R.S. and Keefer, T.N.,** 1974. Simple method for prediction dispersion in streams, *J. of Environ. Eng. ASCE*, 100,997-1011.
- Nordin, C.F.,and Sabol, G.V.,** 1974. Empirical data on longitudinal dispersion in rivers, *U.S. Geological Survey Water Resour. Investigation* 20-74, Washington, D.C.
- Parker, FL.,** 1961. Eddy diffusion in reservoirs and pipe lines, *J. of Hydr. Div., ASCE*, 87(3), 151-171.
- Pasquero, C., Provenzale, and Babiano, A.,** 2001. Parameterization of dispersion in two-dimensional turbulence, *Journal of Fluid Mechanics*, 439, 279-303.
- Savcı, M.E.,** 1970. Boyuna Dispersiyon ile İlgili çalışmaların Kritiği, Koç Holding Bursu Destğinde Yapılan (çalışmanın Raporu. İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi.
- Savcı M.E.,** 1972. Batmış sıçramanın etüdü ve batmış sıçramada maddenin boyuna dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü, inşaat Fakültesi, İstanbul.
- Savcı M.E.,** 1973. Longitudinal dispersion of soluble matter in submerged jumps. *Proceedings of 15th Congress of the International Association for Hydraulic Research (JAHR, AIRH)*, ,İstanbul, 1973,71-78.
- Savcı M.E.,** 1977. Hidrolik sıçramada maddenin boyuna dispersiyonu ve Froude sayısının boyuna dispersiyon katsayısına etkisi, TÜBİTAK araştırma

projesi, MAG-325. 112 sayfa.

- Savcı M.E., 1987. Su kalitesi kontrolünde türbülans dispersiyonu, *Türkiye İnş Müh. IX. Teknik Kongresi*, Ankara, 1987.
- Savcı, M.E., 1989. Batmış akımlarda türbülans dispersiyonu, *VI.Ulusal Mekanik Kongresi*, Bursa, 1989.
- Sayre, W.W., 1968. Dispersion of mass in open channel flow, *Colorado State University Hydraulics Paper*, Colorado, 1968, 3(4), 73.
- Sayre, W.W.and Chang, F.M., 1968. A laboratory investigation of open-channel dispersion, processes for dissolved, suspended and floating dispersants, *US. Geological Survey Professional Paper*, 433(E),71.
- Scheidegger,A.E., 1954. Statistical hydrodynamics in porous media. *J Appi. Phys.*,25.
- Seo, W. and Cheong, S., 1998. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams, *Journal of Hydraulic Engineering*, 24(1), 25-32.
- Sooky, A. A., 1969. Longitudinal dispersion in open channels, *J. Hydr. Div., ASCE*, 95(4), 1327-1346.
- Strack, O.D.L., 1992. A mathematical model for dispersion with a moving front in groundwater. *Water Resources Research*, 28(11), 2973-2980.
- Strack, O.D.L. and Fairbrother, M.D., 1997. Numerical solution of the differential equation for moving front dispersion, *Journal ofHydrology*, 194, 164-176
- Sümer, M., 1970. Ağırlıklı ve ağırlıksız maddenin boyuna dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü inşaat Fakültesi Matbaası
- Swamee, P.K., Pathak, S.IC and Sohrab, M., 2000. Empirical relations for longitudinal dispersion in streams, *j Hydraulic Eng ASCE*, 126,1056-1062.
- Taylor, G.I., 1921. Diffussion by continuous movements, *Proceedings of Mathematical Society*, 2(20), London, 1921, 196-212.
- Taylor, G.I., 1953. The dispersion of soluble matter in solvent flowing through a tube, *Proc., Royal Society ofLondon*, 219(A), 186-203.
- Taylor, G.I., 1954. The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe, *Proc., Royal Society ofLondon*, 223(A), 446-468.
- Thackston, E.L., and Krenkel, P.A., 1967. Longitudinal mixing in natural streams, *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. Soc. ASCE*,

93(5A5).

Toprak, Z.F., Şen, Z., and Savcı, M.E., 2003 Comment on longitudinal dispersion coefficients in natural channel, *Water Research*, under publication.

Toprak, Z.F. 2003 “Akarsularda Boyuna Dispersiyon Katsayısının Belirlenmesi”

Vanoni, V. A. (1963). “Sediment transportation mechanics: suspension of sediment.”, Proc. A.S.C.E., Jour. Hyd. Div., 89 , No. HY5, 45.

White, W. R. Milli, H., and Crabbe, A.D. (1973) “ Sediment transport: an appraisal methods, Vol 2; ” *Hydr. Res. Station Rep. No IT119, Wallingford, U.K.*

Yotsukura, N., Fischer, H.B., and Sayre, W.W., 1970. Measurement of mixing characteristics of the Missouri River between Sioux City, Iowa, and Plaffsmouth, Nebraska, *US. Geological Survey Water-Supply Paper 1899-G*, Washington, D.C.

Zhang, Q. 1995. Transient Behavior of Mixing Induced by a Random Velocity Field, *Water Resources Research*, 31(3), 577-591.

EKLER

EK 1

C Açık kanallarda dispersiyon katsayısını bulan nümerik integral çözümü

```
DIMENSION P1(100),P(100),G(100),R1(100),R(100),F0(100),S(100),
1T0(100)
V=0.01
P1(1)=1.+LOG(1.-V)
P(1)=0.01*P1(1)
G(1)=P(1)
R1(1)=G(1)/(V*(1.-V))
R(1)=0.01*R1(1)
F0(1)=(1./0.41**3)*R(1)
S(1)=1.+LOG(1.-V)
T0(1)=S(1)*F0(1)
T00=0.01*T0(1)
DO 2 I=2,99
V=V+0.01
P1(I)=1.+LOG(1.-V)
P(I)=P(I-1)+0.005*(P1(I-1)+P1(I))
G(I)=P(I)
R1(I)=G(I)/(V*(1.-V))
R(I)=R(I-1)+0.005*(R1(I)+R1(I-1))
F0(I)=(1./0.41**3)*R(I)
S(I)=1.+LOG(1.-V)
T0(I)=S(I)*F0(I)
2 T00=T00+0.005*(T0(I)+T0(I-1))
T00=T00+0.01*T0(99)
DISPO=(-1.)*T00
OPEN(5,file="sinan.DAT")
WRITE(5,4)(DISPO)
3 FORMAT (5X,6HDISPO=F12.5)
4 FORMAT (5X,F12.5,10X,F12.5)
STOP
END
```

Not: 3. satırdaki 1 ifadesi bir üst ifadenin devamı olduğunu gösterir.

c Beta katsayısını bulan program

```
DIMENSION U(81),R(81),G(81),S(81),G1(81),U1(81),R1(81)
DIMENSION SAY(200,200,81),SA(200,200),ORT(200,200)
READ (5,*) (U(I), I=1,81)
READ (5,*) (G(I), I=1,81)
READ (5,*) (R(I), I=1,81)
READ (5,*) (S(I), I=1,81)
READ (5,*) (U1(I), I=1,81)
A=3.
V=0.
DO 1 J=1,200
V=0.
A=A+0.01
DO 1 K=1,200
V=V+0.01
SA(J,K)=0
ORT(J,K)=0
DO 1 I=1,81
G1(I)=U(I)**2*G(I)/S(I)
R1(I)=A*((S(I)/U(I))**V)*G1(I)
SAY(J,K,I)=LOG10(R1(I)/U1(I))
IF(SAY(J,K,I).LT..314.AND.SAY(J,K,I).GT.-.314) SA(J,K)=SA(J,K)+1
IF(SAY(J,K,I).LT.0) SAY(J,K,I)=-1*SAY(J,K,I)
ORT(J,K)=SAY(J,K,I)+ORT(J,K)
1 CONTINUE
OPEN(5,file="sinan.dat")
DO 10 K=1,200
DO 10 J=1,200
IF(SA(J,K).GT.55) WRITE(5,*) SA(J,K),ORT(J,K),J,K
10 CONTINUE
STOP
END
```

Not: Read komutuyla 405 adet verinin girilmesi istenmektedir ve hata yapmadan girilmesi oldukça zordur bu yüzden direkt olarak programın içine verileri yazmanız tavsiye edilir.

C Yeni denklemin doğrulukla hesapladığı ayrılma oranlarının sayısı ve ortalaması

```
DIMENSION U(81),R(81),G(81),S(81),G1(81),U1(81),S1(81)
READ (5,*) (U(I), I=1,81)
READ (5,*) (G(I), I=1,81)
READ (5,*) (R(I), I=1,81)
READ (5,*) (S(I), I=1,81)
READ (5,*) (U1(I), I=1,81)
ITER=0
ORT=0
DO 2 I=1,81
  G1(I)=3.93*U(I)**0.67*S(I)**0.33*G(I)
  S1(I)=LOG10((G1(I))/U1(I))
  IF (S1(I).LT..314.AND.S1(I).GT.-.314) ITER=ITER+1
  IF (S1(I).LT.0) S1(I)=-1*S1(I)
  ORT=ORT+S1(I)
2 CONTINUE
OPEN(5,file="sinan.DAT")
DO 6 I=1,81
  WRITE(5,4) S1(I)
6 CONTINUE
WRITE(5,*) ITER,ORT
4 FORMAT (5X,F12.5,10X,F12.5)
STOP
END
```

c Yeni denklem için konsantrasyonların sonlu farklarla bulunması

```
DIMENSION S(20,293)
DT=10.
DX=50.
U=0.29
DO 1 I=1,7
  S(I,0)=1.
1 CONTINUE
DO 2 J=0,293
  S(1,J)=1.
  S(7,J)=1.
2 CONTINUE
DO 3 J=0,293
  DO 3 I=6,2,-1
    S(I,J+1)=S(I,J)+DT*((12.64*(S(I+1,J)-2*S(I,J)+
    1S(I-1,J))/(DX**2)-U*(S(I+1,J)-S(I-1,J))/(2*DX)))
    IF (I.EQ.2.AND.J.EQ.0) S(2,1)=S(2,1)+0.909
    IF (I.EQ.2.AND.J.EQ.1) S(2,2)=S(2,2)+2.727
    IF (I.EQ.2.AND.J.EQ.2) S(2,3)=S(2,3)+3.636
    IF (I.EQ.2.AND.J.EQ.3) S(2,4)=S(2,4)+2.727
    IF (I.EQ.2.AND.J.EQ.4) S(2,5)=S(2,5)+0.909
3 CONTINUE
OPEN(5,file="sin.DAT")
DO 4 J=1,283
  WRITE(5,7) (S(2,283))
4 CONTINUE
7 FORMAT(7F10.3)
STOP
END
```

Tablo A.1 $\Delta x=50m$, $\Delta t=10sn$ ve Gerçek Dispersiyon Katsayısı ile nümerik çözüm sonucu elde edilen konsantrasyonlar, $C(Gr/m^3)$								
MESAFE ($\Delta x=50m$)								
	0	1	2	3	4	5	6	7
ZAMAN ($\Delta t=10sn$)	1	1.000	1.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2	1.000	4.582	1.053	1.000	1.000	1.000	1.000
	3	1.000	8.006	1.260	1.003	1.000	1.000	1.000
	4	1.000	10.319	1.655	1.018	1.000	1.000	1.000
	5	1.000	10.676	2.162	1.055	1.001	1.000	1.000
	6	1.000	10.104	2.661	1.120	1.004	1.000	1.000
	7	1.000	9.566	3.096	1.211	1.011	1.000	1.000
	8	1.000	9.060	3.474	1.321	1.023	1.001	1.000
	9	1.000	8.585	3.800	1.447	1.040	1.002	1.000
	10	1.000	8.137	4.079	1.585	1.064	1.004	1.000
	11	1.000	7.717	4.315	1.730	1.095	1.008	1.000
	12	1.000	7.321	4.513	1.882	1.132	1.013	1.000
	13	1.000	6.949	4.676	2.035	1.176	1.020	1.000
	14	1.000	6.599	4.808	2.190	1.226	1.029	1.000
	15	1.000	6.270	4.911	2.342	1.282	1.041	1.000
	16	1.000	5.960	4.989	2.492	1.344	1.055	1.000
	17	1.000	5.669	5.045	2.638	1.411	1.072	1.000
	18	1.000	5.395	5.080	2.778	1.483	1.092	1.000
	19	1.000	5.137	5.097	2.912	1.559	1.114	1.000
	20	1.000	4.895	5.098	3.039	1.638	1.140	1.000
	21	1.000	4.667	5.085	3.159	1.720	1.169	1.000
	22	1.000	4.452	5.059	3.271	1.804	1.202	1.000
	23	1.000	4.250	5.022	3.375	1.889	1.237	1.000
	24	1.000	4.060	4.976	3.471	1.976	1.275	1.000
	25	1.000	3.881	4.922	3.558	2.063	1.316	1.000
	26	1.000	3.713	4.860	3.637	2.150	1.359	1.000
	27	1.000	3.555	4.792	3.708	2.237	1.406	1.000
	28	1.000	3.406	4.719	3.770	2.323	1.454	1.000
	29	1.000	3.266	4.641	3.825	2.407	1.505	1.000
	30	1.000	3.134	4.560	3.872	2.490	1.557	1.000
	31	1.000	3.010	4.476	3.912	2.570	1.611	1.000
	32	1.000	2.893	4.390	3.944	2.648	1.667	1.000
	33	1.000	2.783	4.302	3.969	2.723	1.724	1.000
	34	1.000	2.679	4.213	3.988	2.796	1.782	1.000
	35	1.000	2.582	4.123	4.000	2.865	1.841	1.000
	36	1.000	2.490	4.032	4.007	2.931	1.901	1.000
	37	1.000	2.403	3.942	4.008	2.993	1.961	1.000
	38	1.000	2.322	3.852	4.003	3.052	2.021	1.000
	39	1.000	2.246	3.762	3.994	3.107	2.080	1.000
	40	1.000	2.174	3.673	3.980	3.159	2.140	1.000
	41	1.000	2.106	3.586	3.961	3.206	2.199	1.000
	42	1.000	2.042	3.499	3.939	3.250	2.257	1.000
	43	1.000	1.982	3.414	3.913	3.290	2.315	1.000
	44	1.000	1.925	3.330	3.883	3.326	2.371	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	45	1.000	1.872	3.248	3.850	3.358	2.426	1.000
	46	1.000	1.821	3.168	3.815	3.386	2.480	1.000
	47	1.000	1.774	3.090	3.777	3.411	2.532	1.000
	48	1.000	1.729	3.013	3.736	3.431	2.583	1.000
	49	1.000	1.687	2.938	3.694	3.449	2.631	1.000
	50	1.000	1.648	2.865	3.649	3.463	2.678	1.000
	51	1.000	1.611	2.794	3.603	3.473	2.723	1.000
	52	1.000	1.576	2.726	3.556	3.480	2.766	1.000
	53	1.000	1.543	2.659	3.507	3.484	2.807	1.000
	54	1.000	1.511	2.594	3.457	3.485	2.846	1.000
	55	1.000	1.482	2.531	3.407	3.483	2.882	1.000
	56	1.000	1.454	2.470	3.355	3.478	2.916	1.000
	57	1.000	1.428	2.411	3.304	3.471	2.948	1.000
	58	1.000	1.404	2.354	3.251	3.461	2.977	1.000
	59	1.000	1.381	2.299	3.199	3.448	3.004	1.000
	60	1.000	1.359	2.246	3.146	3.433	3.029	1.000
	61	1.000	1.339	2.194	3.094	3.416	3.052	1.000
	62	1.000	1.319	2.145	3.041	3.397	3.072	1.000
	63	1.000	1.301	2.097	2.989	3.376	3.090	1.000
	64	1.000	1.284	2.051	2.937	3.353	3.105	1.000
	65	1.000	1.268	2.006	2.885	3.329	3.118	1.000
	66	1.000	1.252	1.963	2.834	3.302	3.129	1.000
	67	1.000	1.238	1.922	2.783	3.275	3.138	1.000
	68	1.000	1.225	1.883	2.733	3.246	3.145	1.000
	69	1.000	1.212	1.845	2.683	3.216	3.150	1.000
	70	1.000	1.200	1.808	2.635	3.185	3.152	1.000
	71	1.000	1.188	1.773	2.587	3.152	3.153	1.000
	72	1.000	1.178	1.739	2.539	3.119	3.152	1.000
	73	1.000	1.168	1.707	2.493	3.085	3.148	1.000
	74	1.000	1.158	1.676	2.447	3.051	3.143	1.000
	75	1.000	1.149	1.646	2.402	3.015	3.137	1.000
	76	1.000	1.141	1.617	2.358	2.979	3.128	1.000
	77	1.000	1.133	1.590	2.315	2.943	3.118	1.000
	78	1.000	1.125	1.563	2.273	2.906	3.107	1.000
	79	1.000	1.118	1.538	2.232	2.869	3.094	1.000
	80	1.000	1.112	1.514	2.191	2.832	3.079	1.000
	81	1.000	1.105	1.491	2.152	2.795	3.064	1.000
	82	1.000	1.099	1.469	2.114	2.757	3.047	1.000
	83	1.000	1.094	1.447	2.076	2.720	3.028	1.000
	84	1.000	1.088	1.427	2.040	2.682	3.009	1.000
	85	1.000	1.083	1.407	2.004	2.645	2.989	1.000
	86	1.000	1.079	1.389	1.970	2.607	2.967	1.000
	87	1.000	1.074	1.371	1.936	2.570	2.945	1.000
	88	1.000	1.070	1.354	1.903	2.533	2.922	1.000
	89	1.000	1.066	1.338	1.872	2.497	2.898	1.000
	90	1.000	1.062	1.322	1.841	2.460	2.873	1.000
	91	1.000	1.059	1.307	1.811	2.424	2.848	1.000
	92	1.000	1.056	1.293	1.781	2.389	2.822	1.000
	93	1.000	1.053	1.279	1.753	2.353	2.796	1.000
	94	1.000	1.050	1.266	1.726	2.318	2.769	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	95	1.000	1.047	1.254	1.699	2.284	2.741	1.000
	96	1.000	1.044	1.242	1.673	2.250	2.713	1.000
	97	1.000	1.042	1.231	1.649	2.216	2.685	1.000
	98	1.000	1.039	1.220	1.624	2.183	2.657	1.000
	99	1.000	1.037	1.210	1.601	2.151	2.628	1.000
	100	1.000	1.035	1.200	1.578	2.119	2.599	1.000
	101	1.000	1.033	1.190	1.557	2.088	2.570	1.000
	102	1.000	1.031	1.181	1.535	2.057	2.541	1.000
	103	1.000	1.030	1.173	1.515	2.026	2.511	1.000
	104	1.000	1.028	1.165	1.495	1.997	2.482	1.000
	105	1.000	1.026	1.157	1.476	1.968	2.453	1.000
	106	1.000	1.025	1.149	1.458	1.939	2.423	1.000
	107	1.000	1.024	1.142	1.440	1.911	2.394	1.000
	108	1.000	1.022	1.135	1.423	1.884	2.365	1.000
	109	1.000	1.021	1.129	1.406	1.857	2.336	1.000
	110	1.000	1.020	1.123	1.390	1.831	2.307	1.000
	111	1.000	1.019	1.117	1.375	1.806	2.279	1.000
	112	1.000	1.018	1.111	1.360	1.781	2.250	1.000
	113	1.000	1.017	1.106	1.346	1.756	2.222	1.000
	114	1.000	1.016	1.101	1.332	1.732	2.194	1.000
	115	1.000	1.015	1.096	1.319	1.709	2.166	1.000
	116	1.000	1.014	1.091	1.306	1.687	2.139	1.000
	117	1.000	1.013	1.087	1.293	1.665	2.111	1.000
	118	1.000	1.013	1.083	1.282	1.643	2.085	1.000
	119	1.000	1.012	1.079	1.270	1.622	2.058	1.000
	120	1.000	1.011	1.075	1.259	1.602	2.032	1.000
	121	1.000	1.011	1.071	1.249	1.582	2.006	1.000
	122	1.000	1.010	1.068	1.238	1.563	1.981	1.000
	123	1.000	1.009	1.065	1.229	1.544	1.955	1.000
	124	1.000	1.009	1.061	1.219	1.526	1.931	1.000
	125	1.000	1.008	1.059	1.210	1.508	1.906	1.000
	126	1.000	1.008	1.056	1.201	1.491	1.883	1.000
	127	1.000	1.008	1.053	1.193	1.474	1.859	1.000
	128	1.000	1.007	1.050	1.185	1.458	1.836	1.000
	129	1.000	1.007	1.048	1.177	1.442	1.813	1.000
	130	1.000	1.006	1.046	1.170	1.427	1.791	1.000
	131	1.000	1.006	1.043	1.163	1.412	1.769	1.000
	132	1.000	1.006	1.041	1.156	1.398	1.748	1.000
	133	1.000	1.005	1.039	1.149	1.384	1.727	1.000
	134	1.000	1.005	1.037	1.143	1.370	1.706	1.000
	135	1.000	1.005	1.035	1.137	1.357	1.686	1.000
	136	1.000	1.005	1.034	1.131	1.344	1.667	1.000
	137	1.000	1.004	1.032	1.126	1.332	1.647	1.000
	138	1.000	1.004	1.031	1.120	1.320	1.628	1.000
	139	1.000	1.004	1.029	1.115	1.309	1.610	1.000
	140	1.000	1.004	1.028	1.110	1.297	1.592	1.000
	141	1.000	1.003	1.026	1.105	1.287	1.574	1.000
	142	1.000	1.003	1.025	1.101	1.276	1.557	1.000
	143	1.000	1.003	1.024	1.097	1.266	1.540	1.000
	144	1.000	1.003	1.023	1.092	1.256	1.524	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10$ sn)	145	1.000	1.003	1.021	1.088	1.247	1.508	1.000
	146	1.000	1.003	1.020	1.085	1.238	1.492	1.000
	147	1.000	1.002	1.019	1.081	1.229	1.477	1.000
	148	1.000	1.002	1.018	1.077	1.220	1.462	1.000
	149	1.000	1.002	1.018	1.074	1.212	1.448	1.000
	150	1.000	1.002	1.017	1.071	1.204	1.434	1.000
	151	1.000	1.002	1.016	1.068	1.196	1.420	1.000
	152	1.000	1.002	1.015	1.065	1.189	1.407	1.000
	153	1.000	1.002	1.014	1.062	1.182	1.394	1.000
	154	1.000	1.002	1.014	1.059	1.175	1.381	1.000
	155	1.000	1.002	1.013	1.057	1.168	1.369	1.000
	156	1.000	1.001	1.012	1.054	1.162	1.357	1.000
	157	1.000	1.001	1.012	1.052	1.156	1.345	1.000
	158	1.000	1.001	1.011	1.049	1.150	1.334	1.000
	159	1.000	1.001	1.011	1.047	1.144	1.323	1.000
	160	1.000	1.001	1.010	1.045	1.138	1.312	1.000
	161	1.000	1.001	1.010	1.043	1.133	1.302	1.000
	162	1.000	1.001	1.009	1.041	1.128	1.292	1.000
	163	1.000	1.001	1.009	1.039	1.123	1.282	1.000
	164	1.000	1.001	1.008	1.038	1.118	1.272	1.000
	165	1.000	1.001	1.008	1.036	1.113	1.263	1.000
	166	1.000	1.001	1.007	1.034	1.109	1.254	1.000
	167	1.000	1.001	1.007	1.033	1.105	1.246	1.000
	168	1.000	1.001	1.007	1.031	1.101	1.237	1.000
	169	1.000	1.001	1.006	1.030	1.097	1.229	1.000
	170	1.000	1.001	1.006	1.029	1.093	1.221	1.000
	171	1.000	1.001	1.006	1.027	1.089	1.214	1.000
	172	1.000	1.001	1.005	1.026	1.086	1.206	1.000
	173	1.000	1.001	1.005	1.025	1.082	1.199	1.000
	174	1.000	1.001	1.005	1.024	1.079	1.192	1.000
	175	1.000	1.001	1.005	1.023	1.076	1.185	1.000
	176	1.000	1.000	1.004	1.022	1.073	1.179	1.000
	177	1.000	1.000	1.004	1.021	1.070	1.172	1.000
	178	1.000	1.000	1.004	1.020	1.067	1.166	1.000
	179	1.000	1.000	1.004	1.019	1.064	1.160	1.000
	180	1.000	1.000	1.004	1.018	1.062	1.155	1.000
	181	1.000	1.000	1.003	1.017	1.059	1.149	1.000
	182	1.000	1.000	1.003	1.016	1.057	1.144	1.000
	183	1.000	1.000	1.003	1.016	1.054	1.139	1.000
	184	1.000	1.000	1.003	1.015	1.052	1.134	1.000
	185	1.000	1.000	1.003	1.014	1.050	1.129	1.000
	186	1.000	1.000	1.003	1.014	1.048	1.124	1.000
	187	1.000	1.000	1.003	1.013	1.046	1.119	1.000
	188	1.000	1.000	1.002	1.012	1.044	1.115	1.000
	189	1.000	1.000	1.002	1.012	1.042	1.111	1.000
	190	1.000	1.000	1.002	1.011	1.041	1.107	1.000
	191	1.000	1.000	1.002	1.011	1.039	1.103	1.000
	192	1.000	1.000	1.002	1.010	1.037	1.099	1.000
	193	1.000	1.000	1.002	1.010	1.036	1.095	1.000
	194	1.000	1.000	1.002	1.009	1.034	1.092	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	195	1.000	1.000	1.002	1.009	1.033	1.088	1.000
	196	1.000	1.000	1.002	1.009	1.031	1.085	1.000
	197	1.000	1.000	1.002	1.008	1.030	1.082	1.000
	198	1.000	1.000	1.001	1.008	1.029	1.079	1.000
	199	1.000	1.000	1.001	1.007	1.028	1.076	1.000
	200	1.000	1.000	1.001	1.007	1.027	1.073	1.000
	201	1.000	1.000	1.001	1.007	1.025	1.070	1.000
	202	1.000	1.000	1.001	1.006	1.024	1.068	1.000
	203	1.000	1.000	1.001	1.006	1.023	1.065	1.000
	204	1.000	1.000	1.001	1.006	1.022	1.062	1.000
	205	1.000	1.000	1.001	1.006	1.021	1.060	1.000
	206	1.000	1.000	1.001	1.005	1.020	1.058	1.000
	207	1.000	1.000	1.001	1.005	1.020	1.056	1.000
	208	1.000	1.000	1.001	1.005	1.019	1.053	1.000
	209	1.000	1.000	1.001	1.005	1.018	1.051	1.000
	210	1.000	1.000	1.001	1.004	1.017	1.049	1.000
	211	1.000	1.000	1.001	1.004	1.017	1.047	1.000
	212	1.000	1.000	1.001	1.004	1.016	1.046	1.000
	213	1.000	1.000	1.001	1.004	1.015	1.044	1.000
	214	1.000	1.000	1.001	1.004	1.014	1.042	1.000
	215	1.000	1.000	1.001	1.003	1.014	1.040	1.000
	216	1.000	1.000	1.001	1.003	1.013	1.039	1.000
	217	1.000	1.000	1.001	1.003	1.013	1.037	1.000
	218	1.000	1.000	1.001	1.003	1.012	1.036	1.000
	219	1.000	1.000	1.000	1.003	1.012	1.034	1.000
	220	1.000	1.000	1.000	1.003	1.011	1.033	1.000
	221	1.000	1.000	1.000	1.003	1.011	1.032	1.000
	222	1.000	1.000	1.000	1.002	1.010	1.031	1.000
	223	1.000	1.000	1.000	1.002	1.010	1.029	1.000
	224	1.000	1.000	1.000	1.002	1.009	1.028	1.000
	225	1.000	1.000	1.000	1.002	1.009	1.027	1.000
	226	1.000	1.000	1.000	1.002	1.009	1.026	1.000
	227	1.000	1.000	1.000	1.002	1.008	1.025	1.000
	228	1.000	1.000	1.000	1.002	1.008	1.024	1.000
	229	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.023	1.000
	230	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.022	1.000
	231	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.021	1.000
	232	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.020	1.000
	233	1.000	1.000	1.000	1.001	1.006	1.020	1.000
	234	1.000	1.000	1.000	1.001	1.006	1.019	1.000
	235	1.000	1.000	1.000	1.001	1.006	1.018	1.000
	236	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.017	1.000
	237	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.017	1.000
	238	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.016	1.000
	239	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.015	1.000
	240	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.015	1.000
	241	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.014	1.000
	242	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.013	1.000
	243	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.013	1.000
	244	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.012	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10$ sn)	245	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.012	1.000
	246	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.011	1.000
	247	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.011	1.000
	248	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.010	1.000
	249	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.010	1.000
	250	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.010	1.000
	251	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.009	1.000
	252	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.009	1.000
	253	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.008	1.000
	254	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.008	1.000
	255	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.008	1.000
	256	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.000
	257	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.000
	258	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.000
	259	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.007	1.000
	260	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.006	1.000
	261	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.006	1.000
	262	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.006	1.000
	263	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.006	1.000
	264	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.005	1.000
	265	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.000
	266	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.000
	267	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.005	1.000
	268	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	269	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	270	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	271	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	273	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.000
	274	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	275	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	276	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	278	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	279	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	280	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	281	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.000
	282	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	283	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	284	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	285	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	286	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	288	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.000
	289	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000
	290	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000
	291	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000
	292	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000
	293	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.000

Tablo A.2 $\Delta x=50m$, $\Delta t=10sn$ ve tahmini Dispersiyon Katsayısı ile nümerik çözüm sonucu elde edilen konsantrasyonlar, $C(Gr/m^3)$								
MESAFE ($\Delta x=50m$)								
	0	1	2	3	4	5	6	7
ZAMAN ($\Delta t=10sn$)	1	1.000	1.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2	1.000	4.544	1.072	1.000	1.000	1.000	1.000
	3	1.000	7.822	1.347	1.006	1.000	1.000	1.000
	4	1.000	9.865	1.856	1.033	1.000	1.000	1.000
	5	1.000	9.894	2.476	1.098	1.003	1.000	1.000
	6	1.000	9.025	3.037	1.206	1.011	1.000	1.000
	7	1.000	8.256	3.475	1.347	1.026	1.001	1.000
	8	1.000	7.574	3.810	1.510	1.051	1.003	1.000
	9	1.000	6.968	4.060	1.683	1.086	1.007	1.000
	10	1.000	6.430	4.240	1.860	1.132	1.013	1.000
	11	1.000	5.950	4.363	2.033	1.188	1.022	1.000
	12	1.000	5.521	4.439	2.201	1.251	1.035	1.000
	13	1.000	5.137	4.476	2.358	1.322	1.051	1.000
	14	1.000	4.793	4.483	2.505	1.399	1.072	1.000
	15	1.000	4.484	4.465	2.638	1.480	1.096	1.000
	16	1.000	4.206	4.427	2.759	1.564	1.125	1.000
	17	1.000	3.955	4.373	2.866	1.650	1.157	1.000
	18	1.000	3.729	4.307	2.960	1.736	1.193	1.000
	19	1.000	3.524	4.232	3.040	1.822	1.232	1.000
	20	1.000	3.338	4.150	3.109	1.906	1.274	1.000
	21	1.000	3.170	4.062	3.166	1.988	1.318	1.000
	22	1.000	3.016	3.972	3.212	2.067	1.365	1.000
	23	1.000	2.876	3.879	3.247	2.143	1.413	1.000
	24	1.000	2.748	3.786	3.274	2.216	1.462	1.000
	25	1.000	2.632	3.692	3.292	2.284	1.512	1.000
	26	1.000	2.525	3.599	3.302	2.347	1.563	1.000
	27	1.000	2.426	3.507	3.305	2.406	1.613	1.000
	28	1.000	2.336	3.416	3.301	2.461	1.663	1.000
	29	1.000	2.253	3.328	3.292	2.510	1.712	1.000
	30	1.000	2.177	3.241	3.278	2.555	1.760	1.000
	31	1.000	2.106	3.157	3.260	2.596	1.807	1.000
	32	1.000	2.041	3.076	3.237	2.631	1.852	1.000
	33	1.000	1.980	2.997	3.211	2.663	1.896	1.000
	34	1.000	1.924	2.920	3.182	2.690	1.938	1.000
	35	1.000	1.872	2.847	3.151	2.713	1.977	1.000
	36	1.000	1.824	2.776	3.117	2.732	2.015	1.000
	37	1.000	1.779	2.707	3.081	2.747	2.050	1.000
	38	1.000	1.737	2.641	3.044	2.758	2.083	1.000
	39	1.000	1.698	2.578	3.006	2.767	2.113	1.000
	40	1.000	1.661	2.517	2.967	2.771	2.141	1.000
	41	1.000	1.627	2.459	2.927	2.773	2.166	1.000
	42	1.000	1.595	2.403	2.886	2.772	2.189	1.000
	43	1.000	1.565	2.349	2.845	2.769	2.210	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	44	1.000	1.537	2.297	2.804	2.763	2.228	1.000
	45	1.000	1.511	2.247	2.763	2.754	2.244	1.000
	46	1.000	1.486	2.200	2.721	2.744	2.258	1.000
	47	1.000	1.463	2.154	2.680	2.732	2.269	1.000
	48	1.000	1.441	2.111	2.639	2.718	2.279	1.000
	49	1.000	1.420	2.069	2.599	2.702	2.286	1.000
	50	1.000	1.401	2.029	2.559	2.685	2.291	1.000
	51	1.000	1.383	1.990	2.519	2.666	2.295	1.000
	52	1.000	1.365	1.953	2.480	2.646	2.296	1.000
	53	1.000	1.349	1.918	2.442	2.626	2.296	1.000
	54	1.000	1.333	1.884	2.404	2.604	2.294	1.000
	55	1.000	1.319	1.851	2.367	2.581	2.291	1.000
	56	1.000	1.305	1.820	2.331	2.558	2.286	1.000
	57	1.000	1.292	1.790	2.295	2.534	2.280	1.000
	58	1.000	1.279	1.761	2.260	2.509	2.272	1.000
	59	1.000	1.268	1.734	2.225	2.484	2.263	1.000
	60	1.000	1.256	1.707	2.192	2.459	2.254	1.000
	61	1.000	1.246	1.682	2.159	2.433	2.243	1.000
	62	1.000	1.236	1.657	2.127	2.407	2.231	1.000
	63	1.000	1.226	1.634	2.096	2.381	2.218	1.000
	64	1.000	1.217	1.611	2.065	2.355	2.205	1.000
	65	1.000	1.208	1.590	2.035	2.328	2.191	1.000
	66	1.000	1.200	1.569	2.006	2.302	2.176	1.000
	67	1.000	1.192	1.549	1.978	2.276	2.160	1.000
	68	1.000	1.184	1.530	1.950	2.249	2.144	1.000
	69	1.000	1.177	1.511	1.923	2.223	2.128	1.000
	70	1.000	1.170	1.494	1.897	2.197	2.111	1.000
	71	1.000	1.164	1.477	1.871	2.172	2.094	1.000
	72	1.000	1.157	1.460	1.846	2.146	2.076	1.000
	73	1.000	1.151	1.445	1.822	2.121	2.059	1.000
	74	1.000	1.146	1.429	1.798	2.095	2.041	1.000
	75	1.000	1.140	1.415	1.775	2.071	2.022	1.000
	76	1.000	1.135	1.401	1.753	2.046	2.004	1.000
	77	1.000	1.130	1.387	1.731	2.022	1.986	1.000
	78	1.000	1.125	1.374	1.710	1.998	1.967	1.000
	79	1.000	1.121	1.362	1.690	1.974	1.949	1.000
	80	1.000	1.116	1.350	1.670	1.951	1.930	1.000
	81	1.000	1.112	1.338	1.650	1.928	1.912	1.000
	82	1.000	1.108	1.327	1.631	1.906	1.893	1.000
	83	1.000	1.104	1.316	1.613	1.884	1.875	1.000
	84	1.000	1.100	1.305	1.595	1.862	1.857	1.000
	85	1.000	1.097	1.295	1.578	1.840	1.838	1.000
	86	1.000	1.093	1.286	1.561	1.819	1.820	1.000
	87	1.000	1.090	1.276	1.545	1.799	1.802	1.000
	88	1.000	1.087	1.267	1.529	1.779	1.785	1.000
	89	1.000	1.084	1.259	1.513	1.759	1.767	1.000
	90	1.000	1.081	1.250	1.498	1.740	1.750	1.000
	91	1.000	1.078	1.242	1.484	1.721	1.733	1.000
	92	1.000	1.076	1.234	1.470	1.702	1.716	1.000
	93	1.000	1.073	1.227	1.456	1.684	1.699	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	94	1.000	1.071	1.220	1.443	1.666	1.683	1.000
	95	1.000	1.068	1.212	1.430	1.649	1.667	1.000
	96	1.000	1.066	1.206	1.417	1.632	1.651	1.000
	97	1.000	1.064	1.199	1.405	1.615	1.635	1.000
	98	1.000	1.062	1.193	1.393	1.599	1.620	1.000
	99	1.000	1.059	1.187	1.382	1.583	1.605	1.000
	100	1.000	1.057	1.181	1.370	1.567	1.590	1.000
	101	1.000	1.056	1.175	1.360	1.552	1.575	1.000
	102	1.000	1.054	1.170	1.349	1.537	1.561	1.000
	103	1.000	1.052	1.164	1.339	1.523	1.547	1.000
	104	1.000	1.050	1.159	1.329	1.509	1.533	1.000
	105	1.000	1.049	1.154	1.319	1.495	1.520	1.000
	106	1.000	1.047	1.149	1.310	1.481	1.506	1.000
	107	1.000	1.045	1.145	1.301	1.468	1.493	1.000
	108	1.000	1.044	1.140	1.292	1.455	1.481	1.000
	109	1.000	1.043	1.136	1.283	1.443	1.468	1.000
	110	1.000	1.041	1.132	1.275	1.431	1.456	1.000
	111	1.000	1.040	1.127	1.267	1.419	1.444	1.000
	112	1.000	1.039	1.123	1.259	1.407	1.433	1.000
	113	1.000	1.037	1.120	1.252	1.396	1.421	1.000
	114	1.000	1.036	1.116	1.244	1.385	1.410	1.000
	115	1.000	1.035	1.112	1.237	1.374	1.399	1.000
	116	1.000	1.034	1.109	1.230	1.364	1.389	1.000
	117	1.000	1.033	1.106	1.223	1.354	1.378	1.000
	118	1.000	1.032	1.102	1.217	1.344	1.368	1.000
	119	1.000	1.031	1.099	1.210	1.334	1.358	1.000
	120	1.000	1.030	1.096	1.204	1.325	1.348	1.000
	121	1.000	1.029	1.093	1.198	1.316	1.339	1.000
	122	1.000	1.028	1.090	1.192	1.307	1.330	1.000
	123	1.000	1.027	1.088	1.187	1.298	1.321	1.000
	124	1.000	1.026	1.085	1.181	1.290	1.312	1.000
	125	1.000	1.025	1.082	1.176	1.282	1.304	1.000
	126	1.000	1.025	1.080	1.171	1.274	1.295	1.000
	127	1.000	1.024	1.077	1.166	1.266	1.287	1.000
	128	1.000	1.023	1.075	1.161	1.259	1.279	1.000
	129	1.000	1.022	1.073	1.156	1.251	1.272	1.000
	130	1.000	1.022	1.071	1.152	1.244	1.264	1.000
	131	1.000	1.021	1.068	1.147	1.237	1.257	1.000
	132	1.000	1.020	1.066	1.143	1.230	1.250	1.000
	133	1.000	1.020	1.064	1.139	1.224	1.243	1.000
	134	1.000	1.019	1.062	1.135	1.218	1.236	1.000
	135	1.000	1.019	1.061	1.131	1.211	1.229	1.000
	136	1.000	1.018	1.059	1.127	1.205	1.223	1.000
	137	1.000	1.017	1.057	1.123	1.199	1.217	1.000
	138	1.000	1.017	1.055	1.119	1.194	1.211	1.000
	139	1.000	1.016	1.054	1.116	1.188	1.205	1.000
	140	1.000	1.016	1.052	1.113	1.183	1.199	1.000
	141	1.000	1.015	1.050	1.109	1.178	1.193	1.000
	142	1.000	1.015	1.049	1.106	1.172	1.188	1.000
	143	1.000	1.014	1.047	1.103	1.167	1.183	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	144	1.000	1.014	1.046	1.100	1.163	1.177	1.000
	145	1.000	1.014	1.045	1.097	1.158	1.172	1.000
	146	1.000	1.013	1.043	1.094	1.153	1.168	1.000
	147	1.000	1.013	1.042	1.091	1.149	1.163	1.000
	148	1.000	1.012	1.041	1.089	1.145	1.158	1.000
	149	1.000	1.012	1.040	1.086	1.141	1.154	1.000
	150	1.000	1.012	1.038	1.084	1.136	1.149	1.000
	151	1.000	1.011	1.037	1.081	1.133	1.145	1.000
	152	1.000	1.011	1.036	1.079	1.129	1.141	1.000
	153	1.000	1.011	1.035	1.076	1.125	1.137	1.000
	154	1.000	1.010	1.034	1.074	1.121	1.133	1.000
	155	1.000	1.010	1.033	1.072	1.118	1.129	1.000
	156	1.000	1.010	1.032	1.070	1.114	1.125	1.000
	157	1.000	1.009	1.031	1.068	1.111	1.122	1.000
	158	1.000	1.009	1.030	1.066	1.108	1.118	1.000
	159	1.000	1.009	1.029	1.064	1.105	1.115	1.000
	160	1.000	1.009	1.028	1.062	1.102	1.112	1.000
	161	1.000	1.008	1.027	1.060	1.099	1.108	1.000
	162	1.000	1.008	1.027	1.058	1.096	1.105	1.000
	163	1.000	1.008	1.026	1.057	1.093	1.102	1.000
	164	1.000	1.008	1.025	1.055	1.090	1.099	1.000
	165	1.000	1.007	1.024	1.053	1.088	1.096	1.000
	166	1.000	1.007	1.024	1.052	1.085	1.094	1.000
	167	1.000	1.007	1.023	1.050	1.083	1.091	1.000
	168	1.000	1.007	1.022	1.049	1.080	1.088	1.000
	169	1.000	1.007	1.022	1.047	1.078	1.086	1.000
	170	1.000	1.006	1.021	1.046	1.076	1.083	1.000
	171	1.000	1.006	1.020	1.045	1.074	1.081	1.000
	172	1.000	1.006	1.020	1.043	1.071	1.079	1.000
	173	1.000	1.006	1.019	1.042	1.069	1.076	1.000
	174	1.000	1.006	1.019	1.041	1.067	1.074	1.000
	175	1.000	1.005	1.018	1.040	1.065	1.072	1.000
	176	1.000	1.005	1.018	1.038	1.063	1.070	1.000
	177	1.000	1.005	1.017	1.037	1.062	1.068	1.000
	178	1.000	1.005	1.016	1.036	1.060	1.066	1.000
	179	1.000	1.005	1.016	1.035	1.058	1.064	1.000
	180	1.000	1.005	1.016	1.034	1.056	1.062	1.000
	181	1.000	1.005	1.015	1.033	1.055	1.060	1.000
	182	1.000	1.004	1.015	1.032	1.053	1.059	1.000
	183	1.000	1.004	1.014	1.031	1.052	1.057	1.000
	184	1.000	1.004	1.014	1.030	1.050	1.055	1.000
	185	1.000	1.004	1.013	1.029	1.049	1.054	1.000
	186	1.000	1.004	1.013	1.029	1.047	1.052	1.000
	187	1.000	1.004	1.013	1.028	1.046	1.051	1.000
	188	1.000	1.004	1.012	1.027	1.044	1.049	1.000
	189	1.000	1.004	1.012	1.026	1.043	1.048	1.000
	190	1.000	1.003	1.012	1.025	1.042	1.046	1.000
	191	1.000	1.003	1.011	1.025	1.041	1.045	1.000
	192	1.000	1.003	1.011	1.024	1.039	1.044	1.000
	193	1.000	1.003	1.011	1.023	1.038	1.042	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10\text{sn}$)	194	1.000	1.003	1.010	1.023	1.037	1.041	1.000
	195	1.000	1.003	1.010	1.022	1.036	1.040	1.000
	196	1.000	1.003	1.010	1.021	1.035	1.039	1.000
	197	1.000	1.003	1.009	1.021	1.034	1.038	1.000
	198	1.000	1.003	1.009	1.020	1.033	1.036	1.000
	199	1.000	1.003	1.009	1.019	1.032	1.035	1.000
	200	1.000	1.003	1.009	1.019	1.031	1.034	1.000
	201	1.000	1.002	1.008	1.018	1.030	1.033	1.000
	202	1.000	1.002	1.008	1.018	1.029	1.032	1.000
	203	1.000	1.002	1.008	1.017	1.028	1.031	1.000
	204	1.000	1.002	1.008	1.017	1.028	1.031	1.000
	205	1.000	1.002	1.007	1.016	1.027	1.030	1.000
	206	1.000	1.002	1.007	1.016	1.026	1.029	1.000
	207	1.000	1.002	1.007	1.015	1.025	1.028	1.000
	208	1.000	1.002	1.007	1.015	1.025	1.027	1.000
	209	1.000	1.002	1.007	1.014	1.024	1.026	1.000
	210	1.000	1.002	1.006	1.014	1.023	1.026	1.000
	211	1.000	1.002	1.006	1.014	1.022	1.025	1.000
	212	1.000	1.002	1.006	1.013	1.022	1.024	1.000
	213	1.000	1.002	1.006	1.013	1.021	1.023	1.000
	214	1.000	1.002	1.006	1.012	1.021	1.023	1.000
	215	1.000	1.002	1.005	1.012	1.020	1.022	1.000
	216	1.000	1.002	1.005	1.012	1.019	1.021	1.000
	217	1.000	1.002	1.005	1.011	1.019	1.021	1.000
	218	1.000	1.002	1.005	1.011	1.018	1.020	1.000
	219	1.000	1.001	1.005	1.011	1.018	1.020	1.000
	220	1.000	1.001	1.005	1.010	1.017	1.019	1.000
	221	1.000	1.001	1.005	1.010	1.017	1.018	1.000
	222	1.000	1.001	1.004	1.010	1.016	1.018	1.000
	223	1.000	1.001	1.004	1.009	1.016	1.017	1.000
	224	1.000	1.001	1.004	1.009	1.015	1.017	1.000
	225	1.000	1.001	1.004	1.009	1.015	1.016	1.000
	226	1.000	1.001	1.004	1.009	1.014	1.016	1.000
	227	1.000	1.001	1.004	1.008	1.014	1.015	1.000
	228	1.000	1.001	1.004	1.008	1.014	1.015	1.000
	229	1.000	1.001	1.004	1.008	1.013	1.015	1.000
	230	1.000	1.001	1.003	1.008	1.013	1.014	1.000
	231	1.000	1.001	1.003	1.007	1.012	1.014	1.000
	232	1.000	1.001	1.003	1.007	1.012	1.013	1.000
	233	1.000	1.001	1.003	1.007	1.012	1.013	1.000
	234	1.000	1.001	1.003	1.007	1.011	1.013	1.000
	235	1.000	1.001	1.003	1.007	1.011	1.012	1.000
	236	1.000	1.001	1.003	1.006	1.011	1.012	1.000
	237	1.000	1.001	1.003	1.006	1.010	1.011	1.000
	238	1.000	1.001	1.003	1.006	1.010	1.011	1.000
	239	1.000	1.001	1.003	1.006	1.010	1.011	1.000
	240	1.000	1.001	1.003	1.006	1.009	1.010	1.000
	241	1.000	1.001	1.003	1.006	1.009	1.010	1.000
	242	1.000	1.001	1.002	1.005	1.009	1.010	1.000
	243	1.000	1.001	1.002	1.005	1.009	1.010	1.000

ZAMAN ($\Delta T=10sn$)	244	1.000	1.001	1.002	1.005	1.008	1.009	1.000
	245	1.000	1.001	1.002	1.005	1.008	1.009	1.000
	246	1.000	1.001	1.002	1.005	1.008	1.009	1.000
	247	1.000	1.001	1.002	1.005	1.008	1.009	1.000
	248	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007	1.008	1.000
	249	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007	1.008	1.000
	250	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007	1.008	1.000
	251	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007	1.008	1.000
	252	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007	1.007	1.000
	253	1.000	1.001	1.002	1.004	1.006	1.007	1.000
	254	1.000	1.001	1.002	1.004	1.006	1.007	1.000
	255	1.000	1.000	1.002	1.004	1.006	1.007	1.000
	256	1.000	1.000	1.002	1.004	1.006	1.007	1.000
	257	1.000	1.000	1.002	1.003	1.006	1.006	1.000
	258	1.000	1.000	1.002	1.003	1.006	1.006	1.000
	259	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.006	1.000
	260	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.006	1.000
	261	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.006	1.000
	262	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.005	1.000
	263	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.005	1.000
	264	1.000	1.000	1.001	1.003	1.005	1.005	1.000
	265	1.000	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.000
	266	1.000	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.000
	267	1.000	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.000
	268	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.005	1.000
	269	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.004	1.000
	270	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.004	1.000
	271	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.004	1.000
	272	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.004	1.000
	273	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	1.004	1.000
	274	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.000
	275	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.000
	276	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.000
	277	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	278	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	279	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	280	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	281	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	282	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	283	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	284	1.000	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.000
	285	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.000
	286	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.000
	287	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.000
	288	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.000
	289	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.000
	290	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.000
	291	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.000
	292	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.000
	293	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.000

ÖZGEÇMİŞ

Mart, 1977'de Ankara'nın Çankaya semtinde doğdu. İlkokulu Rize'de okuduktan sonra Anadolu Lisesi sınavlarını kazandı ve Malatya Anadolu Lisesi'nden 1995 yılında mezun oldu. Daha sonra 1997 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Dört yıl sonra mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik ve Su Kaynakları programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Medeni hali bekar olan Sinan ŞAHİN halen tez aşamasında Yüksek Lisans çalışmasına devam etmektedir. Nisan 2004