

**YOĞUNLUK KAYNAKLI AKINTILARIN
SAYISAL MODELLEMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Senem TUNABOYLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2006

ÖZET

Lagün, haliç, boğaz yada körfez gibi, yüzey alanına oranla ortalama su derinliğinin az olduğu kıyısız su sistemlerinde, su yoğunluğu alansal ve düşey farklılaşmalar gösterebilmektedir. Genellikle su derinliğinin azlığı, yoğunluk değişimlerinin yatay düzlemde düşeye oranla daha fazla olmasına neden olmaktadır. Deniz suyu yoğunluğu içerdiği tuz miktarının (tuzluluk), su sıcaklığının ve az miktarda su basıncının bir fonksiyonudur. Artan hidrostatik basınç sebebiyle derinlik boyunca yoğunluk da artar. Ancak, aşağı-yukarı hareket eden tüm su kütleleri aynı oranda sıkıştırıldığı için, kaldırma ya da denge kuvvetleri bu sıkışmadan etkilenmez. Böylece hareket denklemlerindeki suyun sıkışabilirliği ihmal edilebilir. Bu sebeple, yoğunluk dağılımı büyük oranda suyun sıcaklık ve tuzluluk dağılımına bağlıdır. Bu çalışmada, su yoğunluğunun değişimi ve su yoğunluğu değişiminin neden olduğu kıyısız su çevrintileri incelenmiştir. Sayısal incelemelerde, geliştirilen üç boyutlu bir sayısal model kullanılmıştır. Sayısal model Fethiye Körfezi'ne uyarlanarak, Fethiye Körfezi'ndeki yoğunluk kaynaklı akıntılar benzeştirilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.083
Anahtar Kelimeler : Yoğunluk kaynaklı akıntı, kıyısız su alanı, sayısal modelleme, sonlu farklar, çevrinti, su tuzluluğu
Sayfa Adedi : 93
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Lale Balas

NUMERICAL MODELLING OF DENSITY INDUCED CURRENTS**(M.Sc.Thesis)****Senem TUNABOYLU****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****April 2006****ABSTRACT**

In coastal water bodies such as estuaries, lagoons, inlets or bays, where the horizontal length scale is much larger than the vertical one, density of sea water may vary throughout the water depth (vertical) and also in the horizontal plane. Generally, the shallowness of water depths causes density gradients to be larger in the horizontal plane than the vertical plane. The density of sea water is a function of its salt content (or salinity), its temperature, and to a much lesser degree, its pressure. Throughout the water depth, due to increasing hydrostatic pressure, density increases as well. However since the water particles moving up and down are compressed by the same amount, the forces in balance are not influenced by this compression. So, water having a variable density, could still be assumed as incompressible in the momentum equations. It is evident that, the density distribution mainly depends on the distribution of temperature and salinity. In this thesis work, change of water density and density induced currents in the coastal water bodies have been investigated. In the numerical studies, a three dimensional numerical model has been used. Model has been applied to Fethiye Bay and density induced currents in the Bay have been simulated.

Science Code	: 911.1.083
Key Words	: Density currents, coastal water body, numerical modelling, finite difference, circulation, water salinity
Page Number	: 93
Advisor	: Doç. Dr. Lale Balas

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve fikirleriyle beni yönlendiren değerli Hocam Doç. Dr. Lale BALAS'a ve manevi desteklerini sürekli yanımda hissettiğim değerli aileme ve değerli arkadaşım Alper SERT'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	.vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3.YOĞUNLUK KAYNALKI AKINTILAR	10
3.1.Kıyusal Su Alanları.....	11
3.2.Türbülanslı Akımda İlerlemeli Taşınım Denklemleri.....	14
3.2.1.Tabakalı türbülanslı akımda tek boyutlu difüzyon.....	18
4.YOĞUNLUK KAYNAKLI AKINTILARIN SAYISAL ANALİZİ.....	21
4.1.Tuzluluk Yayılımının Tek Boyutlu Analizi	21
4.2.Tuzluluk Yayılımının İki Boyutlu Analizi.....	25
5.YOĞUNLUK KAYNAKLI AKINTILARIN ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ.....	29
5.1.Sigma Koordinat Sisteminde Baroclinic Model	40
5.2.Yoğunluk Akıntılarının Üç Boyutlu Sayısal Analiz Uygulamaları	45
5.2.1.Yatay düzlemde tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi	45

Sayfa

5.2.2.Düşey düzlemde tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi	51
5.2.3.Düşeyde ve yatayda tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi.....	56
5.2.4.Kapalı su alanındaki kaynak suyunun akıntı oluşumuna etkisi.....	63
5.3.Sayısal Modelin Taze Su Girişine Uygulanması	65
5.4.Sayısal Modelin Fethiye Körfezi'ne Uygulanması	66
5.4.1.Yoğunluk farklılığından kaynaklanan çevrinti düzeni.....	68
5.4.2.Yoğunluk farklılığı ve rüzgardan kaynaklanan çevrinti düzeni.....	73
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82
EKLER.....	85
EK-1 Ferdinando Luigi Marsigli'nin kitabının kapağı	86
EK-2 Kullanılan programların akış şemaları	87
EK-3 Sayısal analiz için kullanılacak çözüm yöntemlerinin stabilite analizi	90
ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kıyısız su alanlarına tuzlu su girişi ile oluşan akıntıların derinlik boyunca değişimi	2
Şekil 1.2. Temiz su alanına sediment taşınımı ile oluşan akıntıların değişimi	3
Şekil 2.1. Kanal kesiti	5
Şekil 3.1. Deniz suyu yoğunluğuna buharlaşma ve yağmurun etkisi.....	10
Şekil 3.2. Tuz kaması oluşumu ve hareketi.....	12
Şekil 3.3. Birim hacimdeki giren ve çıkan madde miktarı.....	14
Şekil 3.4. Zamana bağlı olarak farklı yoğunluktaki sıvı karışımında tuzluluk profili.....	18
Şekil 3.5. Sıvıların karışma mekanizması	18
Şekil 3.6. (a) Tabakalı su alanında basınç, hız ve tuzluluk dağılımı , (b) Tam Karışmış su alanında basınç,hız ve tuzluluk dağılımı.....	19
Şekil 4.1. Tek boyutlu tuzluluk dağılımının incelendiği kesit alanı	22
Şekil 4.2. Crank Nicholson çözümü ile derinlik boyunca tuzluluk değişim profili.....	23
Şekil 4.3. İki boyutlu tuzluluk dağılımının incelendiği kesit alanı	25
Şekil 4.4. Tuzluluk profili	26
Şekil 5.1. Z ve σ koordinatlara göre topografya ve derinlik dağılımı.....	29
Şekil 5.2. Sayısal çözümde kullanılan şaşırtmacalı çözüm ağı.....	31
Şekil 5.3. Düğüm noktalarının numaralandırılması	32
Şekil 5.4. x - z düzleminde çözüm ağı şeması	37
Şekil 5.5. Düşeydeki çözüm ağı.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. y yönünde, yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ gradyanı ile azalan tuzluluk (‰)	45
Şekil 5.7. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 10. saat sonundaki hız dağılım profili	46
Şekil 5.8 y yönünde,yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ gradyanı ile azalan tuzluluk (‰)	47
Şekil 5.9. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 10. saat sonundaki hız dağılım profili	48
Şekil 5.10. 10. saat sonunda yüzeydeki çevrinti düzeni.....	49
Şekil 5.11. 10. saat sonunda tabandaki çevrinti düzeni	50
Şekil 5.12. Düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanı ile değişen tuzluluk (‰).....	51
Şekil 5.13. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,15$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 5. saat sonundaki hız dağılım profili	52
Şekil 5.14. Düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ gradyanı ile değişen tuzluluk (‰)	53
Şekil 5.15. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,25$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 5. saat sonundaki hız dağılım profili	53
Şekil 5.16. 5. saat sonunda yüzeydeki çevrinti düzeni.....	55
Şekil 5.17. 5. saat sonunda tabandaki çevrinti düzeni.....	56
Şekil 5.18. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için yüzeyde tuzluluk (‰)	57
Şekil 5.19. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için x=500 m, y=500m noktasında düşey tuzluluk değişim profili	58

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için 5. saat sonundaki hız profili.....	58
Şekil 5.21. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için yüzeyde tuzluluk (‰).....	60
Şekil 5.22. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için x=500 m, y=500m noktasında düşey tuzluluk değişim profili	60
Şekil 5.23. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için 5. saat sonundaki hız profili.....	61
Şekil 5.24. 5. saat sonundaki yüzey çevrinti düzeni	62
Şekil 5.25. 5. saat sonundaki taban çevrinti düzeni	63
Şekil 5.26. 1 saat sonunda oluşan hız profili.....	64
Şekil 5.27. 1 saat sonundaki çevrinti düzeni	65
Şekil 5.28. (a) Sayısal modelin hız düzeni, (b) hızlar *:deney sonuçları, sayısal model sonuçları Eğri I: yüzey, Eğri II: yüzeyden 1 cm aşağısı, Eğri III: yüzeyden 2 cm aşağısı.....	66
Şekil 5.29 Fethiye körfezinin su derinlikleri ve ölçüm yerleri.....	68
Şekil 5.30. Fethiye meteoroloji istasyonunda 1980 ile 2002 yılları arasında ölçülen rüzgar verileri kullanılarak çizilen rüzgar gülü	68
Şekil 5.31. Fethiye Körfezi'nde tuzluluk dağılımı.....	69
Şekil 5.32. Yüzeyde yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti	70
Şekil 5.33. Tabanda yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti	72
Şekil 5.34. Yüzeyde yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti	74
Şekil 5.35. Tabanda yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B	Kanal genişliği
C	Deneysel parametre
D	Toplam derinlik
D_m	Moleküler yayılım katsayısı
D_x	x yönündeki yayılım katsayısı
d_x	Birim hacmin x yönündeki boyutu
d_y	Birim hacmin y yönündeki boyutu
d_z	Birim hacmin z yönündeki boyutu
H	Su derinliği
H	Su derinliği
h_{s0}	Tuzlu su derinliği
h_{s1}	Nehir ağzından giren tuz kamasının derinliği
h_s	Herhangi bir noktadaki tuz kamasının derinliği
g	Yerçekimi ivmesi
L	Tuz kamasının boyu
L₀	h _{s1} ile h _s derinlikleri arasındaki mesafe
P₁	Memba basıncı
P₂	Mansap basıncı
S	Tuzluluk
S₀	Başlangıç tuzluluğu
$\bar{S}$	Tuzluluğun zaman ortalamalı bileşeni
S'	Tuzluluğun türbülanslı bileşeni
U_f	Temiz su hızı
U_x	Akım hızı hızı

Simgeler**Açıklama****U**

x yönündeki hız bileşeni

 $\bar{u}$

x yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni

u'

x yönündeki hızın türbülanslı bileşeni

U_c

Kritik hız

V

Tuz kamasının hızı

V_r

Nehir suyunun hızı

V

y yönündeki hız bileşeni

V_Δ

Yoğunluk akıntısının hızı

 $\bar{v}$

y yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni

v'

y yönündeki hızın türbülanslı bileşeni

W

Sigma koordinat sistemimde düşey hız

W

z yönündeki hız bileşeni

 $\bar{w}$

z yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni

w'

z yönündeki hızın türbülanslı bileşeni

ε_x

x yönündeki türbülans yayılım katsayısı

ε_y

y yönündeki türbülans yayılım katsayısı

ε_z

z yönündeki türbülans yayılım katsayısı

Δρ

Sıvı yoğunlukları arasındaki fark

Δγ

Sıvı öz ağırlıkları arasındaki fark

Δh

Membadaki su yükselmesi

Q_t

Temiz su debisi

Q_s

Tuzlu su debisi

Q_x

x yönündeki akımın debisi

Q_y

y yönündeki akımın debisi

ρ

Su yoğunluğu

ν₂

Hafif sıvının viskozitesi

γ

Öz ağırlık

1. GİRİŞ

Kıyısal sularda, su sıcaklığı ve tuzluluğunun değişiminden kaynaklanan yoğunluk farklılığı; akıntı oluşturmaktadır. Yoğunluk farklılığı; su basıncında farklılığa ve yerçekimi kaynaklı kuvvetlerde dengesizliğe neden olmaktadır. Sıvılar başta olmak üzere tüm akışkanlar yüksek basınçlı alanlardan düşük basınçlı alanlara hareket etmektedirler. Karışabilir sıvılarda yoğunluk değişimi; sıcaklık; tuzluluk veya sediment içeriğinin değişiminin bir fonksiyonudur.

Yoğunluk kaynaklı akıntılar ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar 17. yüzyılda İtalyan bilim adamı Luigi Ferdinando Marsigli tarafından yapılmıştır (EK-3). 17. yüzyılda İstanbul Boğazı'nda ilk ölçüm ve deneyleri yapan Marsigli, yüzeyde Karadeniz'den Marmara'ya akan yüzey akıntısının altında yer alan ve yerel balıkçıların çok iyi bildiği ters yöndeki akıntının hızını ölçmüş ve kuramsal olarak yoğunluk farklarından kaynaklandığını açıklamıştır. Yoğunluk kaynaklı akıntılarının mekanizması, hangi ortamlarda nasıl oluştuğu araştırma konusu olmuştur [1].

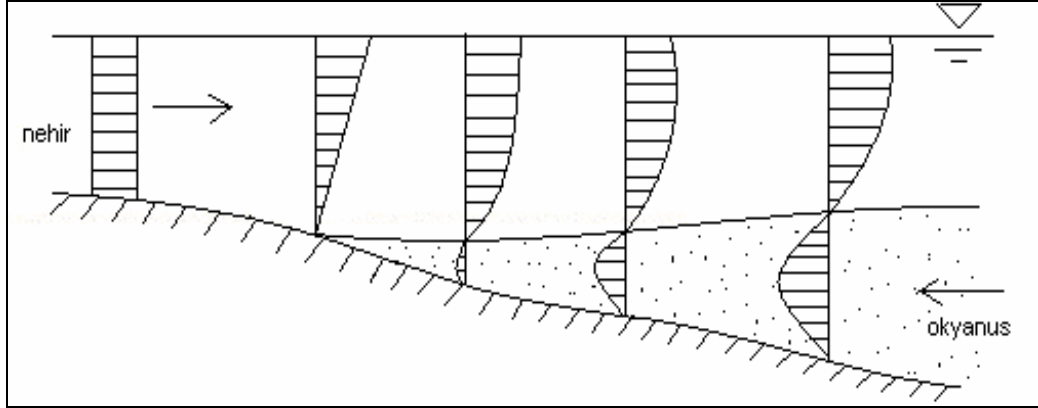
Yoğunluk kaynaklı akıntılar dünya ölçeğinde incelenirse, en belirgin olanların Gulf Stream ve Ekman Taşınımı olduğu görülür. Okyanuslarda; dünyanın dönüşünden kaynaklanan Coriolis etkisi, global sıcaklık değişimlerine bağlı olarak su kütlelerinin etkileşimleri akıntı oluşumunda başlıca etkenlerdir. Coriolis etkisi; kuzey yarım kürede sağa doğru, güney yarım kürede ise sola doğru etkiyen bir kuvvettir. Okyanuslardaki akıntılarının büyük çoğunluğu derin akıntı (thermohaline currents) şeklindedir. Yüzeydeki su kütlesinin yoğunluğu buharlaşma veya soğumaya bağlı olarak artmaktadır. Yoğunluğu artan sıvı batarak su tabanı yakınlarında derin akıntıları oluşturmaktadır.

Derin akıntı oluşumu Atlantik Okyanusu'nda görülmektedir. Akdeniz'in suyundaki tuzluluk buharlaşma nedeniyle artmaktadır. Daha tuzlu olan Akdeniz suyu ile Atlantik Okyanusu Cebeli Tarık Boğazı ile birleşmektedir. Akdeniz'in suyu daha tuzlu olduğundan batarak alt akım oluşturmaktadır. Yapılan gözlemlerde Akdeniz ile

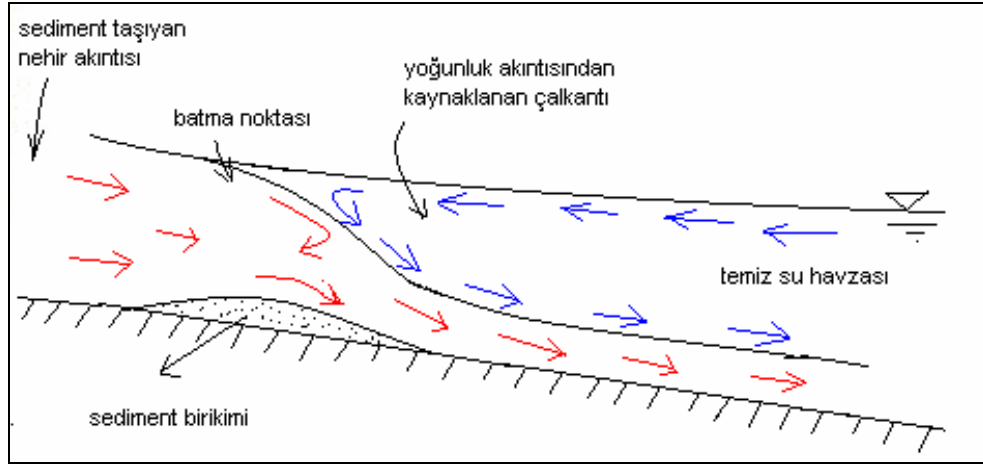
Atlantik Okyanusu arasında karşım olduğundan seyreden Akdeniz suyunun tabanda değil orta tabakalarda yayıldığı görülmektedir [2].

Bu çalışmada kapalı kıyısıal su alanlarında deniz suyunun yoğunluğunun alansal olarak ve derinlik boyunca değişmesiyle oluşabilecek yoğunluk kaynaklı akıntılar incelenenecektir.

Yoğunluk kaynaklı akıntılar doğada birçok şekilde gözlemlenebilir. Kıyısıal su alanlarında nehre tuzlu su girişi (şekil 1.1) veya temiz su alanına boşalan bir nehrin sediment taşıması yoğunluk kaynaklı akıntı oluşturan nedenler arasındadır (şekil 1.2). Bunun yanı sıra fabrikaların soğutma sularının boşaltıldığı su alanlarında veya mevsimsel ısı farklarının fazla olduğu bölgelerde ısı farklılığından kaynaklanan yoğunluk akıntılarını gözlemek mümkündür. Kıyısıal su alanlarında oluşan akıntılar, kıyı mühendisliğinin önemle incelemesi gereken konulardandır. Daha az tuzlu kapalı alan suyu ile tuzlu deniz suyunun karışımı da, kuvvetli yoğunluk kaynaklı akıntılarının oluşumuna neden olmaktadır.



şekil 1.1. Kıyısıal su alanlarına tuzlu su girişi ile oluşan akıntılarının derinlik boyunca değişimi [3]



Şekil 1.2. Temiz su alanına sediment taşınımı ile oluşan akıntıların değişimi [4]

Yoğunluk kaynaklı akıntıların bilim adamlarınca araştırma konusu olmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

Dünya genelinde okyanuslar için

- 1-Denizlerde meydana gelen petrol kirliliğinde dağılımın yönünü tahmin edebilmek
- 2-Deniz araştırmaları ve koruma çalışmalarına destek verebilmek
- 3-Balıkçılık alanlarını araştırmak ve okyanus yaşamını koruyucu çalışmalara yön verebilmek.
- 4-Fırtına olasılıklarını önceden hesaplayarak önlemler almak, muhtemel hasarları azaltmak.
- 5-Denizlerde hareket halinde olan buz kütlelerinin hareket güzergahını tahmin ederek gemicileri uyarmak.

Kapalı su alanları için

- 1- Çevrinti düzeninin belirlenmesi
- 2- Kıyasal sediment taşınımı
- 3- Kirleticilerin taşınımı
- 4- Su kalitesi

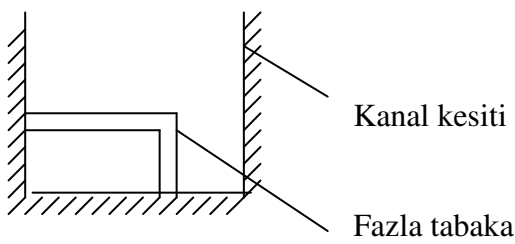
Yoğunluk kaynaklı akıntılar; dünya genelinde bakıldığında; önemli miktarda ılık suyu ekvatorlardan uzak bölgelere, aynı miktarda soğuk suyu da ekvatora taşıdığı için sıcaklık, biyosistem ve iklim üzerinde oldukça etkilidir.

Kapalı su alanlarında, yoğunluk kaynaklı akıntıların yatayda ve su derinliği boyunca neden olabileceği kuvvetli çevrıntiler, kıyı yapılarının tasarımında, kıyısal sedimentin ve kirleticilerin taşınımında, su kalitesinin belirlenmesinde etken bir parametredir. Bu nedenle, yoğunluk kaynaklı akıntıların benzeştirilmesi, bir çok kıyı mühendisliği probleminin çözümünde önemli bir araçtır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Fietz ve Wood (1967) , yoğunluk akıntılarını üç boyutlu olarak incelemişlerdir. Yoğunluk akıntısını, ortamda var olan sıvıdan daha yoğun bir sıvının eğimli bir zemin üzerinden akmasıyla oluşu şeklinde tanımlamışlardır [5]. Mühendislik problemleri arasında yer alabilecek akıntı tiplerini, maden ocaklarının tabanındaki metan gazı akımını ve su alanlarına bırakılan soğutma suları veya çözünmüş madde içerikli sulardan kaynaklanan akıntılar olarak belirtmişlerdir. Askı maddesi kaynaklı akıntı incelemelerinin ilk aşamasını çözünmüş madde kaynaklı akıntılar oluşturmuştur. Askı maddesi kaynaklı (türbülanslı) akıntıların sebebini silt içerikli suların bırakılması veya endüstriyel çöplerin denize deşarj edilmesi olarak gözlemlemişlerdir. Yoğunluk akıntısının ilerleyişi boyunca ortam suyunun karışım miktarının sabit bir değerle azaldığı görülmüştür.

Luettich ve Sturm (1989), dikdörtgen kesitli bir kanal içine fazladan bir tabaka yerleştirilmesiyle oluşturulan dikdörtgen kesitli olmayan kanalda (Şekil 2.1) kesit şeklinin sıcaklık kaynaklı akıntıların oluşumu ve ilerlemesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [6].



Şekil 2.1. Kanal kesiti

Su seviyesinin fazla tabakanın (Şekil 2.1) üzerinde olduğu durumlarda akıntının iki boyutlu olduğu gözlemlenmiştir. Su seviyesi fazla tabakanın altına düştüğünde ise sürtünme ve yoğunluk kaynaklı çalkantılar olduğu vurgulanmıştır. Su seviyesinin tabakanın üstünde olduğu durumlarda meydana gelen boyuna çalkantıların su seviyesinin sığılaştığı durumlarda iki boyutlu çalkantıya dönüştüğü görülmüştür. Sığ

derinliklerde oluşan iki boyutlu çalkantılar teorik olarak derin kısımlarda oluşan çalkantılarla benzerlik göstermektedir.

Çalışma sonuçlarında yerleştirilen fazla tabakanın sığ su derinliklerinde ısı kaybı açısından etkili olduğu belirtilmiştir.

Lyn et.al (1991), çökeltim havuzlarındaki türbülans akımlarının hesabı için bir sayısal model geliştirmişlerdir [7].

Modellemede, dik olmayan düğüm noktalarından oluşan bir çözüm ağı kullanılmıştır. Bu model iki boyutlu problemlerde kullanılabilir. Taşınım maddelerinden kaynaklanan yoğunluk akıntılarının momentum ve kinetik enerji dengesi üzerindeki etkisi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Geniş bir çökeltme hızı aralığına sahip taşınım maddeleri değişik hız gruplarına ayrılarak hesaplanmıştır. Çalkantı modeli, yalnızca türbülans sürtünmesi kaynaklı çalkantı olduğu kabulü ile yapılmış ve bu tür çalkantının etkisi araştırılmıştır. Kabul edilen hız, konsantrasyon değerleri ve kaldırma kuvveti değerleri, kapalı su alanında gözlemlenen değerlerle kıyaslanmıştır. Akım alanları küçük yoğunluk farklılıklarına karşı bile değişiklikler gösterebilmektedir.

Guetter et al (1991), askı maddelerinin çökeltildiği havuzlardaki yoğunluk akıntıları konusunda çalışmışlardır [8]. Yapılan çalışmada dikdörtgen kesitli havuz esas alınarak sediment kaynaklı yoğunluk akıntıları analitik bir modelle benzeştirilmiştir .

Modelde, düşeydeki hız ve konsantrasyon profilleri oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarında türbülanslı ve laminar akımın her ikisinde de düşey hız değerlerinin havuz boyunca lineer olarak azaldığı görülmüştür. Sediment konsantrasyonunun da laminar akımda dördüncü dereceden, türbülanslı akımda üçüncü dereceden azaldığı görülmüştür. Analitik model sonuçları ile saha deney sonuçlarının yakın olduğu görülmüştür.

Malm ve Zilitinkevich (1994), ilk bahar ve son baharda meydana gelen sıcaklık farklarından dolayı bir çok gölde düşey yönde oluşan yoğun ısı dağılımını incelemişlerdir [9]. Bir göldeki ısı yayılım koşullarına sınır koşulu teorisini temel alan bir analitik yaklaşım uygulamışlardır. Akıntı hızları için derinlik boyunca sabit sıcaklık kabulü yapılarak temel analitik çözümler geliştirilmiştir. Yoğunluk kaynaklı akıntılar hesaplamalara dahil edilmiştir. Rüzgar kaynaklı akıntıların analitik modeli alan ölçümleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçları ve yapılan ölçümlerin tutarlı olduğu görülmüştür. Modelin, rüzgar alanının zamanla değişmediği ve rüzgar hareketlerinden kaynaklanan etkilerin ihmal edilebildiği koşullarda gerçeğe uygun sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Shankar et al (1996), üç boyutlu hidrodinamik çalkantı için sonlu farklar yöntemini kullanan bir model geliştirmişlerdir [10]. Geliştirilen model dört durum için test edilmiştir: Rüzgar kaynaklı akıntılar, yoğunluk kaynaklı akıntılar, su alanlarındaki basınç değişikliklerinden kaynaklanan dalgalanmalar, açık kanallardaki gel-git kaynaklı çalkantılar. Çalışmada, modelden elde edilen sonuçlarla bu dört durumun idealize edildiği analitik çözüm sonuçları kıyaslanmıştır.

Langenber (1996), Kuzey Denizindeki temiz su alanlarının rüzgar ve yoğunluk kaynaklı akıntılarla etkileşimini incelemiştir [11]. Çalışmada Kuzey denizinin üç boyutlu baroklinik çalkantı modelini kullanmıştır. Baroklinik model sonuçlarını tuzluluk ve sıcaklık değerlerini aynı büyüklükte bir çözüm ağı kullanan barotropik modelle ve daha az sayıda nokta içeren çözüm ağı kullanan bir başka modelle kıyaslamıştır. Çalışmada rüzgar etkileşimlerinin incelenmesi için saha ölçümleri kullanılmıştır. Yoğunluk değişiminin yüzey akıntılarında belirgin bir artışa neden olduğu ancak derinlik boyunca deniz suyu ısısının azalmasıyla akıntıların gücünü yitirdiği gözlenmiştir.

Gross et al (1999), üç boyutlu bir hidrodinamik modeli, taşınım ve iki denklemlilikli türbülans modeli ekleyerek geliştirmişlerdir [12]. Elde edilen model San Francisco Körfezindeki tuzluluk değişimini modellemek için uygulanmıştır. 64 günlük zaman periyotlu çalışmada az miktardaki temiz su girişi dikkate alınmıştır. Bu zaman

süresince gözlemlenen tuzluluk değerleri modelle benzeştirilmiştir. Model çalışmaları ile uzun dönemde tabakalanmanın ve basınç değişikliklerinin önemi araştırılmıştır. Yoğunluk kaynaklı akıntıların ve yoğunluk tabakalanmasının taşınım üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Bournet et al (1999), yüksek yoğunluklu yoğunluk akıntılarının su alanına girdikten sonra batarak derin akım oluşturmalarını incelemişlerdir [13]. Çalışmada kaldırma kuvvetlerini de içeren k-ε modeli kullanılarak eğimli kanallarda ve ayrıştırma kanallarındaki akım karakteristikleri belirlenmiştir. Sabit genişlikli kanallarda ve ayrıştırma kanallarında batma noktası ile derinlik arasındaki ilişki incelenmiştir ve teorik sonuçlar yoğunluk akıntı tabakasının kalınlık hesabında kullanılmıştır. Ayrıştırma kanallarındaki yoğunluk akıntısının yayılma hızının, ortam suyu ile karışma hızının ve kanal genişliğinin fonksiyonu olduğu görülmüştür. Çalışma sonuçlarıyla belirlenen batma noktasının yeri ile ilgili tahminler birçok uygulama sonucu ile uyum içindedir.

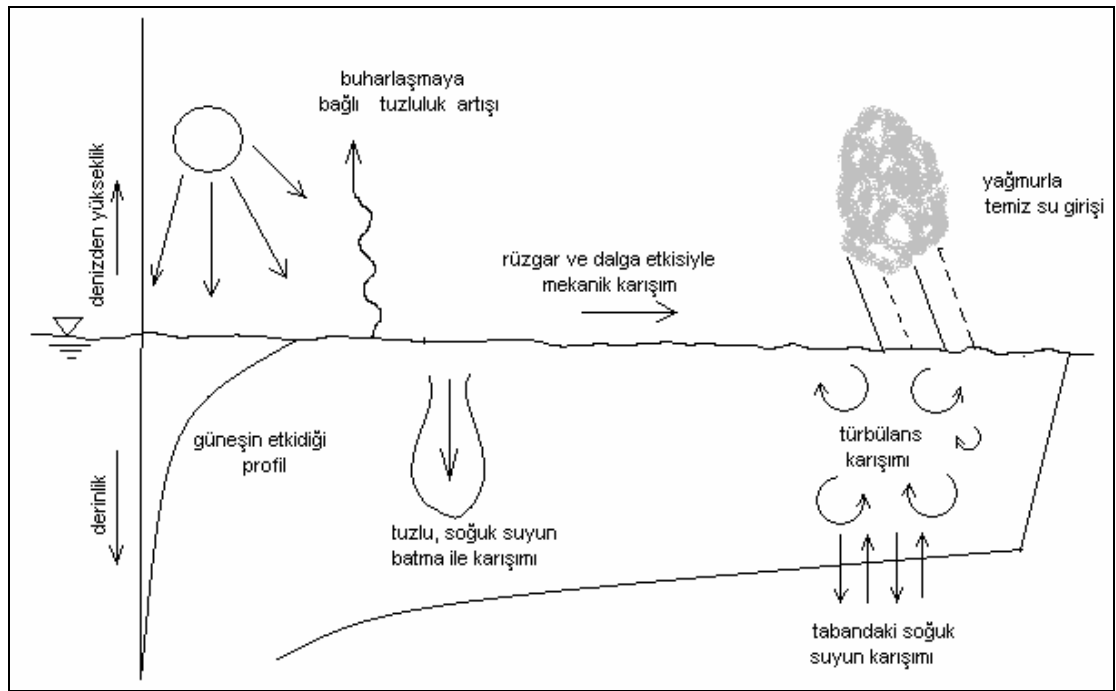
Cenedese et al (2001), laboratuvar ortamında, temiz su ile dolu dönen bir tank içindeki eğimli yüzeyde yoğunluk kaynaklı akıntıların oluşumu ve hareketini incelemişlerdir [14]. Zamandan bağımsız teorik bir model geliştirerek deney sonuçları ile kıyaslamışlardır. Froude sayısının 1'e eşit veya 1'den büyük olması durumunda stabilite problemi oluştuğu gözlemlenmiştir.

De Velasco ve Winant (2004), Mexico'daki Laguna San Ignacio Lagünündeki çalkantı sistemini incelemişlerdir [15]. Daha çok gel-git etkenli akıntıların gözlemlendiği lagünün iç kısımlarında rüzgar ve tuzluluk farklılığından kaynaklanan akıntılar gözlemlendiği belirtilmiştir. Topoğrafyanın basit olduğu kısımlarda akıntı üst akım şeklinde gözlemlenmiştir. Rüzgar kuvvetinin etkisinin azaldığı kısımlarda tuzluluk farklılığından kaynaklanan akıntıların daha etkili olduğu görülmüş ve tabanda tuzlu suyun temiz su yönüne doğru hareket ederken yüzeyde tam tersi bir akıntı kaydedilmiştir.

Wells ve Wettlaufer (2005), yoğunluk kaynaklı akıntıları, kapalı bir basende iki boyutlu ve zamandan bağımsız olarak incelemişlerdir [16]. Eğimli yüzey boyunca tabana doğru ve yataydaki ilerleme ve yayılma oranlarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Karayip Denizi'nin 1850 m'den daha derin kısımlarındaki yoğunluk tabakalanmasının benzeştirildiği deneysel bir model geliştirmişlerdir.

3. YOĞUNLUK KAYNAKLI AKINTILAR

Su alanı yüzeyindeki yoğunluk, buharlaşma ve soğuma ile artmakta; ısınma, su buharı yoğunlaşması, yağış ve kaynak suyu akışları ile azalmaktadır (Şekil 3.1). Güneş ışınlarının su yüzeyini ısıtması ile azalan yoğunluk, düşey yönde dengeli bir tabakalaşma oluşturur ve düşey karışımı azaltır. Su yüzeyinin gece soğuması veya buharlaşma ile yoğunluğun artması, dengesiz yoğunluk farklılaşması oluşturur. Sonuç olarak, su yüzeyindeki yüksek yoğunluklu tabaka derine doğru batma eğilimi gösterir. Bu su yoğunluğu hareketi derinlik boyunca düşey çevrintilere sebep olur. Böylece, farklı derinliklerdeki ısınma ve karışma farklılıklarının neden olduğu yatay yoğunluk değişimleri büyük ölçekli su çevrintilerine yol açar.



Şekil 3.1. Deniz suyu yoğunluğuna buharlaşma ve yağmurun etkisi

Kıyı sistemlerindeki su hareketleri, su alanı yüzeyine etkiyen rüzgar kuvveti ve sıcaklık-tuzluluk farklılıkları sonucu oluşan su yoğunluğu değişimlerine neden olan günlük ve mevsimlik iklim değişikliklerinden etkilenmektedir. Bu değişiklikler, düşey ekseninde derinlik boyunca belirli sıcaklık tabakaları oluşturur: Güneş enerjisinin emilmesi ile oluşan sıcak yüzey tabakası; derinliğe bağlı olarak ani sıcaklık düşüşü

görülen ısı değişim tabakası (thermocline) ve sıcaklık değişiminin çok yavaş gerçekleştiği derin tabaka. Ancak, kıyı sistemleri bu oluşumun gerçekleşmesi için gereken derinliğe genelde sahip değildirler. Bu sistemlerde, mevsimlik ve günlük ısı değişim tabakaları oluşmaktadır. Belirli mevsimlerdeki su-hava etkileşimleri sonucunda, karışım şeklindeki yüzey tabakası ile asıl değişim tabakası arasındaki bölgede meydana gelen ani sıcaklık düşüşleri, mevsimlik ısı değişim tabakasını (seasonal thermocline) oluşturur. Su-hava sınır tabakasında gün içerisinde oluşan ısı değişim olayları da günlük ısı değişim tabakasını (diurnal thermocline) meydana getirir. Bu tabakalarda, sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı olarak suyun yoğunluğu değişmekte ve kıyı sistemlerindeki yoğunluğa dayalı su çevrintileri oluşmaktadır.

3.1. Kıyusal Su Alanları

Kıyusal su alanları; düşeydeki su yoğunluğu dağılımına göre; iyi karışmış, parçasal iyi karışmış ve tabakalı su alanları olarak sınıflandırılabilirler. Kıyusal sulardaki su yoğunluğunun alansal ve derinlik boyunca dağılımı tatlı su girişi, gel-git hareketleri, topografya ve rüzgar hareketlerinden etkilenmektedir.

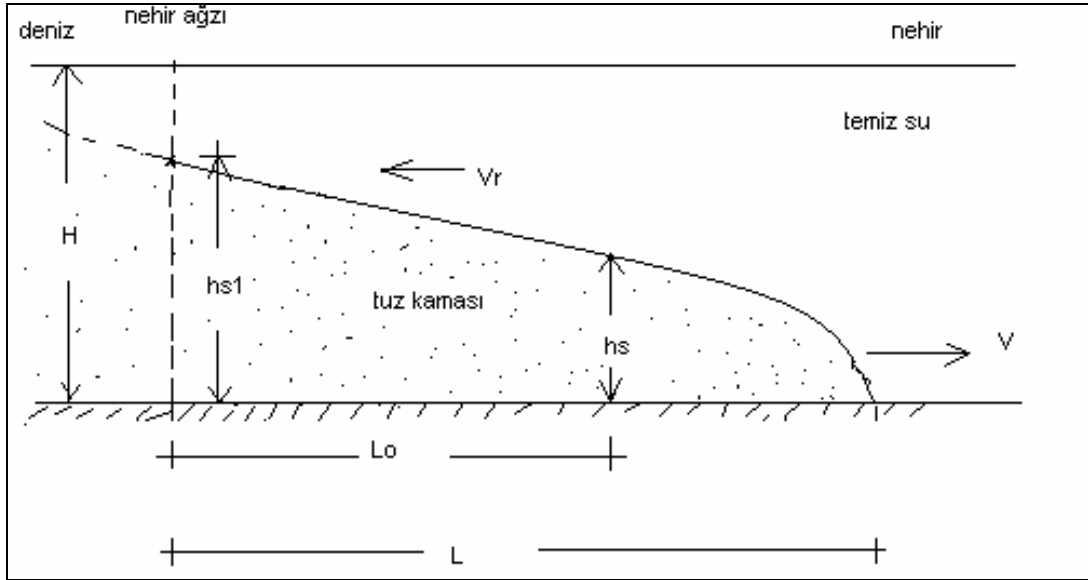
İyi karışmış su alanlarında akıntılar, tatlı su girişinden denize doğru olup, tuzluluk taşınımı yalnızca yayılımıla gerçekleşmektedir.

Parçasal iyi karışmış su alanlarında ters akıntılar görülür. Nehre doğru tuz taşınımı, derinlik boyunca ve alansal dağılım ile gerçekleşir. Düşeydeki tuz taşınımı genellikle alt tabakadan üst tabakaya karışım şeklindedir.

Tabakalı kıyusal su alanlarında yataydaki taşınım ilerlemeli yayılım yoluyla, düşeydeki taşınım ise alt tabaklardan üst tabakalara doğrudur. Tabakalı lagünlerde tuz tabakası daha net gözlenir. Bu tabaka tuz kaması olarak isimlendirilir (Şekil 3.2).

Kıyusal su alanlarında yoğunluk akıntıları sıkça gözlenir. Nehirlerin denizlerle birleştiği bölgelerde tatlı su denize doğru hareket ederken tuzlu su kütlesi de nehir içine doğru hareket eder (Şekil 3.2). Bu gibi durumlarda nehir akıntı hızı, deniz suyu

tuzluluğu ve su derinliğinin sabit olduğu kabulü yapılır. Daha ağır olan tuzlu su tabakası tatlı su kütlesi ile çevrelenir. Tuz kaması bu durumda ilerleyemeyebilir. Bu şekli almış tuzlu su tabakasına baskılanmış tuz kaması da denir.



Şekil 3.2. Tuz kaması oluşumu ve hareketi [17]

Kanal genişliği, su derinliği ve tuz kaması parametreleri arasında, Eş.3.1’de belirtilen ilişki vardır.

$$\frac{V}{V_{\Delta}} = f_0 \left(\frac{L}{H}, \frac{V_r}{V_{\Delta}}, \frac{V_{\Delta} H}{v}, \frac{H}{B} \right) \quad (3.1)$$

V = Tuz kaması hızı

V_{Δ} = Yoğunluk farkı kaynaklı akıntının hızı

L = İlerleme mesafesi

hs = Tuz kaması derinliği

H = Toplam su derinliği

V_r = Nehir suyunun hızı

B = Kanal genişliği

Nehirlerin denizlere açıldığı kısımlarda, L mesafesi boyunca nehir iç kısımlarına tuz girişi olur. Bu girişi engellemek amacıyla Eş. 3.2’de hesaplanan “d” yüksekliğinde bariyer yapılabilir.

$$d = h s_1 \cdot f(L/L_0) \quad (3.2)$$

Bariyer olmadığı takdirde tuz kaması L_0 mesafesi kadar ilerleyecektir ve $h s = d$ olacaktır. Bu yüzden tuz girişini engellemek için inşa edilecek bariyer yüksekliği en az “d” kadar olmalıdır.

Yapılan deneylerde durgun bir tuzlu su havzasına veya durdurulmuş tuz kamasına giren tatlı su akıntısı belli bir hız değerine ulaştığında karışımın başladığı gözlemlenmiştir Kritik hız değeri U_c , Eş. 3.3’teki gibi hesaplanmaktadır [17].

$$\frac{U_c}{(\nu_2 g)^{1/3}} = C' \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right)^{1/3} \quad (3.3)$$

Eş.3.3’de ;

ν_2 = hafif sıvının kinematik vizkozitesi

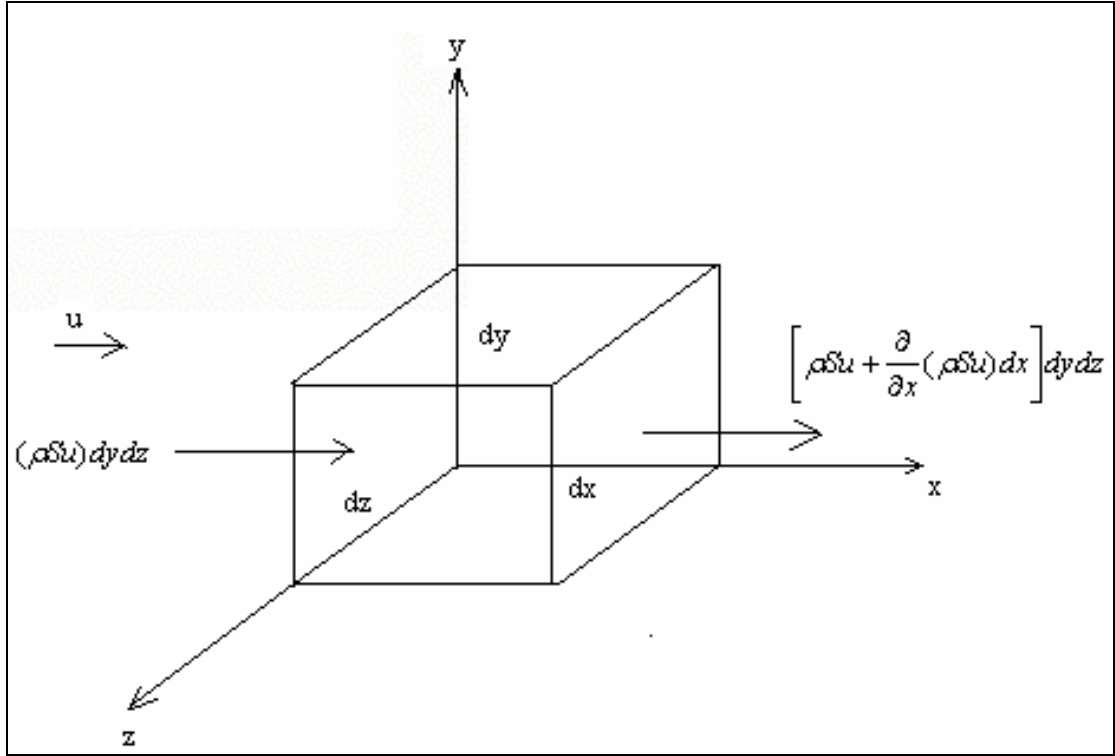
$\Delta \rho$ = sıvı yoğunlukları arasındaki fark

C' = deneysel parametre

(C' ; durgun tuzlu su havzası için 7.3 , durdurulmuş tuz kaması için 5.6)

3.2. Türbülanslı Akımda İlerlemeli Taşınım Denklemleri

Birim hacim üzerinde giren ve çıkan madde miktarı incelenerek (Şekil 3.3) toplam madde miktarı değişimi ilişkisi yazılabilir.



Şekil 3.3. Birim hacimdeki giren ve çıkan madde miktarı

u: anlık hız

ρ: yoğunluk : karışım kütlesi/ karışım hacmi

S: yayılan maddenin anlık tuzluluğu : maddenin kütlesi / karışımın kütlesi

x yönündeki net değişim;

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho S u) dx dy dz \quad (3.4)$$

Eş. 3.4 'teki gibidir. Birim hacimde birim zamandaki madde miktarı değişimine ulaşmak için Eş. 3.4 tüm yönler için yazılarak Eş. 3.5 elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho S) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho S u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho S v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho S w) = 0 \quad (3.5)$$

Yoğunluk tüm yönlerde sabit kabul edildiğinden Eş. 3.5, Eş. 3.6 halini alır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(S) + \frac{\partial}{\partial x}(S u) + \frac{\partial}{\partial y}(S v) + \frac{\partial}{\partial z}(S w) = 0 \quad (3.6)$$

$$u = \bar{u} + u' \quad (3.7)$$

Anlık hız (Eş.3.7); zaman ortalamalı hız ($\bar{u}$) ve turbülans (u') çalkantı hız bileşenlerini içerir. Bu durum diğer hız terimleri ve tuzluluk için de geçerlidir (Eş. 3.8).

$$v = \bar{v} + v' \quad w = \bar{w} + w' \quad S = \bar{S} + S' \quad (3.8)$$

Eş. 3.7 ve Eş.3.8 , Eş.3.6'da yerine yazılırsa Eş. 3.9 elde edilir.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\bar{S} + S') + \frac{\partial}{\partial x}((\bar{S} + S')(\bar{u} + u')) + \frac{\partial}{\partial y}((\bar{S} + S')(\bar{v} + v')) \\ & + \frac{\partial}{\partial z}((\bar{S} + S')(\bar{w} + w')) = 0 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Zaman ortalamalı terim Eş. 3.10'daki gibi açıklanabilir.

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u dt = 0 \quad (3.10)$$

Eş. 3.10 açılımı tüm terimler için geçerli olduğundan diğer yönlerdeki hız bileşenleri ve tuzluluğun da zaman ortalaması sıfırdır.

Diğer terimler için zaman ortalaması incelenirse;

$$\frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} dt = \frac{1}{T} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^T \bar{S} dt = \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{T} \bar{S} \int_0^T dt = \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \quad (3.11)$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial(\bar{u}S')}{\partial x} dt = \frac{1}{T} \frac{\partial}{\partial x} \int_0^T \bar{u} S' dt = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial(u'S')}{\partial x} dt = \frac{1}{T} \frac{\partial}{\partial x} \int_0^T (u'S') dt = \frac{\partial}{\partial x} (u_i S') \quad (3.13)$$

Bu düzenlemelerle Eş. 3.9, Eş. 3.14'e dönüşür.

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{S} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{S} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{S} \bar{w}) = -\frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'S'}) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v'S'}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w'S'}) \quad (3.14)$$

Eş. 3.14'e Taylor kuralı (Eş.3.15), uygulanırsa Eş. 3.16 elde edilir.

Taylor kuralı;

$$\overline{u'S'} = -\varepsilon_x \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} \quad \overline{v'S'} = -\varepsilon_y \frac{\partial \bar{S}}{\partial y} \quad \overline{w'S'} = -\varepsilon_z \frac{\partial \bar{S}}{\partial z} \quad (3.15)$$

Burada, ε_x , ε_y , ε_z türbülans yayılım katsayılarıdır.

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{S} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{S} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{S} \bar{w}) = \frac{\partial}{\partial x} (\varepsilon_x \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (\varepsilon_y \frac{\partial \bar{S}}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_z \frac{\partial \bar{S}}{\partial z}) \quad (3.16)$$

Eğer moleküler yayılım varsa Eş. 3.16 her yönde moleküler yayılım katsayısı eklenir (Eş. 3.17).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{S} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{S} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{S} \bar{w}) &= \frac{\partial}{\partial x} ((\varepsilon_x + D_m) \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}) \\ &- \frac{\partial}{\partial y} ((\varepsilon_y + D_m) \frac{\partial \bar{S}}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z} ((\varepsilon_z + D_m) \frac{\partial \bar{S}}{\partial z}) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Eğer homojen türbülans varsa türbülans yayılım katsayısı konuma göre değişkenlik göstermez (Eş. 3.18).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{S} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{S} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{S} \bar{w}) &= (\varepsilon_x + D_m) \left(\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial x^2} \right) \\ &+ (\varepsilon_y + D_m) \left(\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial y^2} \right) - (\varepsilon_z + D_m) \left(\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Eğer türbülans homojen ve isotropik ise türbülans yayılım katsayısı her yönde aynıdır (Eş. 3.19).

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{S} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{S} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{S} \bar{w}) = (\varepsilon + D_m) \left(\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial z^2} \right) \quad (3.19)$$

Eş. 3.19'a süreklilik denklemi (Eş. 3.20) uygulanırsa ;

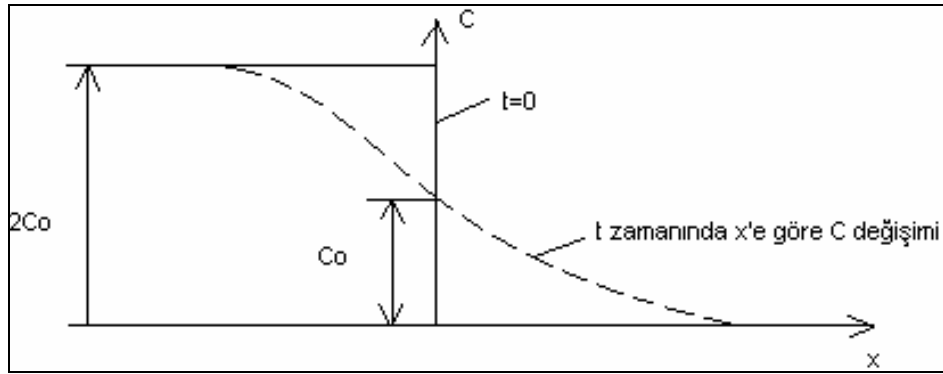
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{S} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \bar{S} + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} \bar{S} + \bar{w} \frac{\partial}{\partial z} \bar{S} = (\varepsilon + D_m) \left(\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial z^2} \right) \quad (3.21)$$

homojen, isotropik, sıkıştırılmayan akımlar için türbülanslı akımda kütle korunum denklemi , Eş. 3.21 elde edilir.

3.2.1. Tabakalı türbülanslı akımda tek boyutlu difüzyon

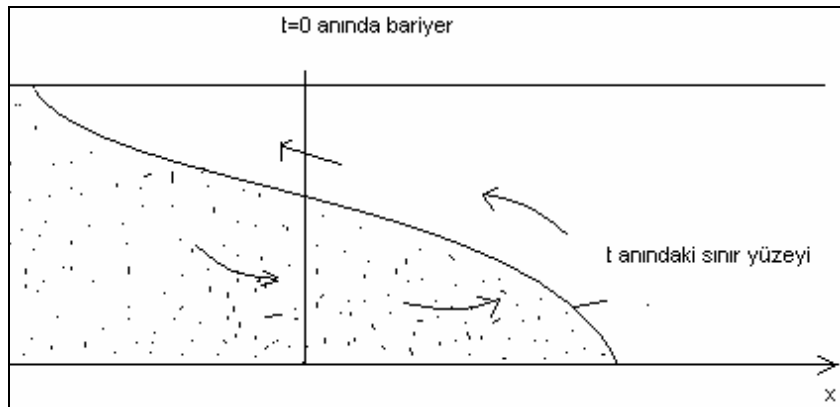
Yapılan araştırmalar ve deneysel sonuçlar deniz suyu ile yayılan su arasında maksimum %2 tuzluluk farkı olduğunu göstermektedir. Küçük yoğunluk farklılığı ele alındığında konsantrasyon profilinin Şekil 3.4'teki gibi olması beklenir [17].



Şekil 3.4. Zamana bağlı olarak farklı yoğunluktaki sıvı karışımında tuzluluk profili [17]

Sabit yoğunluklu ortamda karışım sıvıda dış etkenler nedeniyle oluşan türbülanslı kaynaqlandır. Türbülans oluşmadığı durumlarda karışım yalnızca moleküler difüzyon ile olur.

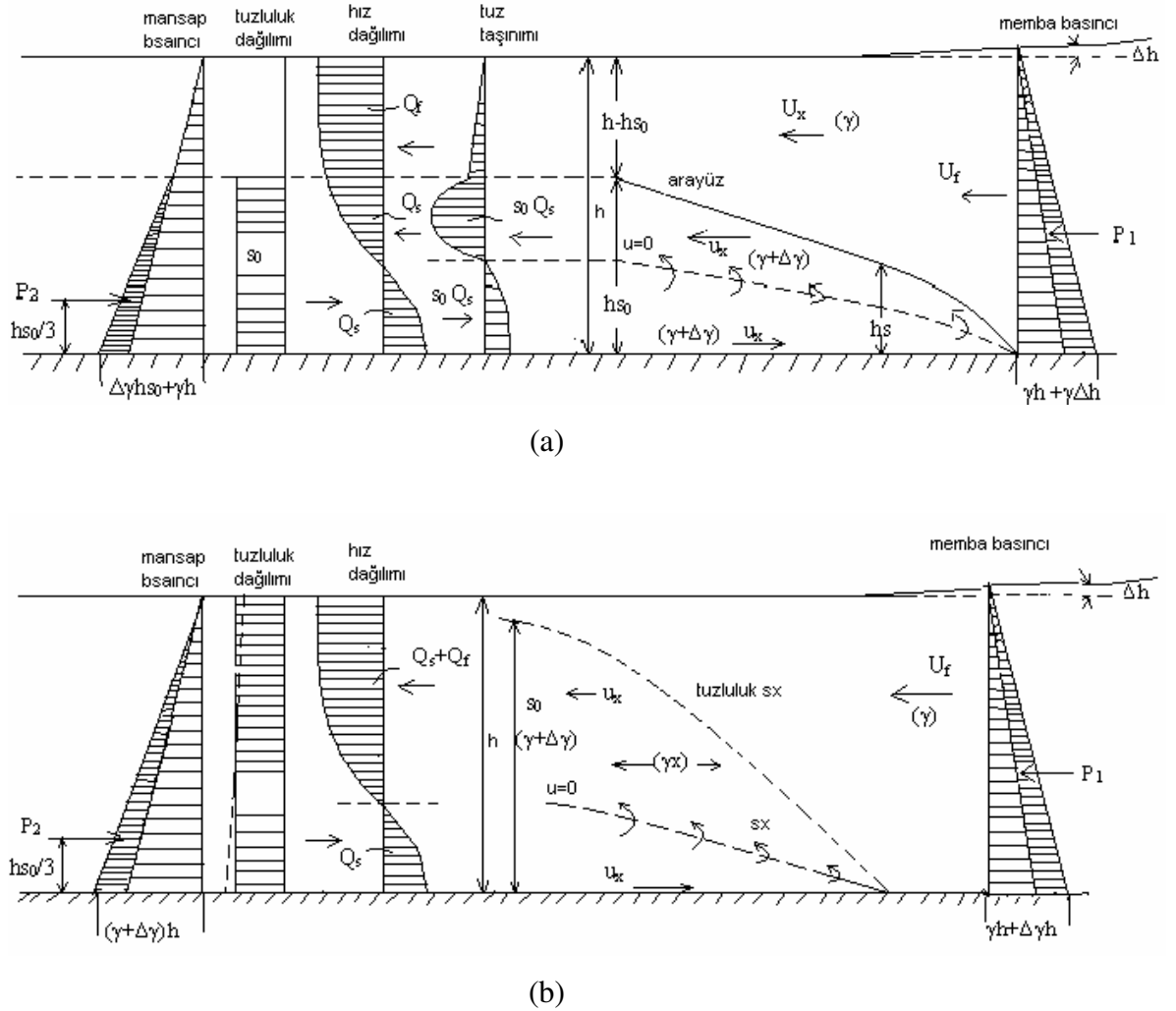
Şekil 3.5'de farklı yoğunluktaki iki sıvıyı ayıran bir bariyer görülmektedir. Bariyerin kaldırılmasıyla sıvılar hızlı bir şekilde yer değiştirecektir.



Şekil 3.5. Sıvıların karışma mekanizması [17]

Eğer türbülans yoksa, sıvılar arasındaki yer değiştirme Şekil 3.5’de görüldüğü gibi iki tabakalı ve zamana bağlıdır. Bu tür bir akım temel olarak farklı yoğunlukların yerçekimi kuvvetinin etkisiyle girdiği dengesiz durumun sonucudur.

Kıyısız su alanlarında tuzluluk dağılımı, akıntı hız profilleri ve basınç dağılımları yoğunluk dağılımına bağlıdır. Tabakalı yoğunluk içeren kıyısız su alanlarında tuzluluk dağılımı profilinde kırılma noktaları gözlenirken tam karışmış su alanlarında tuzluluk değerleri daha homojendir (Şekil 3.6 a- Şekil 3.6 b).



Şekil 3.6. (a) Tabakalı su alanında basınç, hız ve tuzluluk dağılımı
(b) Tam Karışmış su alanında basınç, hız ve tuzluluk dağılımı [17]

Şekil 3.6 a ve Şekil 3.6 b’de P_1 membadaki, P_2 mansaptaki hidrostatik basınçtır. Membada Δh su yükselmesi, mansapta ise temiz su ile tuzlu suyun karışımından kaynaklanan yoğunluk artım miktarı $\Delta \gamma$ basınçta artışa neden olmaktadır. Şekil itibarı ile hız profili her iki durum için de aynıdır.

Kapalı su alanlarındaki tuzluluk taşınımı, nehir suyu ile deniz suyu arasındaki yoğunluk farklılığından kaynaklanır. Su alanlarındaki akım profili iki kısma ayrılır. Alt kısımda tuzluluğu açık deniz suyu ile benzer olan tuzlu su tabakası, üst kısımda nehirden gelen, henüz tuzlu su ile karışmamış tatlı su tabakası yer alır. Altta yer alan tuzlu su tabakası (tuz kaması) üstünden tatlı suyun aktığı bir su bendi gibi davranır. Tabandan nehre doğru ilerleyen tuzlu su ile üst kısımdan denize doğru hareket eden tatlı su debileri denge halindedir. Nehre çok yakın bölgelerde debi azaldığından tuzlu su taşınımı sıfır hız çizgisi etrafında olur (Şekil 3.6 a, Şekil 3.6 b).

Bu akım sistemi dinamik olarak hidrostatik basınca bağlıdır (Şekil 3.6 a, Şekil 3.6 b). Bu basınç değişiklikleri çalkantıya neden olan moment değişikliklerini tetikler. Düşeydeki basınç değişimine bağlı olarak hız dağılımları da değişir.

Nehirden gelen temiz su ile deniz suyu arasındaki yoğunluk farkının fazlalığı, büyük türbülans çalkantılarına ve ara yüzde dalgalanmalara neden olur [17].

4. YOĞUNLUK KAYNAKLI AKINTILARIN SAYISAL ANALİZİ

Yoğunluk; su tuzluluğu ve su sıcaklığının bir fonksiyonudur.

4.1. Tuzluluk Yayılımının Tek Boyutlu Analizi

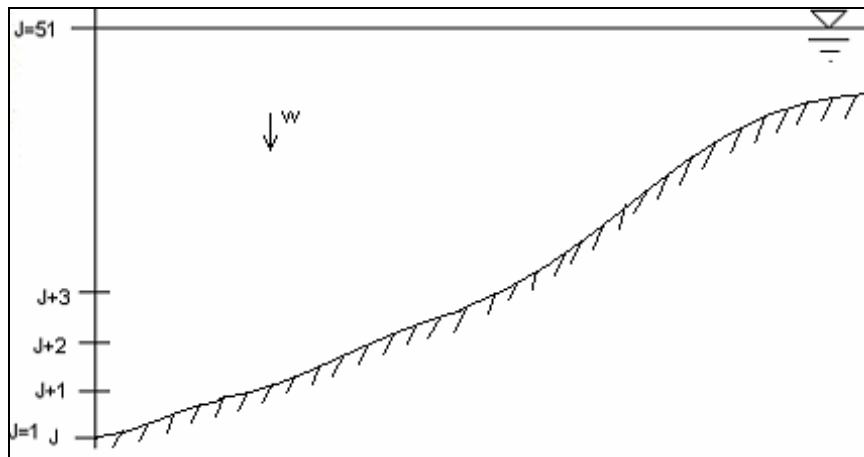
Tek boyutlu tuzluluk yayılım denklemi:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -w \frac{\partial S}{\partial z} \quad (4.1)$$

Yataydaki akıntı hızının sıfır kabul edildiği, yayılıma göre dağılım etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu varsayımları ile Eş. 4.1'deki gibi bir salt düşey yayılım eşitliliği yazılabilir. Burada; S; tuzluluk, w; çökelme hızını simgelemektedir.

Tek boyutlu tuzluluk dağılımı eşitliği, yapılan stabilite analizleri (EK-1) sonucunda daha stabil olduğu görülen Crank-Nicholson metodu ile çözülmüştür.

Yoğunluk kaynaklı akıntıların tek boyutlu sayısal analizinde zamansal hesap adımı, $\Delta t = 60$ s, alansal zaman adımı, alansal çözüm adımı: $\Delta z = 10$ cm, çökelme hızı, $w = 10^{-4}$ cm/s olarak kabul edilerek $z = 5$ m derinlikte $T = 2$ saat'lik bir süre için hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tek boyutlu tuzluluk dağılımının incelendiği kesit alanı

başlangıç koşulları: $1 < j < 10 \Rightarrow S(j,0)=0,6$

$10 < j < 50 \Rightarrow S(j,0)=0,2$

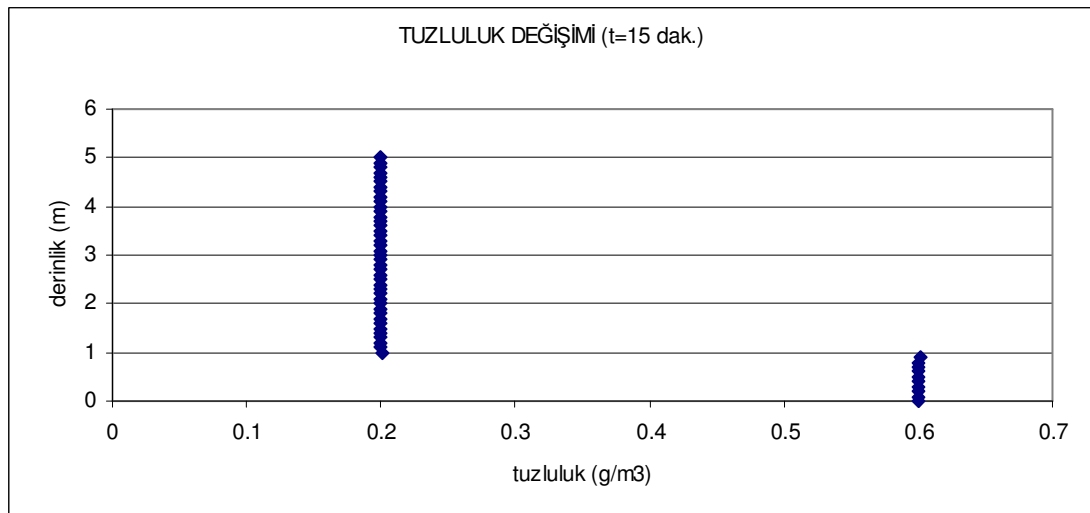
sınır koşulları: $j=1 \Rightarrow S(1,t)=0,6$

$j=50 \Rightarrow S(50,t)=0,2$

Crank-Nicholson metodu ile çözüm: Eş. 4.1, Crank Nicholson methoduna göre düzenlenerek (Eş.4.2), parametrelerin kabul edilen sayısal karşılıkları yazıldığında Eş.4.3 elde edilir.

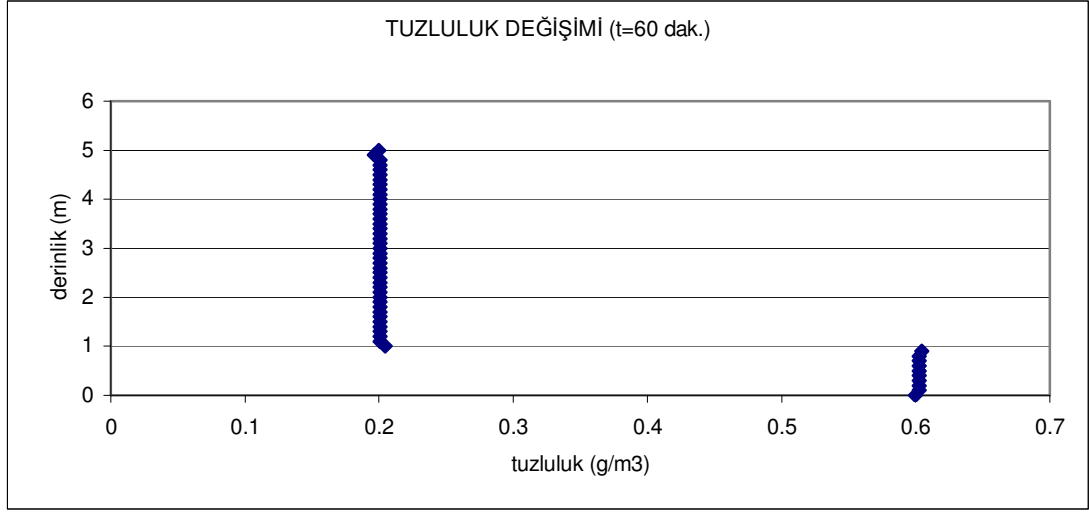
$$\frac{S_j^{t+1} - S_j^t}{2 * \frac{\Delta t}{2}} = -w * \frac{1}{2} \left[\frac{S_{j+1}^{t+1} - S_{j-1}^{t+1}}{2 * \Delta z} + \frac{S_{j+1}^t - S_{j-1}^t}{2 * \Delta z} \right] \quad (4.2)$$

$$\Rightarrow S_j^{t+1} + 0,5 * 10^{-4} S_{j+1}^{t+1} - 0,5 * 10^{-4} S_{j-1}^{t+1} = S_j^t - 0,5 * 10^{-4} S_{j+1}^t + 0,5 * 10^{-4} S_{j-1}^t \quad (4.3)$$

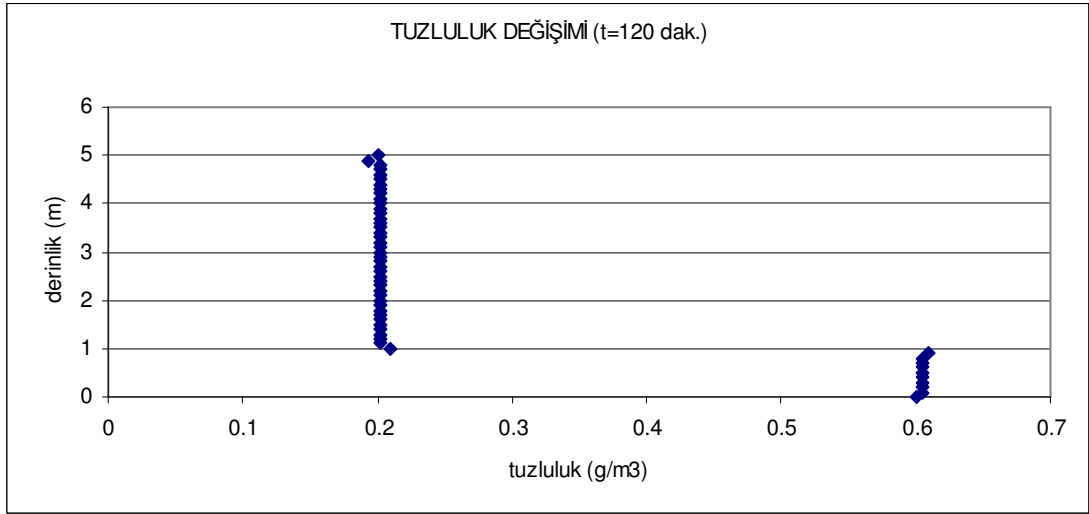


(a)

Şekil 4.2. Crank Nicholson çözümü ile derinlik boyunca tuzluluk değişim profili (a) 15 dakika sonunda (b) 60 dakika sonunda (c) 120 dakika sonunda



(b)



(c)

Şekil 4.2. (Devam) Crank Nicholson çözümü ile derinlik boyunca tuzluluk değişim profili (a) 15 dakika sonunda (b) 60 dakika sonunda (c) 120 dakika sonunda

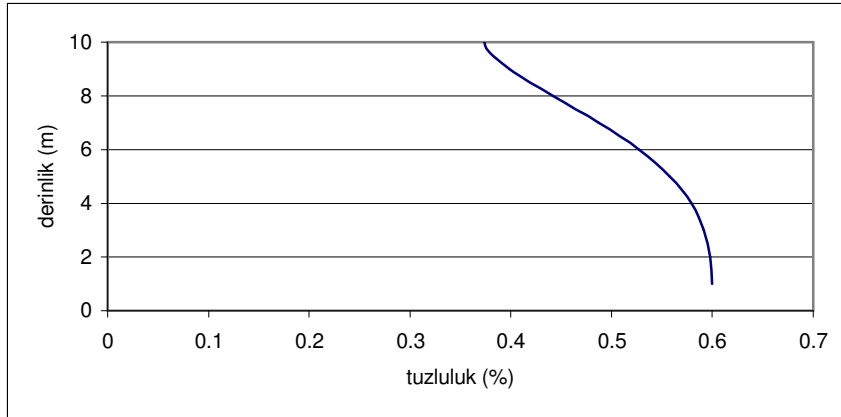
Tuzluluğun tek boyutlu dağılımının incelendiği bu çalışmada; tuzluluğun dağılımı mekanizması ve de sayısal analizler yapılırken kullanılacak sistemin stabilitesi araştırılmıştır.

$$\begin{aligned} \frac{S_{i,j}^{t+1} - S_{i,j}^t}{2 * \frac{\Delta t}{2}} = & -w * \frac{1}{2} \left[\frac{S_{i,j+1}^{t+1} - S_{i,j-1}^{t+1}}{2 * \Delta z} + \frac{S_{i,j+1}^t - S_{i,j-1}^t}{2 * \Delta z} \right] - u * \frac{1}{2} \left[\frac{S_{i+1,j}^{t+1} - S_{i-1,j}^{t+1}}{2 * \Delta x} + \frac{S_{i+1,j}^t - S_{i-1,j}^t}{2 * \Delta x} \right] \\ & + Dx * \frac{1}{2} \left[\frac{S_{i+1,j}^{t+1} - 2 * S_{i,j}^{t+1} + S_{i-1,j}^{t+1}}{2 * \Delta x^2} + \frac{S_{i+1,j}^t - 2 * S_{i,j}^t + S_{i-1,j}^t}{2 * \Delta x^2} \right] \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$A = \frac{w * \Delta t}{4 * \Delta z}, \quad B = \frac{u * \Delta t}{4 * \Delta x}, \quad C = \frac{Dx * \Delta t}{4 * \Delta x^2} \quad (4.6)$$

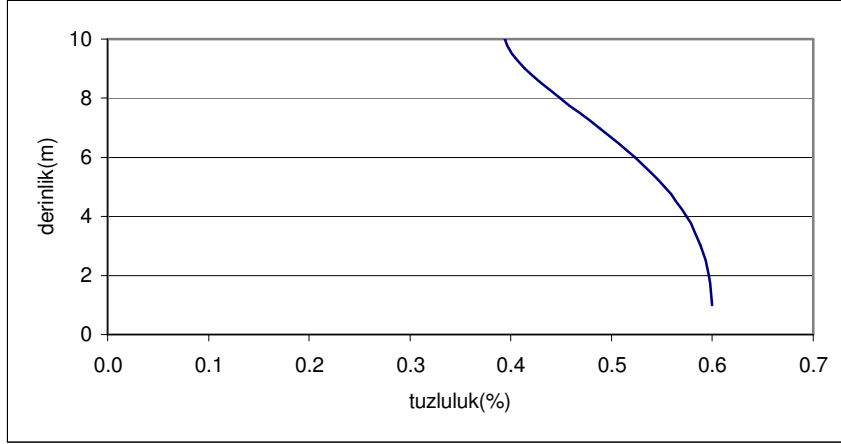
$$\begin{aligned} \Rightarrow S_{i,j}^{t+1} = & \frac{A}{1+2C} [-S_{i,j+1}^{t+1} + S_{i,j-1}^{t+1} - S_{i,j+1}^t + S_{i,j-1}^t] + \frac{B}{1+2C} [-S_{i+1,j}^{t+1} + S_{i-1,j}^{t+1} - S_{i+1,j}^t + S_{i-1,j}^t] \\ & \frac{1}{1+2C} [C * S_{i,j+1}^{t+1} + C * S_{i,j-1}^{t+1} + C * S_{i,j+1}^t + (1-2C) * S_{i,j}^t + C * S_{i,j-1}^t] \end{aligned} \quad (4.7)$$

İki boyutlu tuzluluk dağılımı, yukarıda belirtilen fiziksel ortamda yatay ve düşey hızlar, dağılım katsayısı, yatay çözüm adımı gibi parametreler değiştirilerek incelenmiştir. Uygulanan koşullara göre düşeydeki tuzluluk dağılımı sonuçları Şekil 4.4'te görülmektedir.

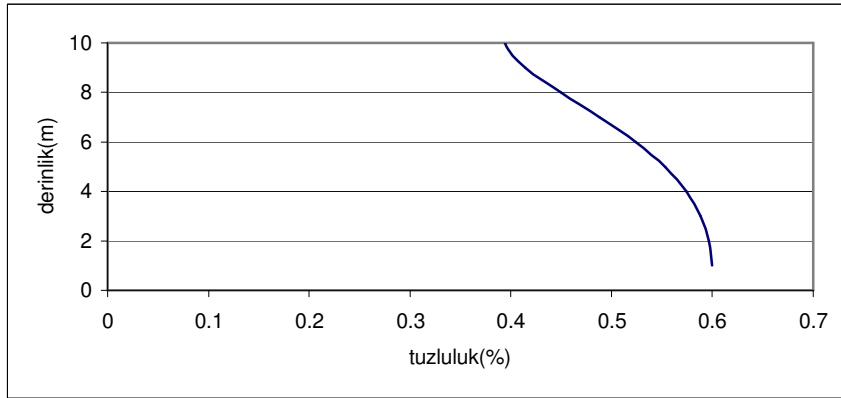


(a)

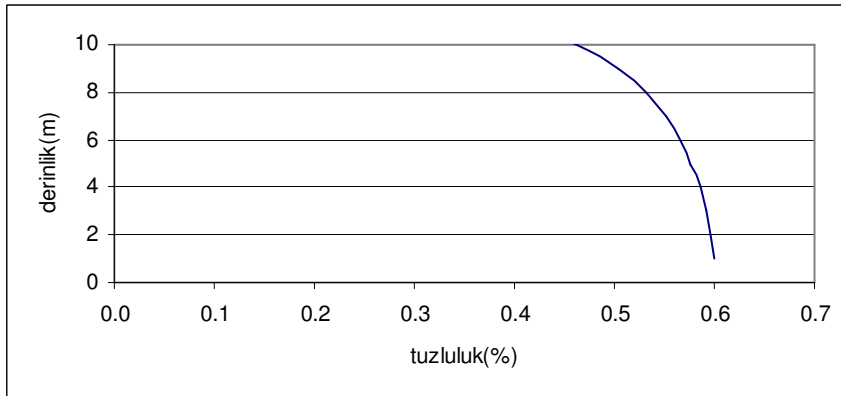
Şekil 4.4. Tuzluluk profili (a) $w=0.001$ m/s, $u=0$, $Dx=4$ m²/s (b) $w=0.001$ m/s, $u=0$, $Dx=5$ m²/s (c) $w=0.001$ m/s, $u=0.01$ m/s, $Dx=5$ m²/s (d) $w=0.01$ m/s, $u=0.01$ m/s, $Dx=5$ m²/s



(b)



(c)



(d)

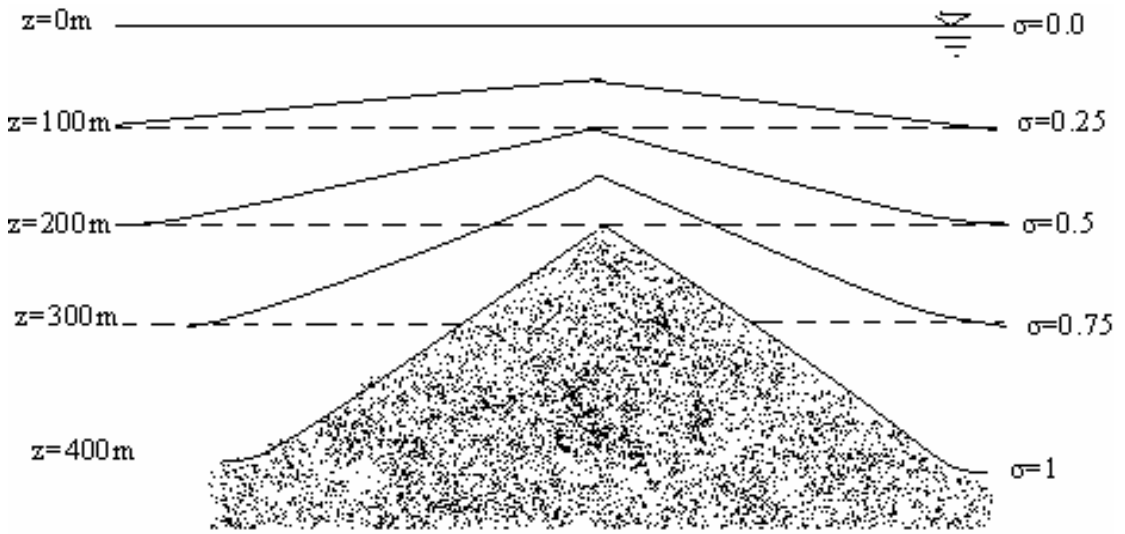
Şekil 4.4. (Devam) Tuzluluk profili (a) $w=0.001$ m/s, $u=0$, $Dx=4$ m²/s
 (b) $w=0.001$ m/s, $u=0$, $Dx=5$ m²/s (c) $w=0.001$ m/s, $u=0.01$ m/s, $Dx=5$ m²/s (d) : $w=0.01$ m/s, $u=0.01$ m/s, $Dx=5$ m²/s

Yatay hızın sıfır kabul edildiği hesaplamalar Şekil 4.4 a ve Şekil 4.4 b’de görülmektedir. Şekil 4.4 a’da yayılım katsayısı $Dx=4 \text{ m}^2/\text{s}$ alınırken Şekil 4.4 b’de $Dx=5 \text{ m}^2/\text{s}$ alınmıştır. Bu iki şekil karşılaştırıldığında yayılım katsayısının profil üzerine etkisini görülmektedir. Küçük yayılım katsayısı tuz kaması profilinin daha belirgin oluşmasını sağlamaktadır.

Şekil 4.4 b ile Şekil 4.4 c karşılaştırıldığında yatay hızın etkisi görülmektedir. Yatay hız tuz kaması profilini ilerleme yönünde hareketlendirmektedir. Şekil 4.4 d yatay hızın varlığının yanı sıra düşey hız da arttırıldığında düşey taşınım hızlanmakta ve tuz kaması profil değiştirmektedir . Düşey dağılım ve taşınım önemli ölçüde artış göstermiştir.

5. YOĞUNLUK AKINTISININ ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

Yoğunluk etkenli akıntıların üç boyutlu sayısal analizinde sigma koordinat dönüşümü uygulanan bir çözüm metodu kullanılmıştır. Z koordinat sisteminde topografyaya paralel katmanlar oluşturulmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Z ve σ koordinatlara göre topografya ve derinlik dağılımı [18]

Sigma koordinat yönteminde derinliğin tamamı 1 olarak tanımlanmaktadır. Sigma koordinat sisteminde koordinat dönüşümü Eş. 5.1’de verilmektedir.

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta} \quad (5.1)$$

Toplam derinlik ; $D = H + \zeta$

Sigma koordinat sisteminde derinlik yüzeyde 0 ile tabanda -1 değerleri arasında değişmektedir (Şekil 5.1).

Sigma koordinata dönüştürülmüş hareket denklemleri Eş. 5.2 ve Eş.5.3’te, süreklilik denklemi Eş. 5.4’te verilmektedir.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(uD) + \frac{\partial}{\partial x}(u^2D) + \frac{\partial}{\partial y}(uvD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu) - fDv \\ &= -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial u}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(vD) + \frac{\partial}{\partial x}(uvD) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2D) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wv) - fDu \\ &= -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial v}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uD) + \frac{\partial}{\partial y}(vD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(W) = 0 \quad (5.4)$$

Burada, W=sigma koordinat sisteminde düşey hızdır.

$$W = w - (\sigma + 1) \frac{\partial D}{\partial t} - uQ_x - vQ_y \quad (5.5)$$

$$W = D \frac{D\sigma}{Dt}, \quad Q_x = \sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \zeta}{\partial x}, \quad Q_y = \sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (5.6)$$

Burada, Q_x ; akımın x yönündeki debisi, Q_y ; akımın y yönündeki debisi

W, düşey hız için su tabanında ve su yüzeyindeki sınır koşulları;

$$W(x,y,0,t)=0, \quad W(x,y,-1,t)=0 \quad (5.7)$$

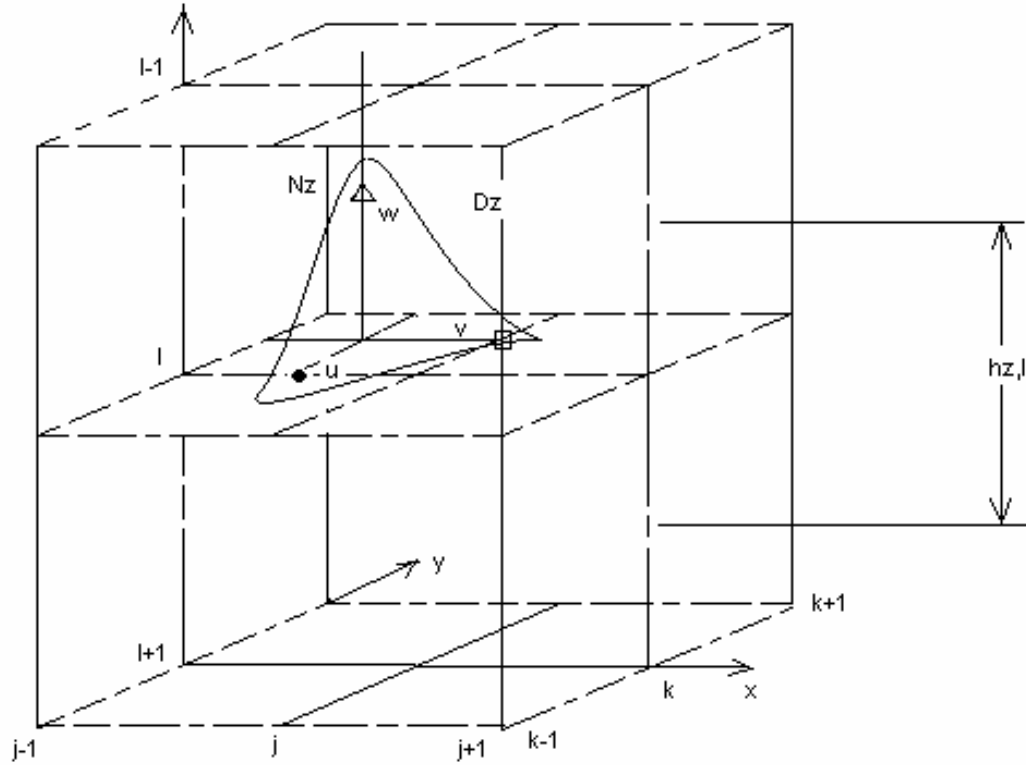
Eş. 5.7’de verilen sınır koşulları uygulanarak Eş. 5.4’ün derinlik boyunca integrali alınarak, derinlik boyunca ortalaması alınmış süreklilik denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}D) + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v}D) + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (5.8)$$

Burada, $\bar{u}$ ve $\bar{v}$ derinlik boyunca ortalaması alınmış hız bileşenleridir.

$$\bar{u} = \int_{-1}^0 u d\sigma, \quad \bar{v} = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad (5.9)$$

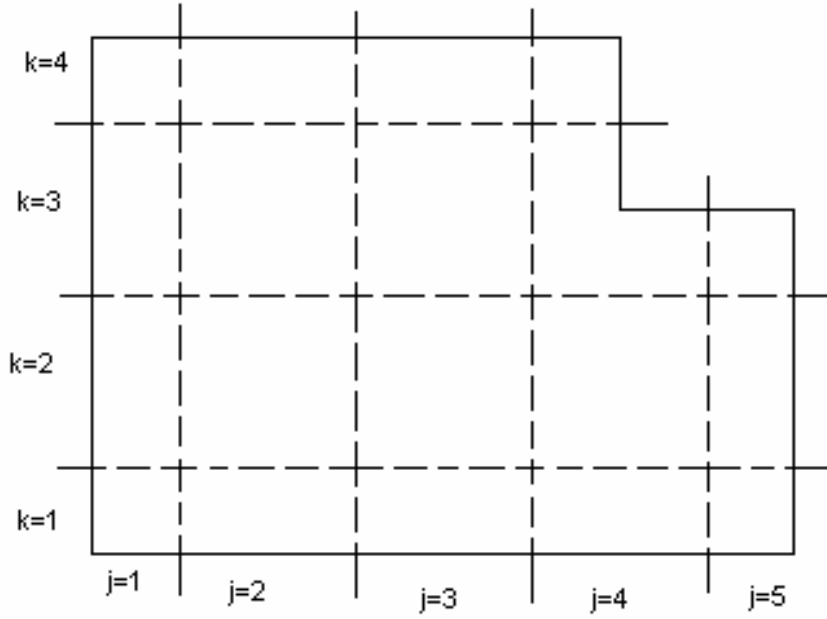
Zamanla değişen üç boyutlu akıntı hareketinin sayısal analizi yapılırken Eş. 5.2, Eş.5.3, Eş.5.4 ve Eş. 5.8'den faydalanılmıştır. Sayısal çözüm yapılırken Şekil 5.2'de gösterilen şaşırtmacalı çözüm ağı kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Sayısal çözümde kullanılan şaşırtmacalı çözüm ağı, ●: u hızı, □: v hızı, Δ: w hızı [18]

Sigma koordinat uygulamasının en önemli özelliklerinden biri; her kesitte düşeydeki düğüm noktası sayısının eşit olmasıdır. Z koordinat sisteminde ise sabit tabaka kalınlığına göre tabakalandırma yapıldığından derin kısımlarda fazla sığ kısımlarda az tabaka sayısı olmaktadır.

Düzensiz kıyı şeridinde sahip su alanlarında çözüm noktalarında kara ve su alanlarını belirlemek önemlidir. Sütun ve satırlardaki düğüm noktası sayısı değişken kıyı çizgisine bağlı olarak değişmektedir. Düzensiz su alanlarında ilk olarak düğüm noktası numaralandırması belirlenmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Düğüm noktalarının numaralandırılması

İlerleme yönü x için “ j “ , yatay yanal yön y için “ k “ ve düşey yön z için ise “ l “ indisi kullanılmıştır.

İlk olarak yatay hız bileşeni u’nun indisleri tamamlanmaya çalışılmıştır. Tüm satırlar başlama noktası js, bitiş noktası je olarak k=1’den k=ky’ye kadar kontrol edilmiştir.

x ve y yönünde hareket denklemleri çözülürken iki kademeli zamansal çözümleme uygulanmaktadır.

$$\begin{aligned} & \frac{(uD)^{m*} - (uD)^m}{T} + \frac{\partial}{\partial x} (u^2 D)^m + \frac{\partial}{\partial y} (uvD)^m + \frac{\partial}{\partial \sigma} (Wu)^m - f(Dv)^m \\ & = -gD^m \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^m + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial u^m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial u^m}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\frac{(uD)^{m+1} - (uD)^{m*}}{T} = \frac{1}{D^m} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma})^{m+1} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} & \frac{(vD)^{m*} - (vD)^m}{T} + \frac{\partial}{\partial x}(uvD)^m + \frac{\partial}{\partial y}(v^2D)^m + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wv)^m - f(Du)^{m+1} \\ & = -gD^m \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^m + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial v^m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial v^m}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\frac{(vD)^{m+1} - (vD)^{m*}}{T} = \frac{1}{D^m} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Nz \frac{\partial v}{\partial \sigma})^{m+1} \quad (5.13)$$

Eş. 5.10, Eş. 5.11, Eş. 5.12, Eş. 5.13'ün açılımında da görüldüğü gibi, zaman adımı ikiye ayrılmıştır. İlk adımda; m zamanından m* zamanına direk zaman adımlı yöntem kullanılarak m* zamanındaki hız değerleri hesaplanmaktadır. İkinci adımda m* zamanından m+1 zamanına dolaylı zaman adımlı yöntem kullanılarak hız değerleri bulunmaktadır. İkinci adımda yalnızca düşey türbülanslı dağılım terimi etkisi gözetilerek stabilite kontrol altına alınmaktadır.

Hesaplamalarda kullanılan u ve v noktalarındaki ortalama derinlikler (HU ve HV) Eş.5.14'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} HU(j,k) &= 0,5 * (D(j,k) + D(j-1,k)) \\ HV(j,k) &= 0,5 * (D(j,k) + D(j,k+1)) \end{aligned} \quad (5.14)$$

Toplam derinlik zamanla değiştiğinden her hesap adımı için yeni HU ve HV değerleri hesaplanmaktadır. Yatay hız, u ile toplam derinlik arasında zamana bağlı ilişki şöyle tanımlanabilir.

$$\frac{(uD)^{m+1} - (uD)^m}{T} = \frac{HUN_{j,k} * U_{j,k,l}^{m+1} - HU_{j,k} * u_{j,k,l}^m}{T} \quad (5.15)$$

Yataydaki yayılım terimleri şaşırtmacalı çözüm ağı noktalarında yazılmaktadır. Genel yaklaşım; u noktasını çevreleyen ζ noktaları için ortalama değerler belirlemektir.

Hareket denkleminin (Eş. 5.10) x yönündeki yayılım terimlerini incelendiğinde;
u noktasının sağı için;

$$\begin{aligned}(uD)_r &= 0,5 * (HU_{j1,k} * u_{j+1,k,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}) \\ u_r &= 0,5 * (u_{j,k,l} + u_{j+1,k,l})\end{aligned}\tag{5.16}$$

u noktasının solu için ;

$$\begin{aligned}(uD)_l &= 0,5 * (HU_{j-1,k} * u_{j-1,k,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}) \\ u_l &= 0,5 * (u_{j,k,l} + u_{j-1,k,l})\end{aligned}\tag{5.17}$$

Eş. 5.16 ve Eş. 5.17 kullanılarak yayılım denkleminin sonlu farklar açılımı yazılabilir;

$$\frac{\partial}{\partial x}(u^2 D)^m \cong \frac{(uD)_r * u_r - (uD)_l * u_l}{hx}\tag{5.18}$$

Hareket denkleminin (5.10) y yönündeki yayılım terimleri incelendiğinde;

$$\begin{aligned}(uD)_{up} &= 0,5 * (HV_{j,k} * v_{j,k,l} + HV_{j-1,k} * v_{j-1,k,l}) \\ u_{up} &= 0,5 * (u_{j,k,l} + u_{j,k+1,l})\end{aligned}\tag{5.19}$$

$$\begin{aligned}(uD)_{dw} &= 0,5 * (HV_{j,k-1} * v_{j,k-1,l} + HV_{j-1,k-1} * v_{j-1,k-1,l}) \\ u_{dw} &= 0,5 * (u_{j,k,l} + u_{j,k-1,l})\end{aligned}\tag{5.20}$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(uvD)^m \cong \frac{(vD)_{up} * u_{up} - (vD)_{dw} * u_{dw}}{hy}\tag{5.21}$$

Hareket denkleminin (Eş. 5.10) üçüncü terimi ($\frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu)^m$) düşeyde farklılık gösterir.

Düşeydeki değişim incelendiğinde;

$$Wa = 0,5 * (W_{j,k,l} + W_{j-1,k,l}) \quad (5.22)$$

$$u_a = (u_{j,k,l-1} * h_{zl} + u_{j,k,l} * h_{zl-1}) / (h_{zl} + h_{zl-1})$$

$$Wb = 0,5 * (W_{j,k,l+1} + W_{j-1,k,l+1}) \quad (5.23)$$

$$u_b = (u_{j,k,l} * h_{zl+1} + u_{j,k,l+1} * h_{zl}) / (h_{zl} + h_{zl+1})$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} (Wu)^m \cong \frac{u_a * W_a - u_b * W_b}{h_{zl}} \quad (5.24)$$

x yönündeki Coriolis terimi ortalamalı olarak hesaplandığında;

$$v_r = 0,5 * (v_{j,k,l} + v_{j,k-1,l}) \quad (5.25)$$

$$v_l = 0,5 * (v_{j-1,k,l} + v_{j-1,k-1,l})$$

$$f(Dv)^m = f * 0,5 * (D_{j,k} * v_r + D_{j-1,k} * v_l)$$

Deniz suyu seviyesi ve yataydaki türbülanslı dağılım terimini açıklayan sayısal eşitlikler;

$$gD^m \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^m = g * HU_{j,k} * \frac{\zeta_{j,k} + \zeta_{j-1,k}}{hx} \quad (5.26)$$

$$Nh \frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial u^m}{\partial x} \cong \frac{Nh}{(hx)^2} [u_{j+1,,} * D_{j,k} + u_{j-1,k,l} * D_{j-1,k} - u_{j,k,l} * (D_{j,k} + D_{j-1,k})]$$

$$Nh \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial u^m}{\partial y} \cong \frac{Nh}{(hy)^2} (0,5 * (HU_{j,k} + HU_{j,k-1}) * u_{j,k-1,l} \quad (5.27)$$

$$+ 0,5 * (HU_{j,k} + HU_{j,k+1}) * u_{j,k+1,l} - u_{j,k,l} * (0,5 * (HU_{j,k-1} + HU_{j,k+1}) + HU_{j,k}))$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (Nz \frac{\partial}{\partial \sigma})^{m+1} \cong \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{u_{j,k,l-1}^{m+1} - u_{j,k,l}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{u_{j,k,l}^{m+1} - u_{j,k,l+1}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] \quad (5.28)$$

$$\frac{HUN_{j,k} * u_{j,k,l}^{m+1} - HU_{j,k} * u^{m*}}{T} = \quad (5.29)$$

$$\frac{1}{HU_{j,k}} \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{u_{j,k,l-1}^{m+1} - u_{j,k,l}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{u_{j,k,l}^{m+1} - u_{j,k,l+1}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right]$$

Eş.5.30’da hız bileşeni v ’nin zamanla değişiminin sayısal eşitliği verilmektedir.

$$\frac{(vD)^{m+1} - (vD)^m}{T} \cong \frac{HVN_{j,k} * v_{j,k}^{m+1} - HV_{j,k} * v_{j,k}^m}{\sigma} \quad (5.30)$$

Hareket denkleminin (Eş. 5.10) x yönündeki yayılım terimi $(\frac{\partial}{\partial x}(uvD)^m)$ uD ve v terimlerini içermektedir. Her iki terimin x yönündeki ortalama değerleri ;

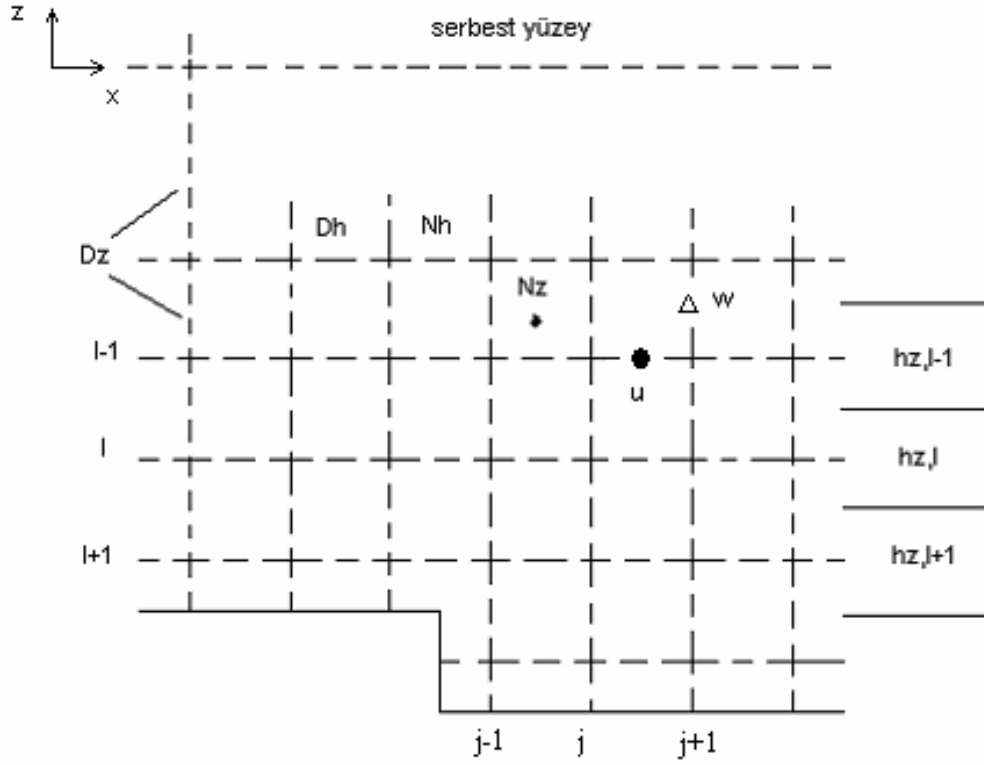
$$(uD)_r = (0,5 * (HU_{j+1,k+1} * u_{j+1,k+1,l} + HU_{j+1,k} * u_{j+1,k,l}))$$

$$v_r = 0,5 * (v_{j,k,l} + v_{j+1,k,l}) \quad (5.31)$$

$$(uD)_l = (0,5 * (H_{j,k+1} * u_{j,k+1,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}))$$

$$v_l = 0,5 * (v_{j,k,l} + v_{j-1,k,l}) \quad (5.32)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(v.u.D)^m \cong \frac{(uD)_r * v_r - (uD)_l * v_l}{hx} \quad (5.33)$$



Şekil 5.4. x - z düzleminde çözüm ağı şeması [18]

Hareket denkleminin (Eş. 5.10) y yönündeki yayılım terimi $(\frac{\partial}{\partial y}(vuD)^m)$ ve y yönündeki ortalama hız değerleri ;

$$(vD)_{up} = (0,5 * (HV_{j,k+1,l} * v_{j,k+1,l} + HV_{j,k} * v_{j,k,l})) \quad (5.34)$$

$$v_{up} = 0,5 * (v_{j,k+1,l} + v_{j,k,l})$$

$$(vD)_{dw} = (0,5 * (HV_{j,k} * v_{j,k,l} + HV_{j,k-1} * v_{j,k-1,l})) \quad (5.35)$$

$$v_{dw} = 0,5 * (v_{j,k,l} + v_{j,k-1,l})$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(vu.D)^m \cong \frac{(vD)_{up} * v_{up} - (vD)_{dw} * v_{dw}}{hy} \quad (5.36)$$

Çözüm ağı noktalarının altında ve üstündeki düşey hız (W) değerleri;

$$W_a = 0,5 * (W_{j,k,l} + W_{j,k+1,l}) \quad (5.37)$$

$$v_a = (v_{j,k,l-1} * hz_l + v_{j,k,l} * hz_{l-1}) / (hz_l + hz_{l-1})$$

$$W_b = 0,5 * (W_{j,k,l+1} + W_{j,k-1,l+1}) \quad (5.38)$$

$$v_b = (v_{j,k,l} * hz_{l+1} + v_{j,k,l+1} * hz_l) / (hz_l + hz_{l+1})$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} (Wv)^m \cong \frac{W_a * v_a - W_b * v_b}{hz_l} \quad (5.39)$$

y yönündeki Coriolis terimi (fDu); v çözüm noktasında u'un derinlik boyunca ortalamasını içermektedir.

$$u_u = 0,5 * (un_{j+1,k+1,l} + un_{j,k+1,l}) \quad (5.40)$$

$$u_{dw} = 0,5 * (un_{j+1,k,l} + un_{j,k,l})$$

$$f(Du)^m = f * 0,5 * (DN_{j,k+1} * u_u + DN_{j,k} * u_{dw}) \quad (5.41)$$

Eş. 5.41'deki u_u ve u_{dw} hız terimleri y doğrultusundaki basınç değişikliğinden etkilenmektedir.

$$gD^m \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) \cong g * HV_{j,k} * \frac{\zeta_{j,k1} - \zeta_{j,k}}{hy} \quad (5.42)$$

Hesap yapılan katmanlardaki sürtünme kuvveti x ve y doğrultusunda farklılıklar göstermektedir.

$$N_h \frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial v^m}{\partial x} \cong \frac{0,5 * N_h}{(hx)^2} [(HV_{j,k} + HV_{j+1,k}) * v_{j+1,k,l} + (HV_{j-1,k} + HV_{j,k}) * v_{j-1,k,l} - v_{j,k,l} * (HV_{j+1,k} + HV_{j-1,k}) + 2 * HV_{j,k}] \quad (5.43)$$

$$N_h \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial v^m}{\partial y} \cong \frac{N_h}{(hy)^2} [v_{j,k+1,l} * D_{j,k+1} + v_{j,k-1,l} * D_{j,k} - v_{j,k,l} * (D_{j,k} + D_{j,k+1})] \quad (5.44)$$

Düşey çizgi üzerindeki v noktaları (Şekil 5.2) farklı eddy viskozite değerlerine sahiptir.

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} (N_z \frac{\partial v}{\partial \sigma})^{m+1} \cong \frac{1}{hz_l} [N_{z,l} \frac{v_{j,k,l-1}^{m+1} - v_{j,k,l}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{v_{j,k,l}^{m+1} - v_{j,k,l+1}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})}] \quad (5.45)$$

Eş.5.45'e zamana göre değişim eklenirse;

$$\frac{HVN_{j,k} * v_{j,k,l}^{m+1} - HV_{j,k} * v_{j,k,l}^{m*}}{T} = \frac{1}{HV_{j,k}} \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{v_{j,k,l-1}^{m+1} - v_{j,k,l}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l-1} \frac{v_{j,k,l}^{m+1} - v_{j,k,l+1}^{m+1}}{0,5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] \quad (5.46)$$

Eş.5.46 'da v^{m*} , m zaman adımından m^* zaman adımına geçerken direk metod ile hesaplanmaktadır. Düşey hız (W) ile deniz seviyesi (ζ) değişken terimlerdir. Bu değişkenleri bulmak için düşey ortalama süreklilik denkleminde faydalanılmaktadır (Eş. 5.47).

$$\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}D) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}D) + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (5.47)$$

$$\bar{u} = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad \bar{v} = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad (5.48)$$

Eş. 5.48'te σ koordinat sisteminde derinlik boyunca ortalaması alınan hız bileşenleri ($\bar{u}$ ve $\bar{v}$) belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_{j,k}^{m+1} - \zeta_{j,k}^m}{T} = & - \frac{(u_a)_{j+1,k}^m * HUN_{j+1,k} (u_a)_{j,k}^m * HUN_{j,k}}{hx} \\ & - \frac{(v_a)_{j,k}^m * HVN_{j,k} - (v_a)_{j,k-1}^m * HVN_{j,k-1}}{hy} \end{aligned} \quad (5.49)$$

Süreklilik denkleminde σ koordinata göre düşey hız hesaplanıp, ζ noktası için açılım yapıldığında;

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_{j,k}^{m+1} - \zeta_{j,k}^m}{T} + \frac{u_{j+1,k,l}^{m+1} * HUN_{j+1,k} - u_{j,k,l}^{m+1} * HUN_{j,k}}{hx} + \\ \frac{v_{j,k,l}^{m+1} * HVN_{j,k} - v_{j,k-1,l}^{m+1} * HVN_{j,k-1}}{hy} + \frac{W_{j,k,l}^{m+1} - W_{j,k,l+1}^{m+1}}{hz_l} = 0 \end{aligned} \quad (5.50)$$

σ koordinat sisteminde hesaplanan düşey hız W , z koordinat sistemindeki düşey hız w 'ye dönüştürülmektedir ;

$$w = W + (\sigma + 1) \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u Q_x + v Q_y \quad (5.51)$$

5.1. Sigma Koordinat Sisteminde Baroclinic Model

Baroclinic model; hareket eşitliklerinde, yoğunluk farklılığından oluşan basınç değişimini ve bunun akıntı üzerindeki etkisini içermektedir.

x ve y yönlerindeki değişimlerin, σ koordinat sisteminde ele alınışı:

$$-g \frac{D^2}{\rho} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{Q_x}{D} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right) d\sigma = -g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \quad (5.52)$$

$$-g \frac{D^2}{\rho} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{Q_y}{D} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right) d\sigma = -g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \quad (5.53)$$

Tüm bu sayısal ifadelerle birlikte hareket denklemi şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(uD) + \frac{\partial}{\partial x}(u^2D) + \frac{\partial}{\partial y}(uvD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu) - fDv = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma}) \\ + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial u}{\partial y} \right] - g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \end{aligned} \quad (5.54)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(vD) + \frac{\partial}{\partial x}(uvD) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2D) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wv) - fDu = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Nz \frac{\partial v}{\partial \sigma}) \\ + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial v}{\partial y} \right] - g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \end{aligned} \quad (5.55)$$

Deniz suyu yoğunluğu içerdiği tuz miktarının (tuzluluk), sıcaklığının ve az da olsa basıncının bir fonksiyonudur. Bu sebeple, yoğunluk dağılımı suyun sıcaklık ve tuzluluk dağılımına bağlıdır. Deniz suyunun ortalama yoğunluğu yaklaşık olarak $1,0276 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Diğer su örneklerinin yoğunluğuyla karşılaştırıldığında, aradaki fark üçüncü ondalık basamakta belirginleşmektedir [18].

Sonuç olarak, su yoğunluğunun (ρ) yerine σ_t değeri kullanılabilir. İki değişken arasındaki bağıntı şöyledir:

$$\sigma_t = (\rho - 1) \times 10^3 \quad (5.56)$$

Bu bağıntıda, ρ : gr/cm^3 cinsinden su yoğunluğunu ifade etmektedir.

Artan hidrostatik basınç sebebiyle derinlik boyunca yoğunluk da önemli miktarda artar. Aşağı-yukarı hareket eden tüm su kütleleri aynı oranda sıkıştırıldığı için, kaldırma ya da denge kuvvetleri bu sıkışmadan etkilenmez. Böylece yoğunluk, σ_t değerlerine (1 atm. basınçta) indirgenebilir ve hareket denklemlerindeki suyun sıkışabilirliği ihmal edilebilir. Aşağıdaki denklemler σ_t değişkenini, tuzluluk ve sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplamakta kullanılmaktadır. Bu denklemlerde, S tuzluluk (%), Cl klorluluk (gr/kg) ve T sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$) [20,23] :

$$S = 1.80655 Cl \quad (5.57)$$

$$\sigma_t = (\sigma_o + 0.1324)(1 - A_t + B_t(\sigma_o - 0.1324)) + \Sigma_t \quad (5.58)$$

$$\sigma_o = -6.9 \times 10^{-2} + 1.4708 Cl - 1.57 \times 10^{-3} Cl^2 + 3.98 \times 10^{-5} Cl^3 \quad (5.59)$$

$$A_t = 4.7867 \times 10^{-3} T - 9.8185 \times 10^{-5} T^2 + 1.0843 \times 10^{-6} T^3 \quad (5.60)$$

$$B_t = 1.803 \times 10^{-5} T - 8.146 \times 10^{-7} T^2 + 1.667 \times 10^{-8} T^3 \quad (5.61)$$

$$\Sigma_t = -(T - 3.98)^2 (T + 283) (503.57 (T + 67.26))^{-1} \quad (5.62)$$

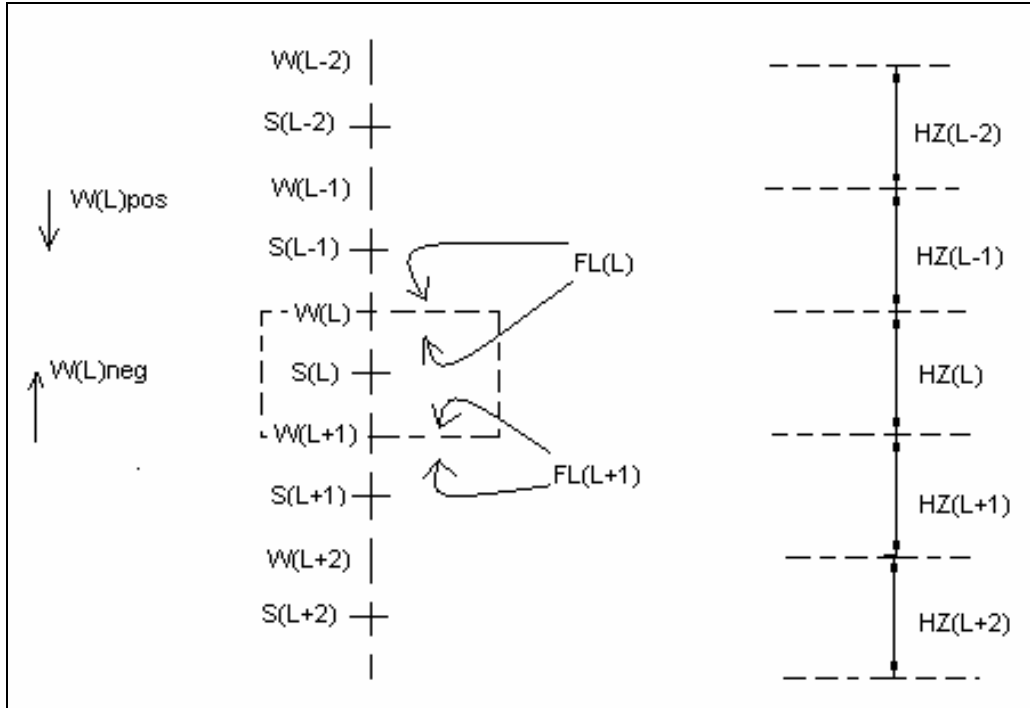
Eş. 5.65 ve Eş. 5.66'da, tuzluluk ve sıcaklık yayılım-dağılım denklemleri σ koordinat sistemine göre yazılmıştır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(DS) + \frac{\partial}{\partial x}(uDS) + \frac{\partial}{\partial y}(vDS) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(WS) &= \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Dz \frac{\partial S}{\partial \sigma}) \\ + Dh \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial S}{\partial x} + Dh \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial S}{\partial y} \end{aligned} \quad (5.63)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(D\theta) + \frac{\partial}{\partial x}(uD\theta) + \frac{\partial}{\partial y}(vD\theta) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(W\theta) &= \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (Dz \frac{\partial \theta}{\partial \sigma}) \\ + Dh \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial \theta}{\partial x} + Dh \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial \theta}{\partial y} \end{aligned} \quad (5.64)$$

σ ve θ dağılımları, yoğunluk dağılımının hesaplamasında kullanılmaktadır.

Tuzluluk ve sıcaklık için sayısal çözümde kullanılan çözüm ağının düşey yöndeki detayı Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Düşeydeki çözüm ağı [18]

$$\frac{(SD)^{m*} - (SD)^m}{T} = \frac{HN_{j,k} * S_{j,k,l}^{m+1} - HO_{j,k} * S_{j,k,l}^m}{T} \quad (5.65)$$

Burada, HN, son hesap adımındaki tabaka kalınlığı; HO, bir önceki hesap adımındaki tabaka kalınlığıdır.

x yönündeki yayılım terimi; $\frac{\partial}{\partial x}(uDS)$;

$$\frac{\partial}{\partial x}(uDS) \cong \frac{FLXR - FLXL}{hz} \quad (5.66)$$

Sağdan gelen akış;

$$FLXR = 0,5 * (S_{j,k,l} + S_{j+1,k,l}) * u_{j+1,k,l}^m * HU_{j+1,k} \quad (5.67)$$

Soldan gelen akış;

$$FLXL = 0,5 * (S_{j,k,l} + S_{j-1,k,l}) * u_{j,k,l}^m * HU_{j,k} \quad (5.68)$$

y yönündeki yayılım terimi; $\frac{\partial}{\partial y}(vDS)$;

$$\frac{\partial}{\partial y}(vDS) \cong \frac{FLYR - FLYL}{hy} \quad (5.69)$$

Sağdan gelen akış;

$$FLYR = 0,5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k+1,l}) * v_{j,k,l}^m * HV_{j,k} \quad (5.70)$$

Soldan gelen akış;

$$FLYL = 0,5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k-1,l}) * v_{j,k-1,l}^m * HV_{j,k-1} \quad (5.71)$$

Üstten gelen akış;

$$FZU = W_{j,k,l} * 0,5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k,l-1}) \quad (5.72)$$

Alttan gelen akış;

$$FLZD = W_{j,k,l+1} * 0,5 * (S_{j,k,l+1} + S_{j,k,l}) \quad (5.73)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma}(WS) \cong \frac{FLZU - FLZD}{h_z l} \quad (5.74)$$

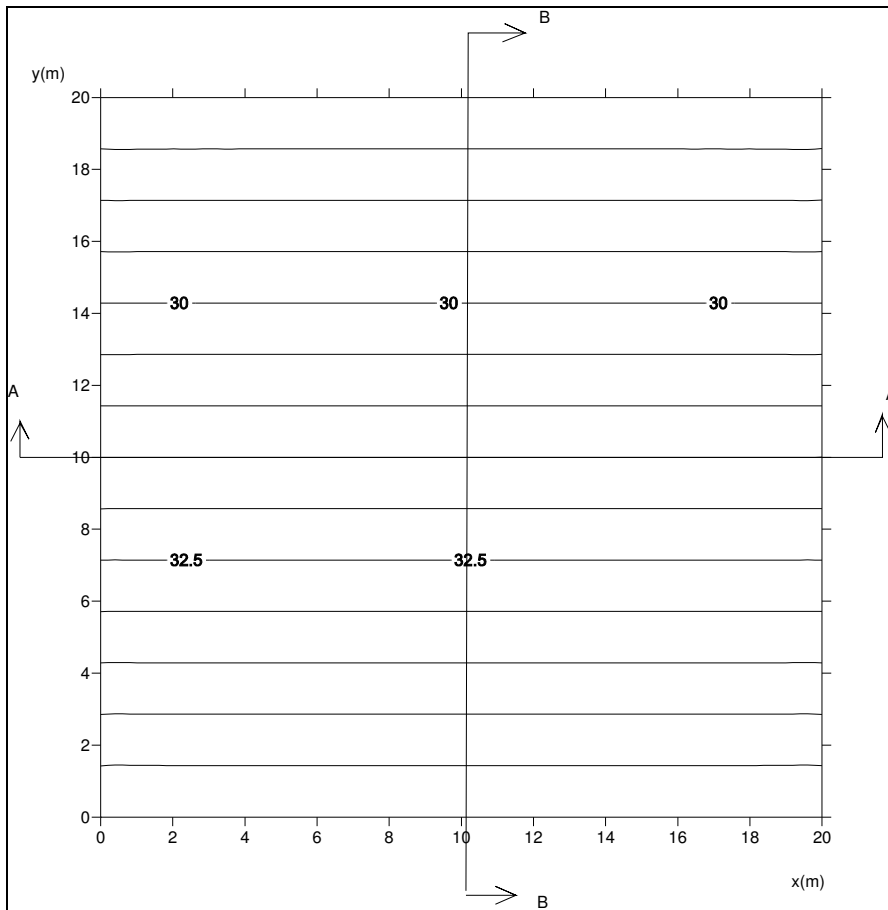
Açık yüzeylerde; $FLZU=0$, $FLZD = wpd * S_{j,k,2}^m + wnd * S_{j,k,1}^m$

5.2. Yoğunluk Akıntılarının Üç Boyutlu Sayısal Analiz Uygulamaları

5.2.1. Yatay düzlemde tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi

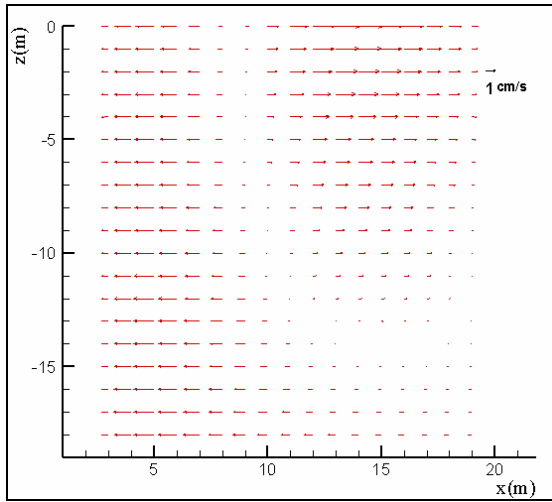
Yatay düzlemde tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi Şekil 5.6 'da gösterilen su alanı üzerinde incelenmiştir. Alan 1000 m X 1000 m uzunluğunda kare bir alandır.

Tuzluluk yalnızca yatay düzlemde farklı miktarlarda azaltılarak (Şekil 5.6. ve Şekil 5.8.) tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi incelenmiştir.

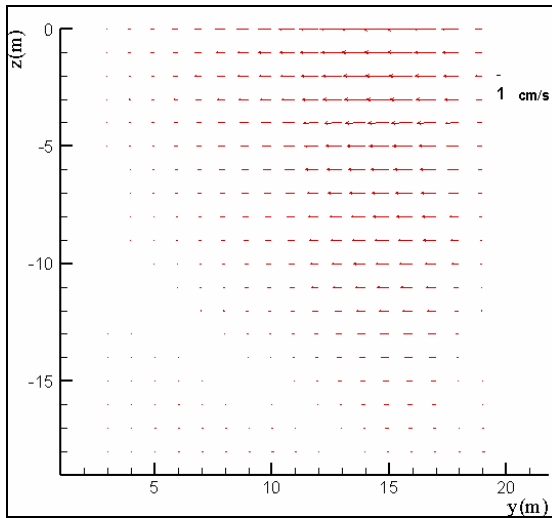


Şekil 5.6. y yönünde, yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ gradyanı ile azalan tuzluluk (‰)

Yatay düzlemde y doğrultusunda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ gradyanı ile tuzluluk azalmasıyla düşey tabakalarda sabit tuzluluk dağılımı varsayımı ile hesaplama yapıldığında meydana gelen hızın A-A ve B-B kesitlerindeki dağılım Şekil 5.7.a ve Şekil 5.7.b'de görülmektedir.

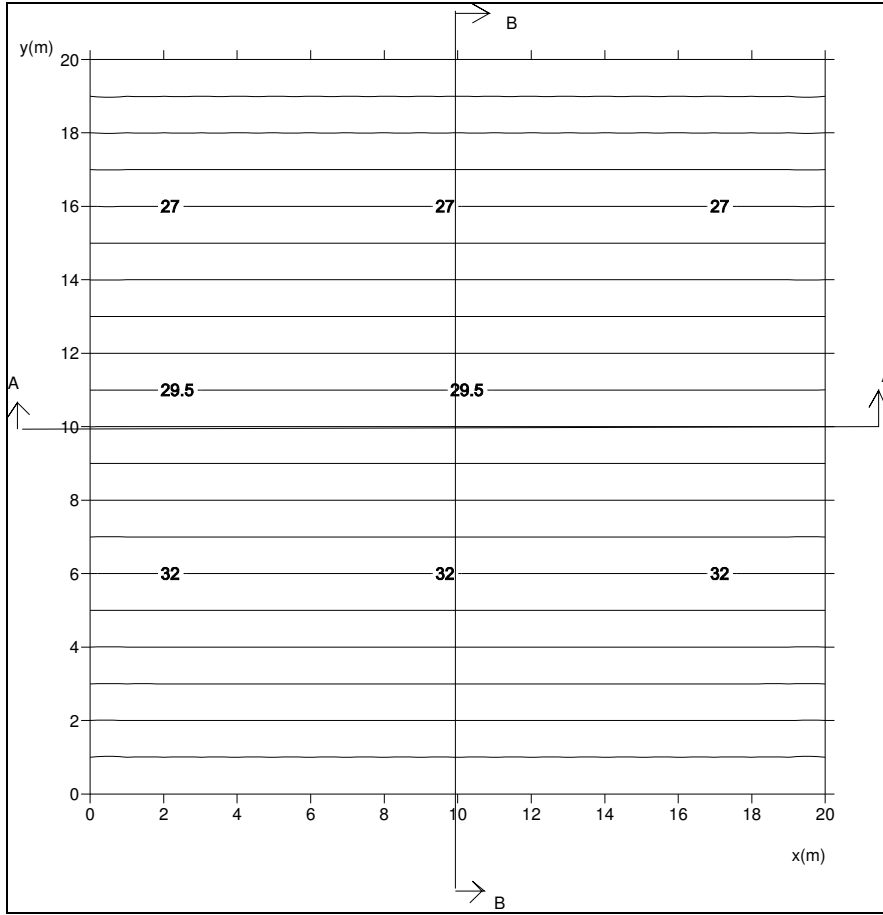


(a)



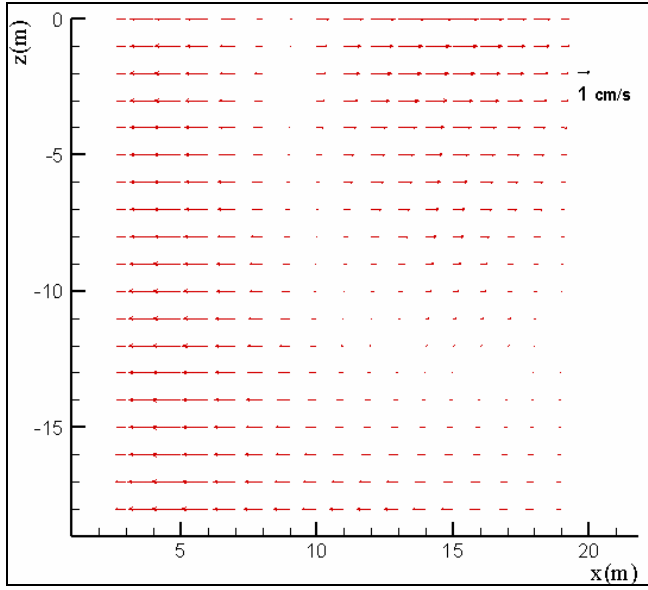
(b)

Şekil 5.7. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 10. saat sonundaki hız dağılım profili (a) A-A kesitinde (u-w) (b) B-B kesitinde (v-w)

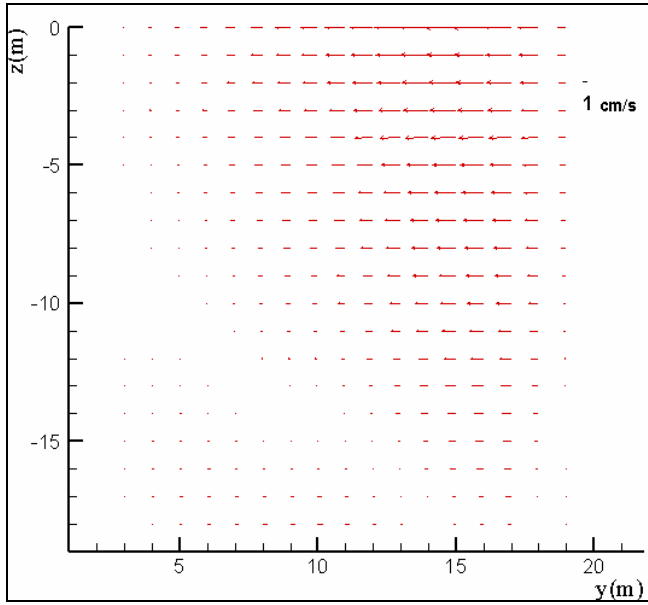


Şekil 5.8 y yönünde,yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ gradyanı ile azalan tuzluluk (‰)

Yatay düzlemde y doğrultusunda 0,5 gradyanı ile tuzluluk azalmasıyla düşey tabakalarda sabit tuzluluk dağılımı varsayımı hesaplama yapıldığında meydana gelen hızın A-A ve B-B kesitlerindeki dağılım Şekil 5.9.a ve Şekil 5.9.b’de görülmektedir.



(a)



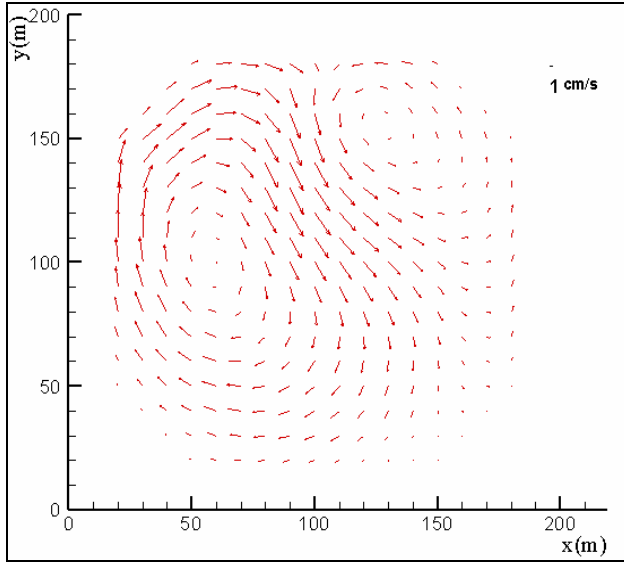
(b)

Şekil 5.9. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 10. saat sonundaki hız dağılım profili (a) A-A kesitinde (u-w) (b) B-B kesitinde (v-w)

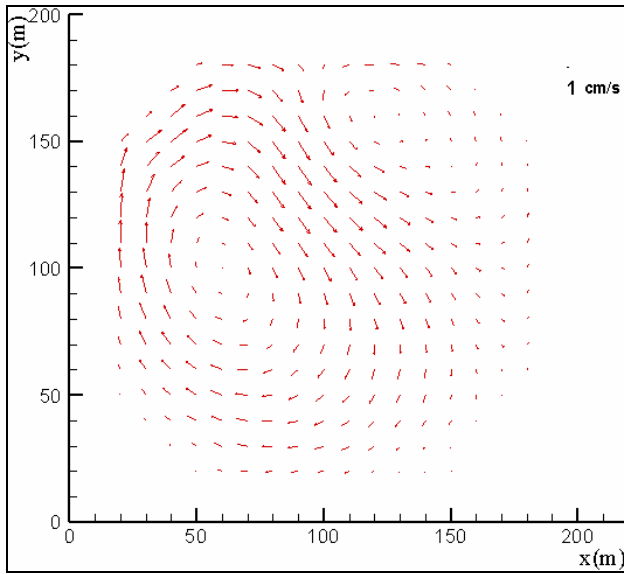
Tuzluluk gradyanının artması durumunda oluşan hızlar da artmaktadır. Tuz gradyanındaki %42 artış, akıntı hızlarında %14 artışa neden olmuştur.

$\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ ve $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ için yüzeyde oluşan çevrinti düzenleri Şekil 5.10 a ve Şekil

5.10 b’de görülmektedir.



(a)

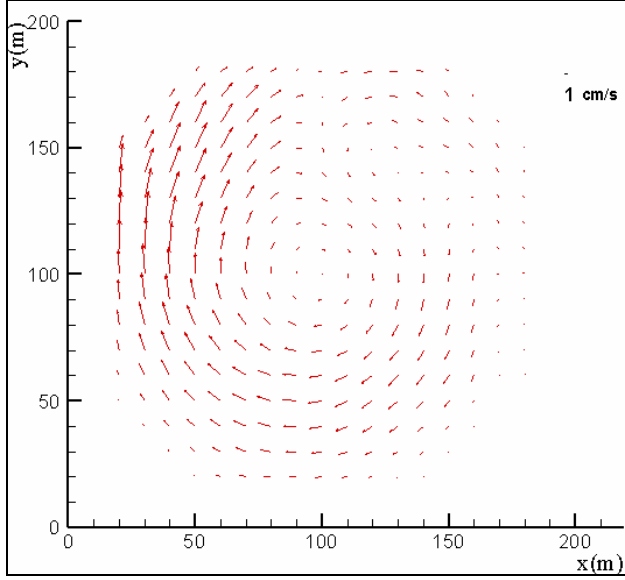


(b)

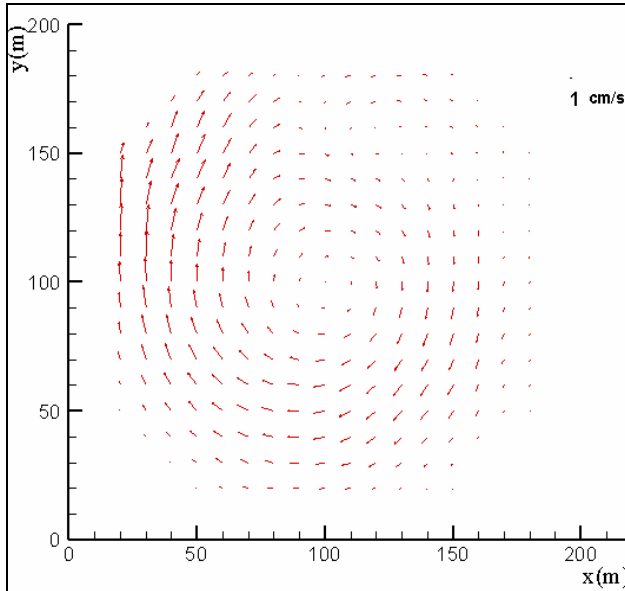
Şekil 5.10. 10. saat sonunda yüzeydeki çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ için

(b) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ için

$Dx=0,35$ ve $Dx=0,5$ için tabanda oluşan çevrinti Şekil 5.11.a ve 5.11.b’de görülmektedir.



(a)



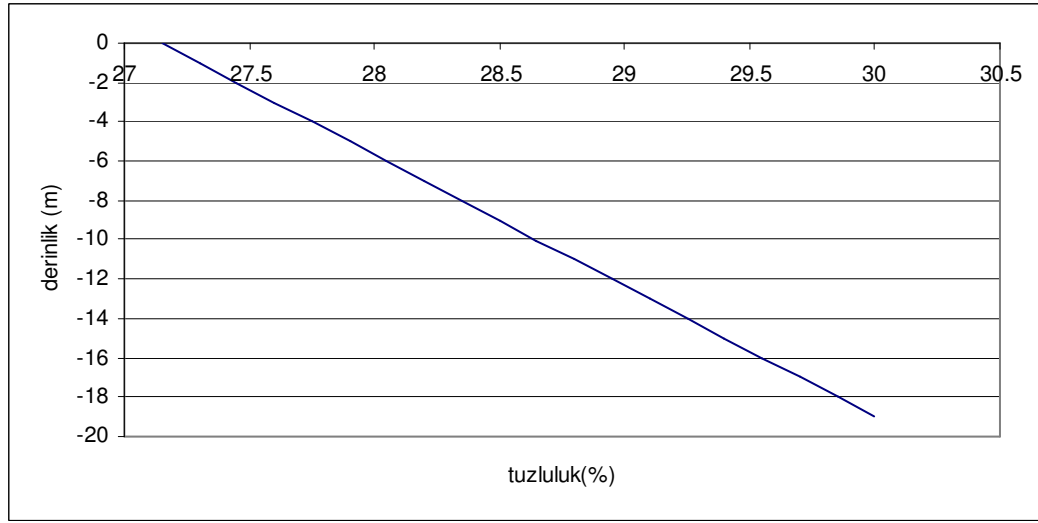
(b)

Şekil 5.11. 10. saat sonunda tabandaki çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,35$ için

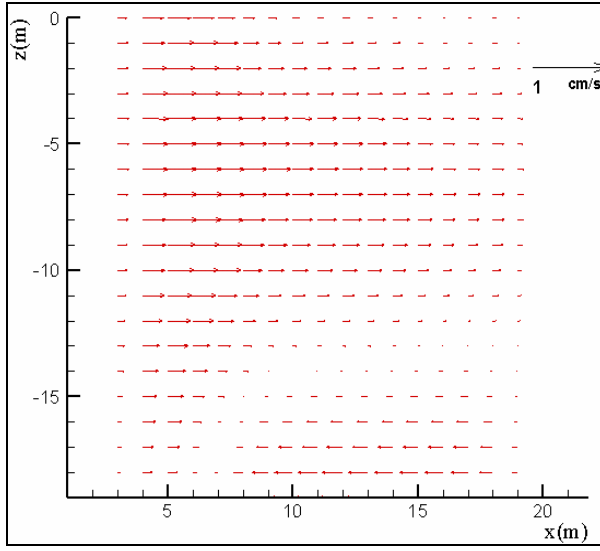
(b) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ için

5.2.2. Düşey düzlemde tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi

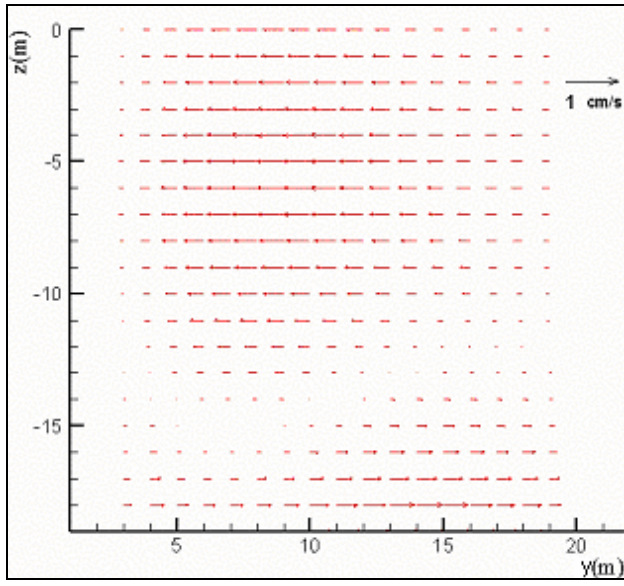
Tuzluluk değeri yatayda sabit tutulup, düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ miktarlarında artırılarak (Şekil 5.12 ve Şekil 5.14) yalnızca düşeydeki tuzluluk değişiminin düşey hız profili üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.12. Düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanı ile değişen tuzluluk (%)

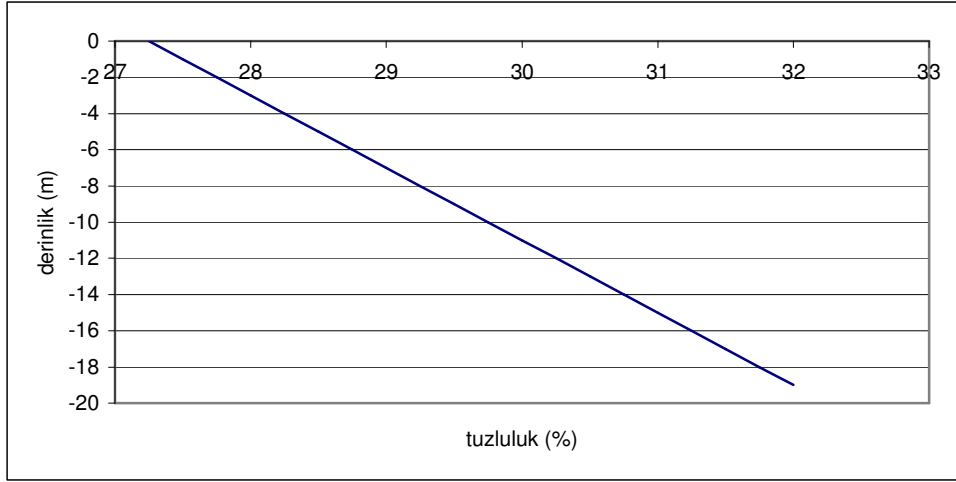


(a)

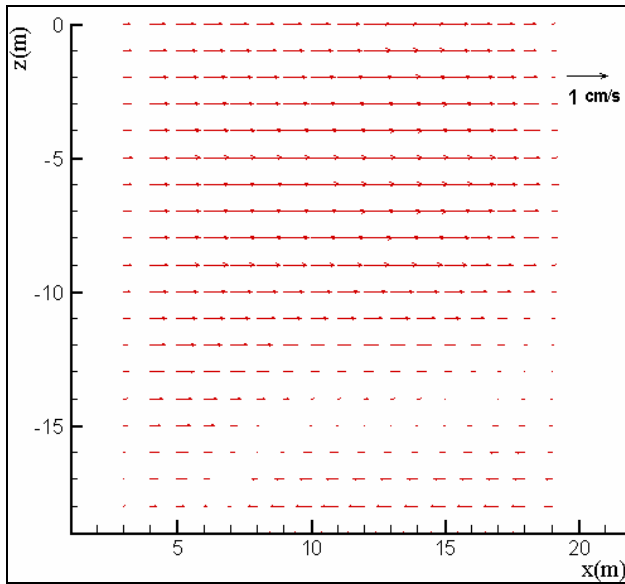


(b)

Şekil 5.13. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,15$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 5. saat sonundaki hız dağılım profili (a) $y=500$ m'de (u-w) (b) $x=500$ m'de (v-w)

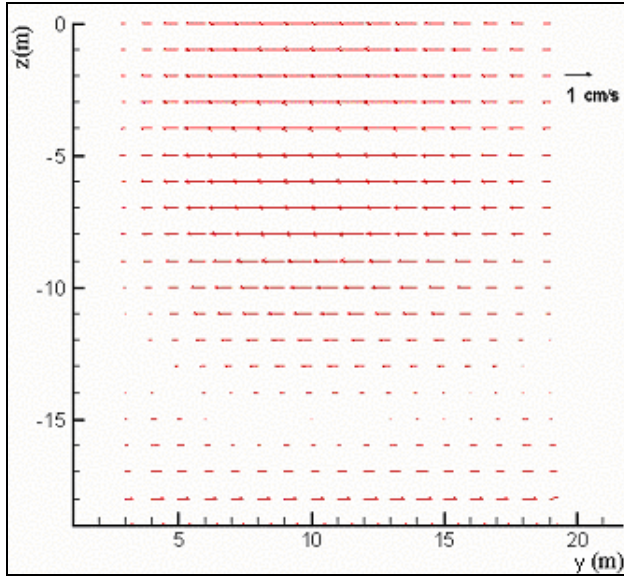


Şekil 5.14. Düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ gradyanı ile değişen tuzluluk (‰)



(a)

Şekil 5.15. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,25$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 5. saat sonundaki hız dağılım profili (a) $y=500$ m'de (u-w) (b) $x=500$ m'de (v-w)



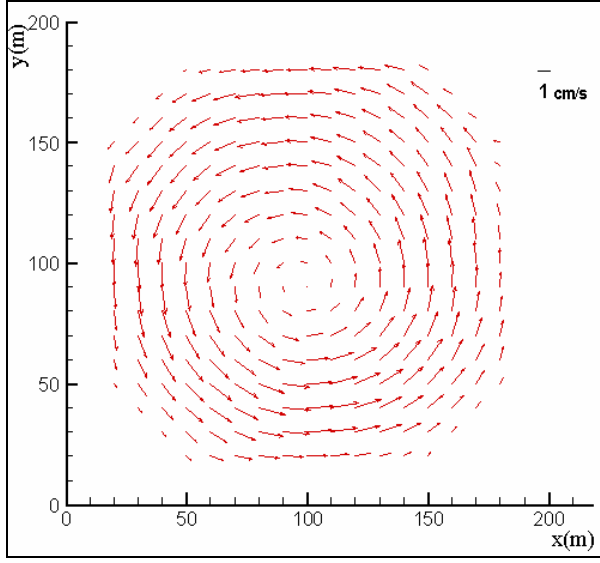
(b)

Şekil 5.15. (Devam) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,25$ gradyanı ile tuzluluk değişimi için 5. saat sonundaki hız dağılım profili (a) $y=500$ m'de (u-w) (b) $x=500$ m'de (v-w)

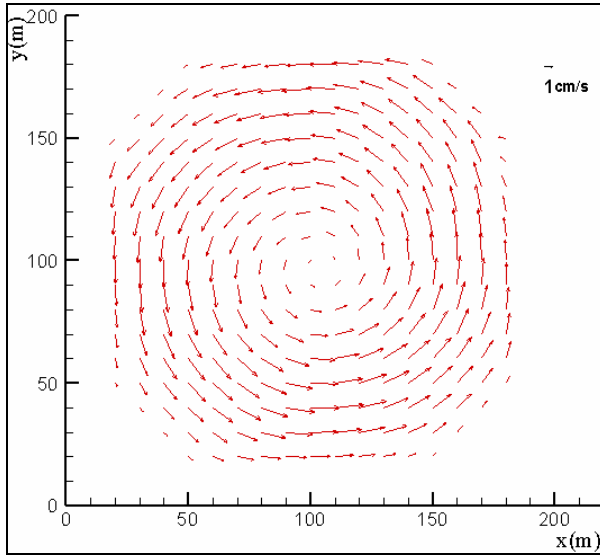
Düşeydeki tuzluluk gradyanının artması durumunda oluşan hızlar da artmaktadır. Tuz gradyanındaki %66 artış, akıntı hızlarında %88 artışa neden olmuştur.

$\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ için yüzeyde ve tabanda oluşan çevrinti düzenleri Şekil

5.16 ve Şekil 5.17'de görülmektedir.



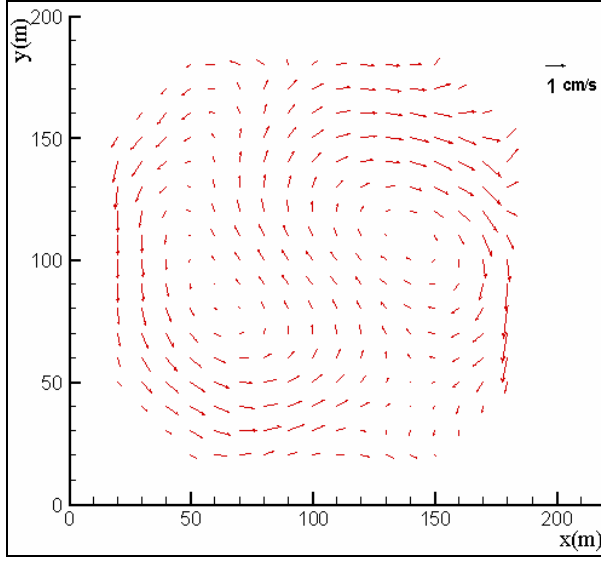
(a)



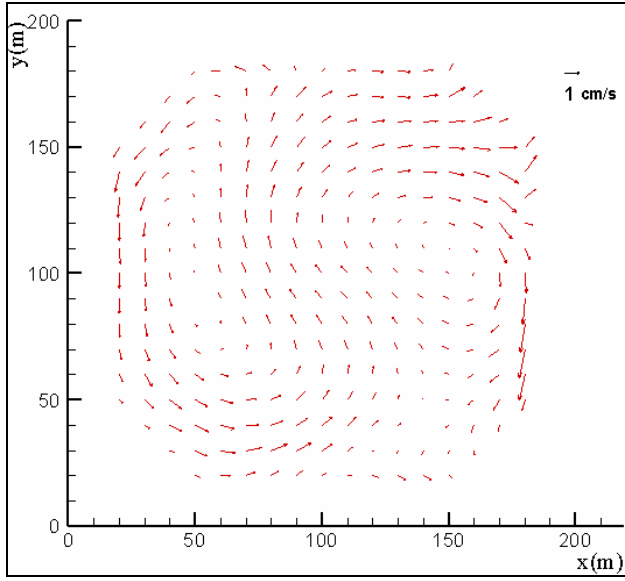
(b)

Şekil 5.16. 5. saat sonunda yüzeydeki çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ için

(b) $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ için



(a)



(b)

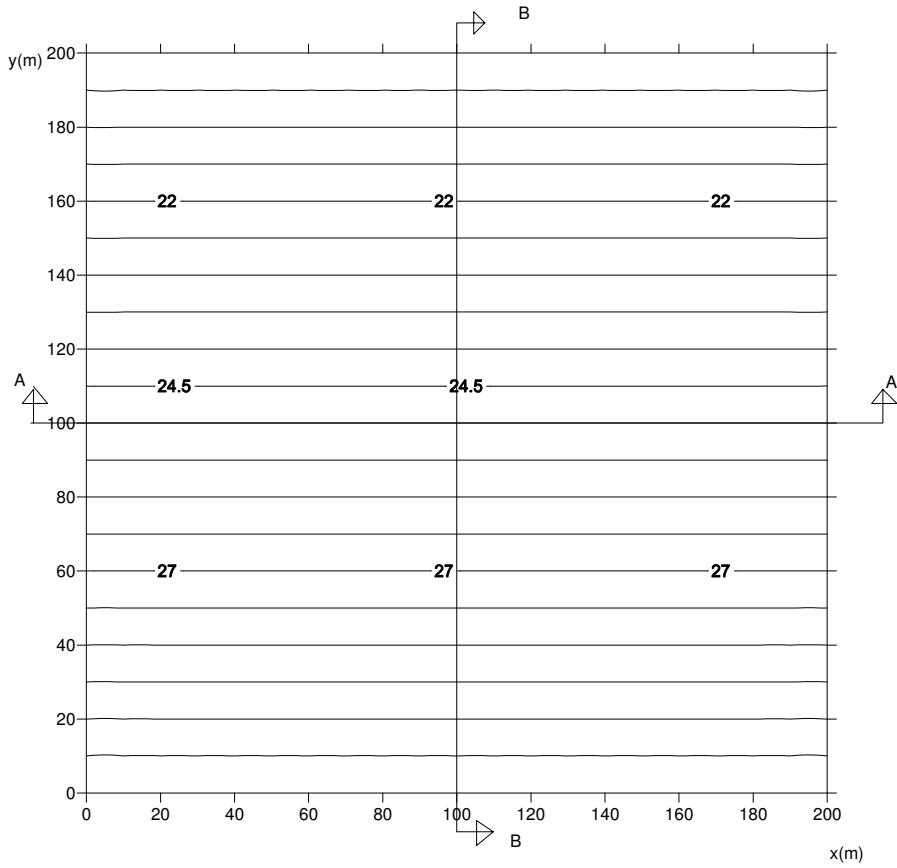
Şekil 5.17. 5. saat sonunda tabandaki çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ için

(b) $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,25$ için

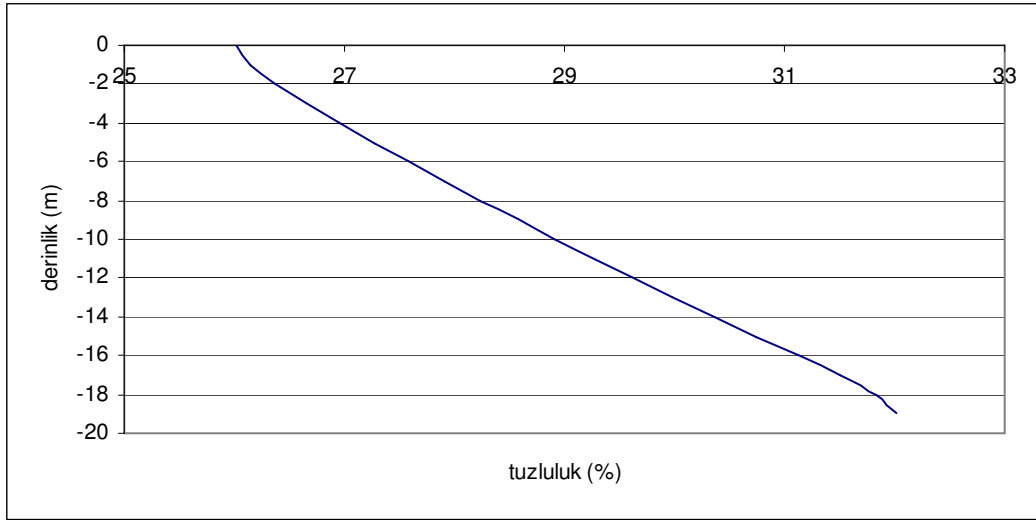
5.2.3. Düşeyde ve yatayda tuzluluk değişiminin akıntı oluşumuna etkisi

Düşeyde ve yatayda tabakalanma olması durumunda hız profili ve çevrintinin nasıl etkilendiğini incelemek amacıyla tuzluluk her iki düzlemde de değiştirilmiştir.

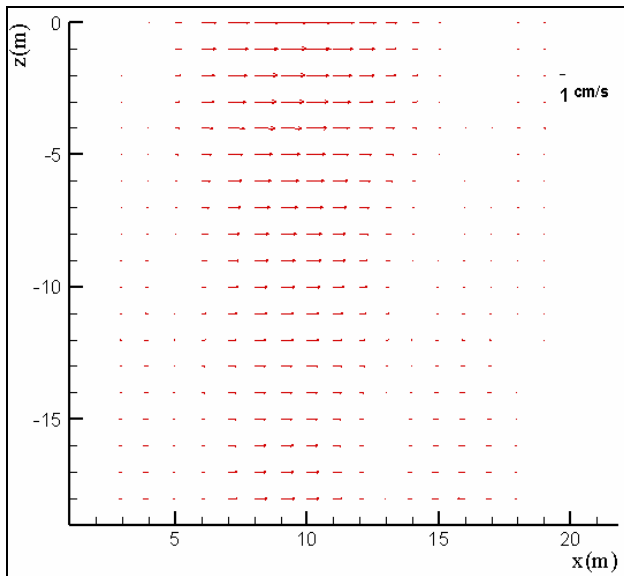
Yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ 'lik azalma, düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ 'lük artma ile elde edilen yüzeyde ve düşeyde tuzluluk tabakalanmaları Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 'da görülmektedir.



Şekil 5.18. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için yüzeyde tuzluluk (‰)

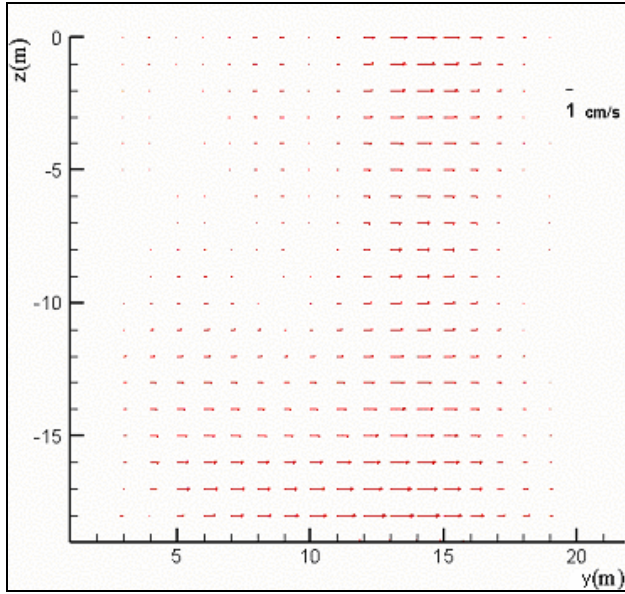


Şekil 5.19. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için $x=500$ m, $y=500$ m noktasında düşey tuzluluk değişim profili



(a)

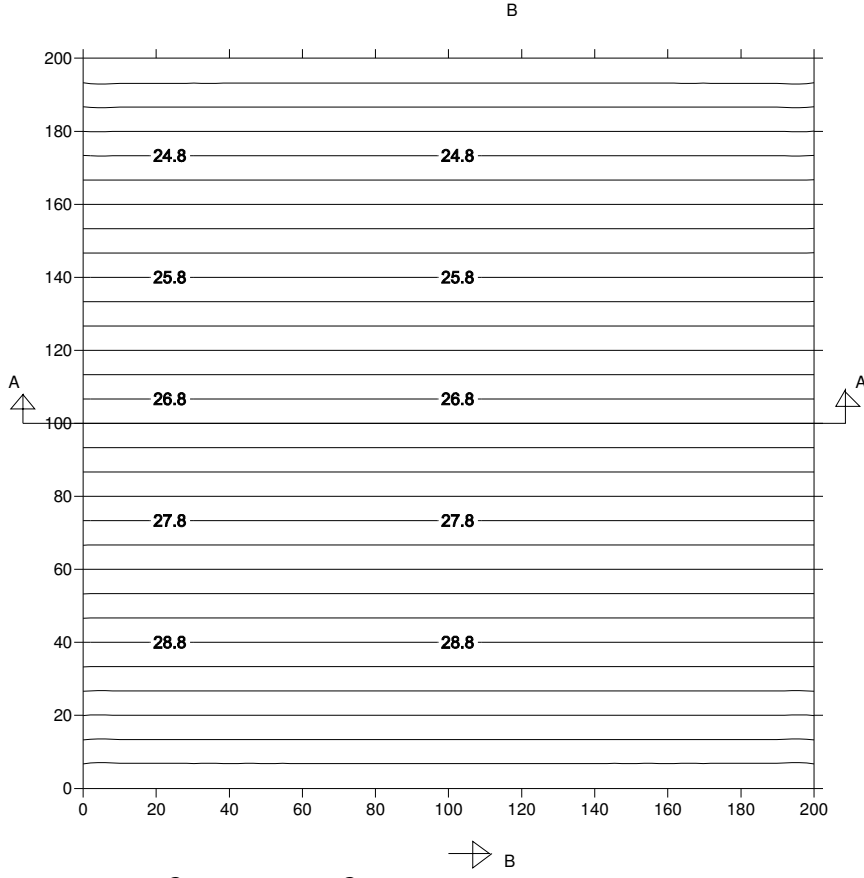
Şekil 5.20. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için 5. saat sonundaki hız profili
(a) A-A kesitinde (u-w) (b) B-B kesitinde (v-w)



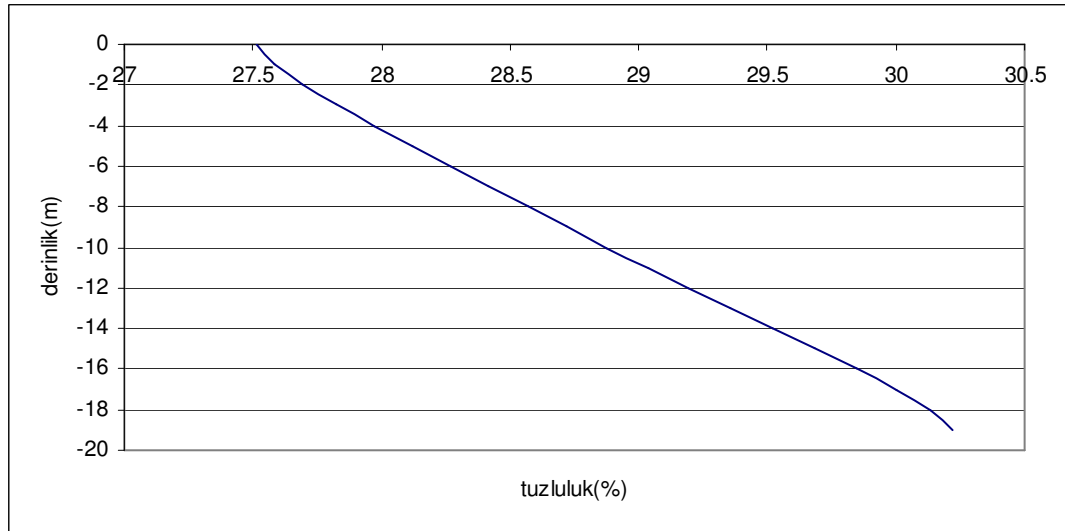
(b)

Şekil 5.20. (Devam) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ gradyanları için 5. saat sonundaki hız profili (a) A-A kesitinde (u-w) (b) B-B kesitinde (v-w)

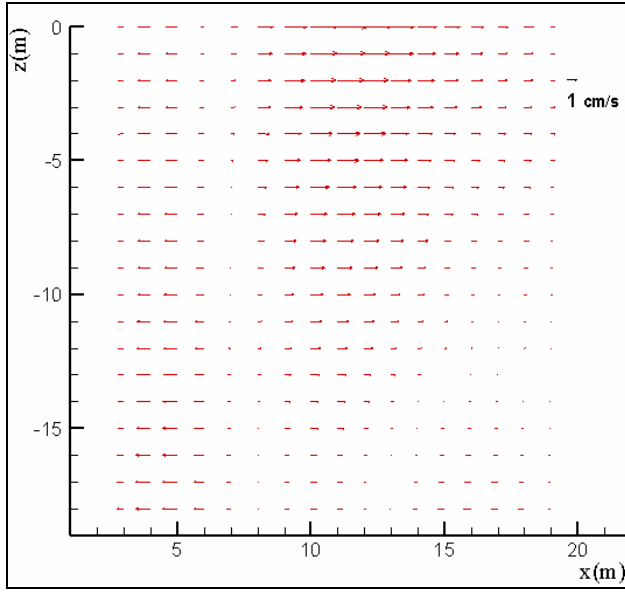
Yatayda $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ 'lük azalma ve düşeyde $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ 'lik artma ile elde edilen yüzeyde ve düşeyde tuzluluk tabakalanmaları Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de görülmektedir.



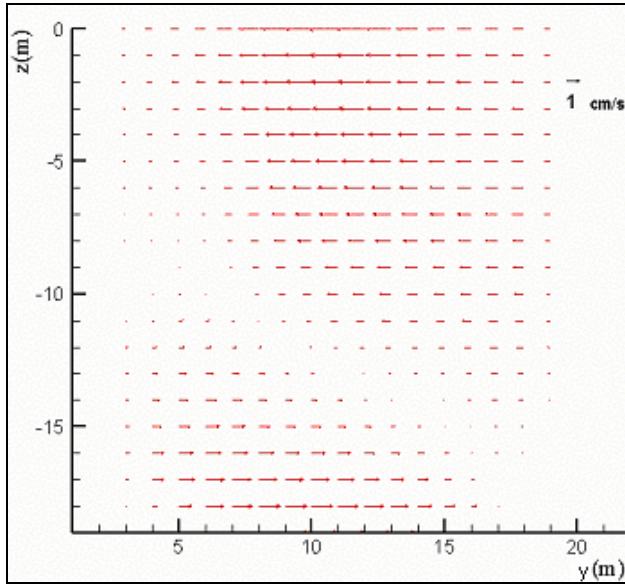
Şekil 5.21. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için yüzeyde tuzluluk (‰)



Şekil 5.22. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için $x=500$ m, $y=500$ m noktasında düşey tuzluluk değişim profili



(a)

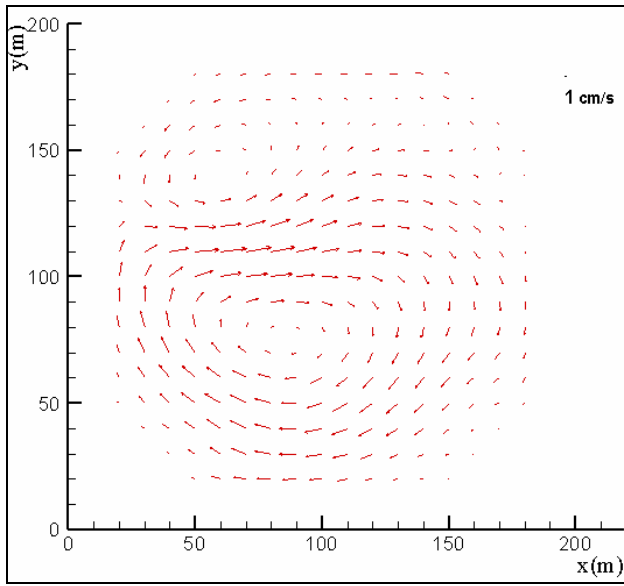


(b)

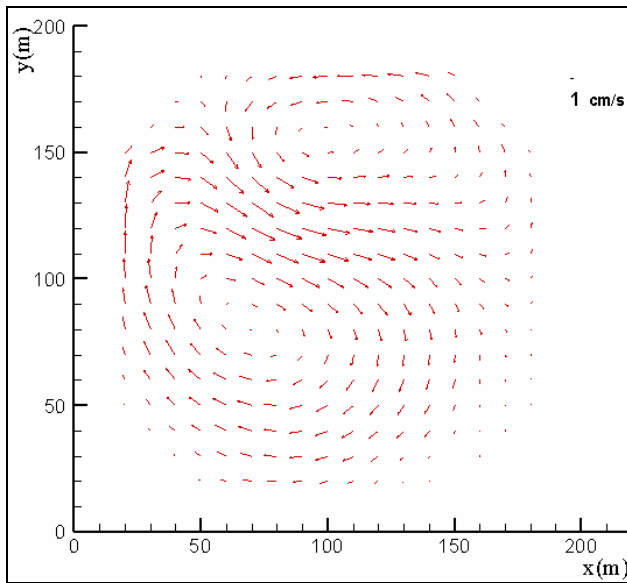
Şekil 5.23. $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$ ve $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için 5. saat sonundaki hız profili

(a) A-A kesitindeki (u-w) (b) B-B kesitinde (v-w)

$\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$ ve $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ için 5. saat sonundaki yüzey ve taban çevrintilerinin karşılaştırılması Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de görülmektedir.



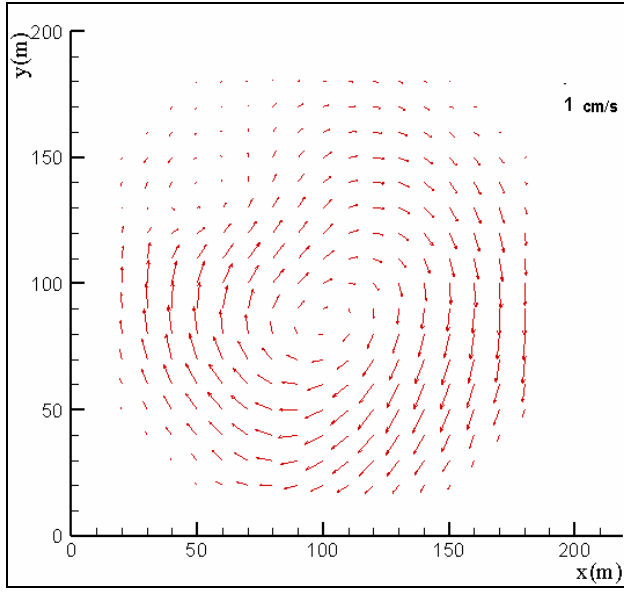
(a)



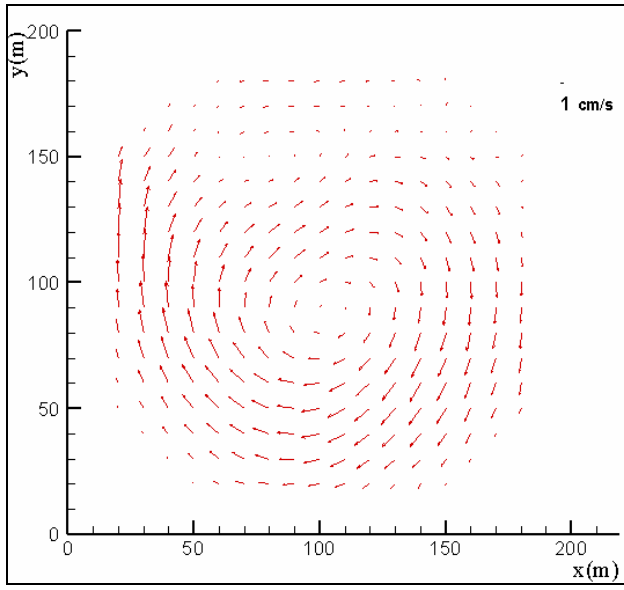
(b)

Şekil 5.24. 5. saat sonundaki yüzey çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$

gradyanları için (b) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için



(a)



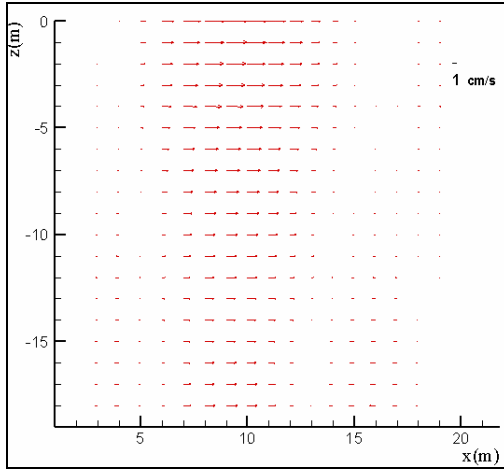
(b)

Şekil 5.25. 5. saat sonundaki taban çevrinti düzeni (a) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,5$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,33$

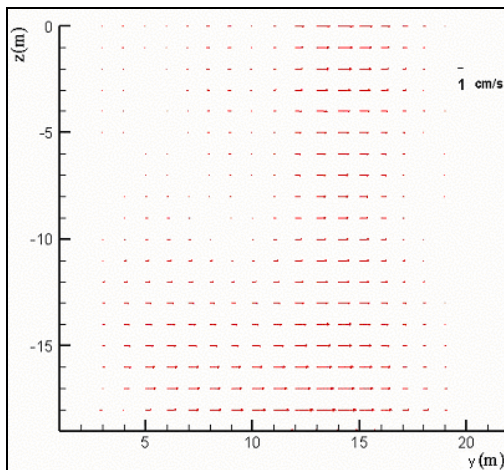
gradyanları için (b) $\frac{\partial S}{\partial y} = 0,3$, $\frac{\partial S}{\partial z} = 0,15$ gradyanları için

5.2.4. Kaynak suyu çıkışının akıntı oluşumuna etkisi

Kapalı bir su alanının tam karışmış ve her noktada 35g/m^3 tuzluluğa sahip olduğu kabulü ile derinlik boyunca tüm düzlemlerde $x=500\text{ m}$ ve $y=500\text{ m}$ 'de tuzluluğun tabanda 10 g/m^3 , yüzeyde 35g/m^3 değerleri arasında değiştiği başlangıç koşulu uygulanarak sayısal modelle benzeştirme yapılmıştır. 1 saat sonunda $y=500\text{ m}$ 'den ve $x=500\text{ m}$ 'den geçen düşey düzlemlerdeki hız profilleri Şekil 5.26'da , su yüzü ve tabanında olması beklenen çevrinti düzenleri Şekil 5.27'de görülmektedir.

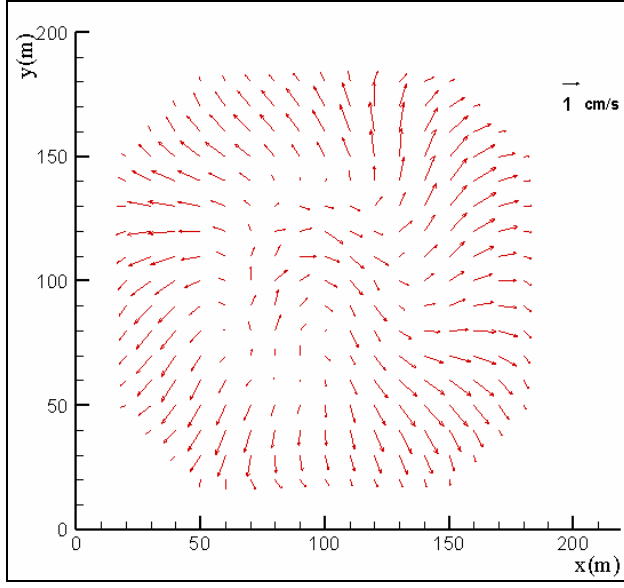


(a)

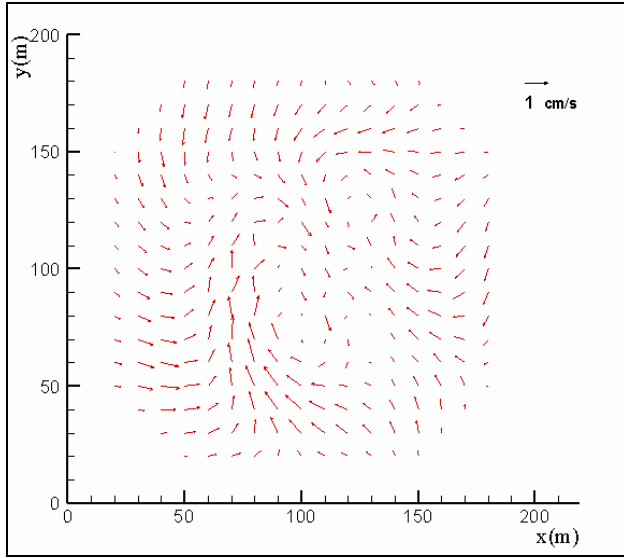


(b)

Şekil 5.26. 1 saat sonunda oluşan hız profili (a) $y=500\text{ m}$ 'den geçen düşey düzlemde (u-w) (b) $x=500\text{ m}$ 'den geçen düşey düzlemde



(a)

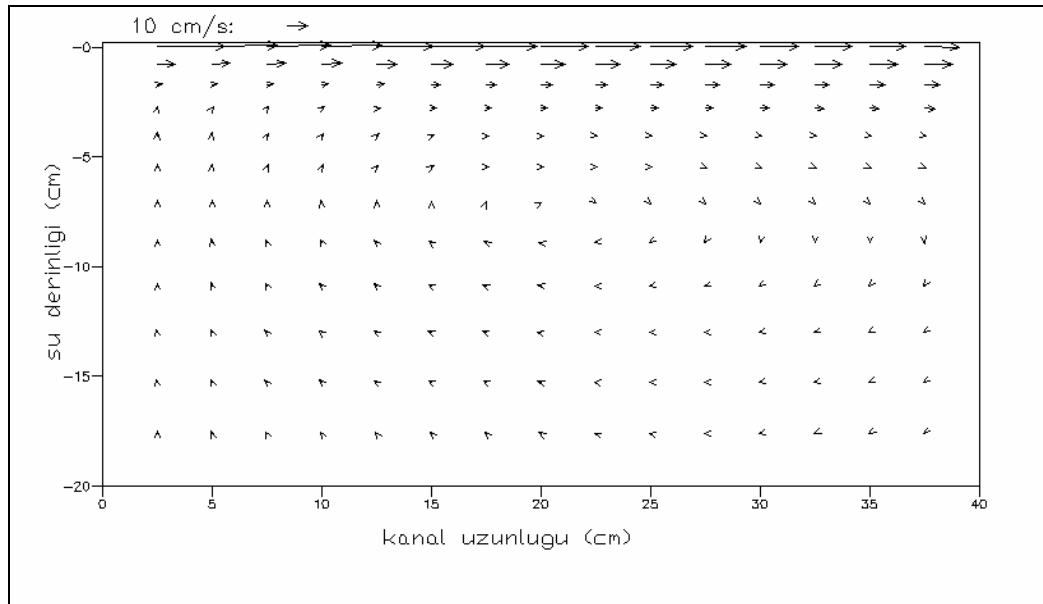


(b)

Şekil 5.27. 1 saat sonundaki çevrinti düzeni (a) yüzey çevrintisi (b) taban çevrintisi

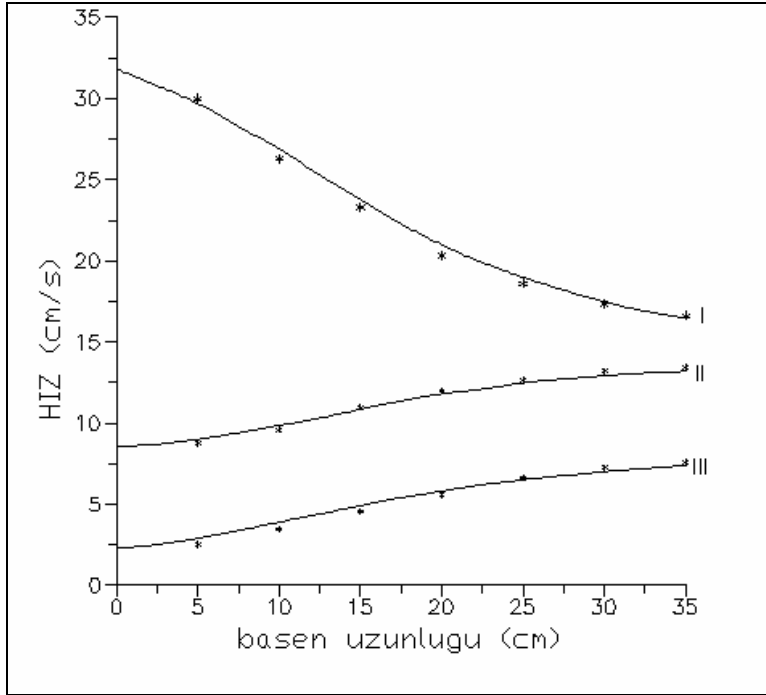
5.3. Sayısal Modelin Taze Su Girişine Uygulanması

Sayısal modelinin sonuçları, tuzlu suyla dolu bir basene ince bir tabaka halinde taze su girişi yapılmasıyla oluşan akıntı ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Deney baseni 155 cm uzunluğa, 30 cm genişliğe ve 20 cm su derinliğine sahiptir. Taze su jet hızı 31.8 cm/s'dir, ve taze su tabakası 0.8 cm, yoğunluğu ise 1.0 gm/cm³'dir. Basenin tuzluluğu 30 ppt'dir. Modelin akıntı düzeni benzeştirmesi Şekil 5.28.a'da verilmiştir. Yüzeyde, yüzeyin 1 cm ve 2 cm aşağısında ölçülen akıntı hızları, model sonuçları ile karşılaştırılmış ve Şekil 5.28.b'de sunulmuştur. Model tahminlerindeki hata kareleri ortalaması 0.33 cm/s'dir. Modelden tahmin edilen yüzey hızları su girişinden itibaren %48 azalırken, ölçülen yüzey hızları %47 azalmaktadır. Taze su basende ilerlerken dengeli yoğunluk tabakalaşması ve, göreceli olarak ince bir yüzey tabakasında daha yoğun dip sularının girişiyle kuvvetli bir çevrinti oluşmaktadır [20,23].



(a)

Şekil 5.28. (a) Sayısal modelin hız düzeni (b) hızlar *:deney sonuçları, sayısal model sonuçları Eğri I: yüzey, Eğri II: yüzeyden 1 cm aşağısı, Eğri III: yüzeyden 2 cm aşağısı [20,23]

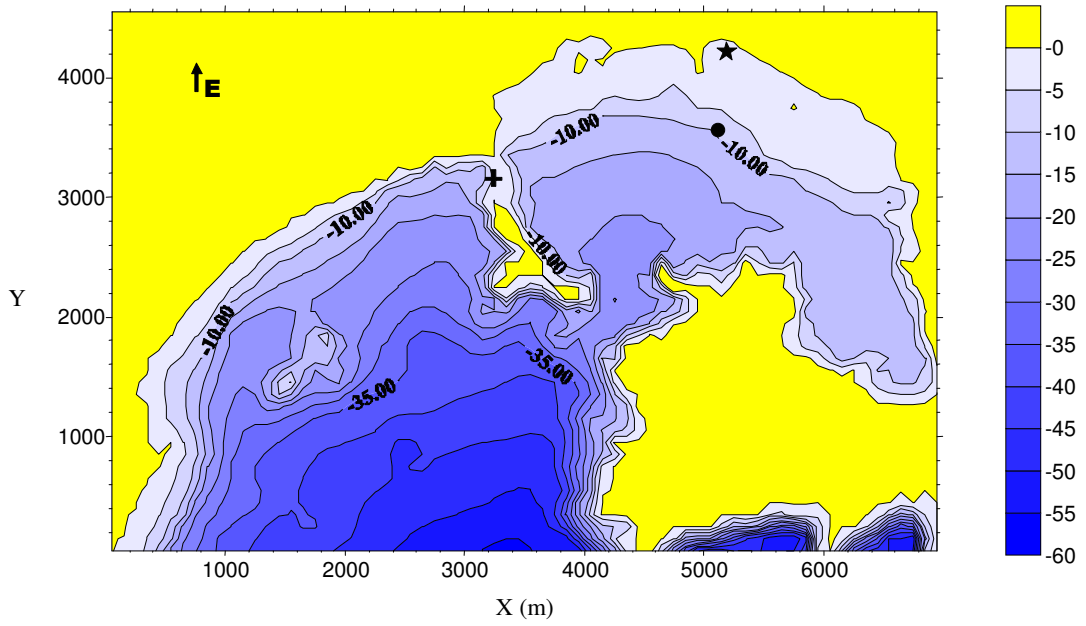


(b)

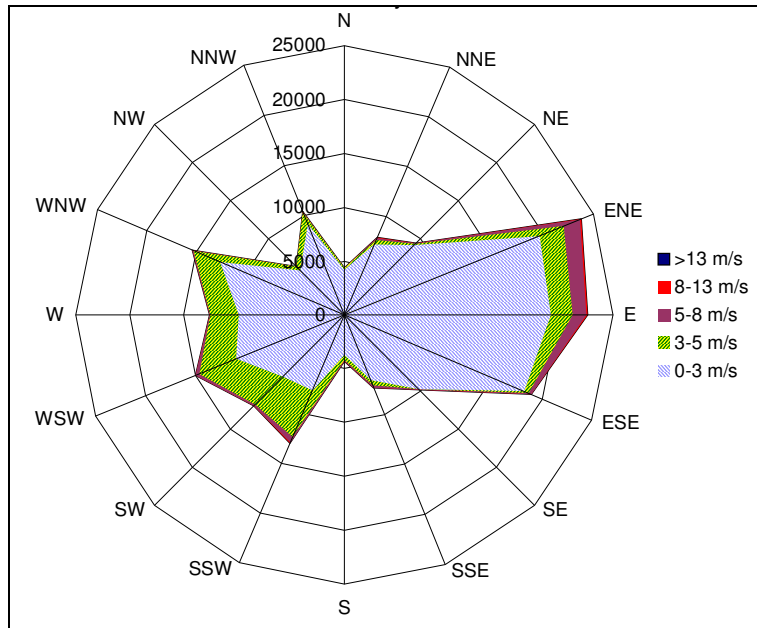
Şekil 5.28. (Devam) (a) Sayısal modelin hız düzeni (b) hızlar *:deney sonuçları, sayısal model sonuçları Eğri I: yüzey, Eğri II: yüzeyden 1 cm aşağısı, Eğri III: yüzeyden 2 cm aşağısı [20,23]

5.4. Sayısal Modelin Fethiye Körfezi'ne Uygulanması

Sayısal model, Fethiye Körfezi'ne uyarlanmıştır. Körfezdeki su derinlikleri Şekil 5.29'da görülmektedir. Sistemde 100 x 100 m kare bir çözüm ağı kullanılmıştır. Rüzgar karakteristiği, Fethiye Meteoroloji İstasyonunun 1980 ile 2002 yılları arasındaki verileri kullanılarak belirlenmiştir. Rüzgar analizleri, 7 m/s'den yüksek rüzgar hızları için kritik rüzgar yönünün WNW-WSW aralığında olduğunu göstermektedir (Şekil 5.30) [20,23].



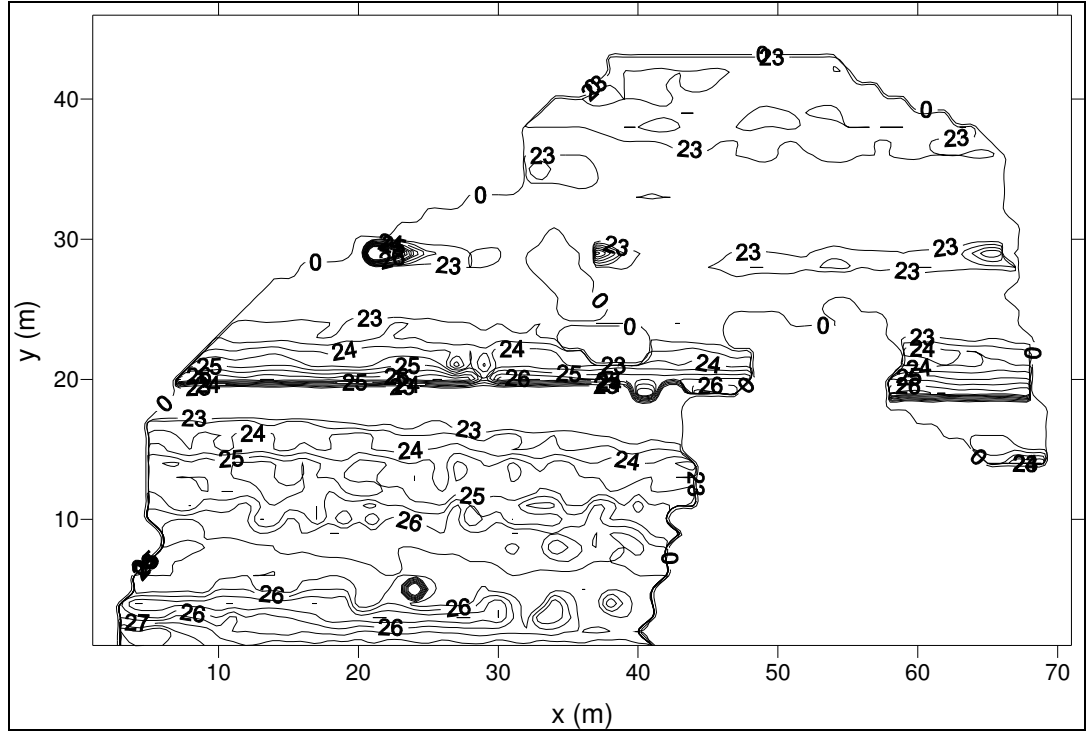
Şekil 5.29. Fethiye körfezinin su derinlikleri ve ölçüm yerleri; +: İstasyon I, •: İstasyon II, ★: İstasyon III (Su yüzeyi ölçüm noktası)



Şekil 5.30. Fethiye meteoroloji istasyonunda 1980 ile 2002 yılları arasında ölçülen rüzgar verileri kullanılarak çizilen rüzgar gülü

Sayısal benzeştirmelerde, ilk olarak, mevcut yatay yoğunluk değişimi etkisi ile oluşabilecek akıntı düzeni incelenmiştir. Bu amaçla, rüzgar etkisinin olmadığı düşünülmüş, sahada ölçülen tuzluluk değişimi (Şekil 5.31) başlangıç ($t=0$) koşulu

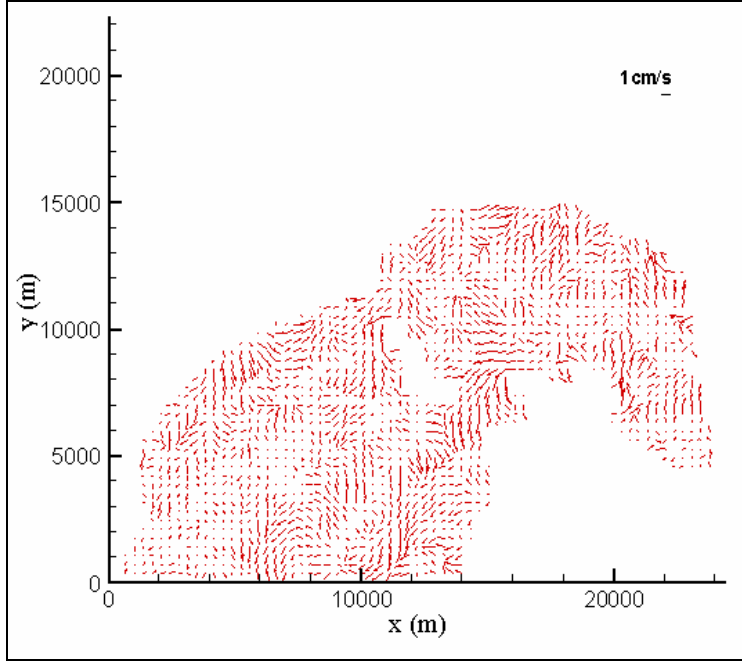
olarak tanımlanmış ve yatay yoğunluk değişimi etkisiyle su tabanı ve su yüzeyinde oluşan çevrinti düzenleri Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te verilmiştir.



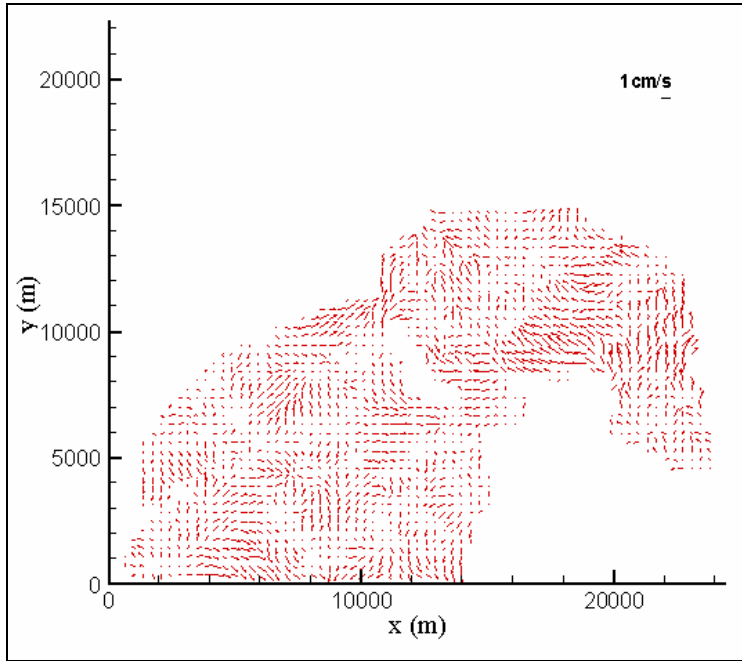
Şekil 5.31. Fethiye Körfezi'nde tuzluluk dağılımı

5.4.1. Yoğunluk farklılığından kaynaklanan çevrinti düzeni

Körfezdeki çalkantı sistemi yalnızca yoğunluk değişimine bağlı olarak incelenmiş, 2.,4.,6. ve 8. saatlerde yüzey ve tabandaki çalkantı sistemi incelenmiştir (Şekil 5.32 ve Şekil 5.33).

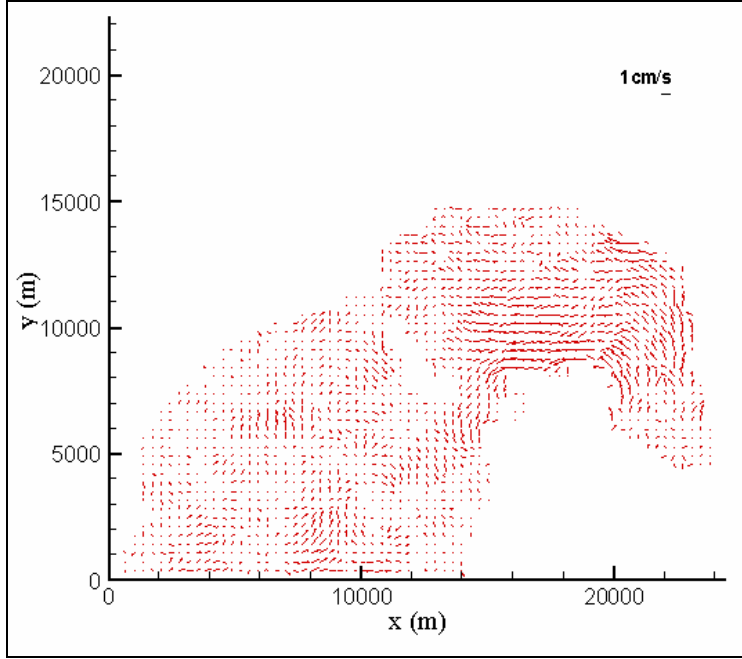


(a)

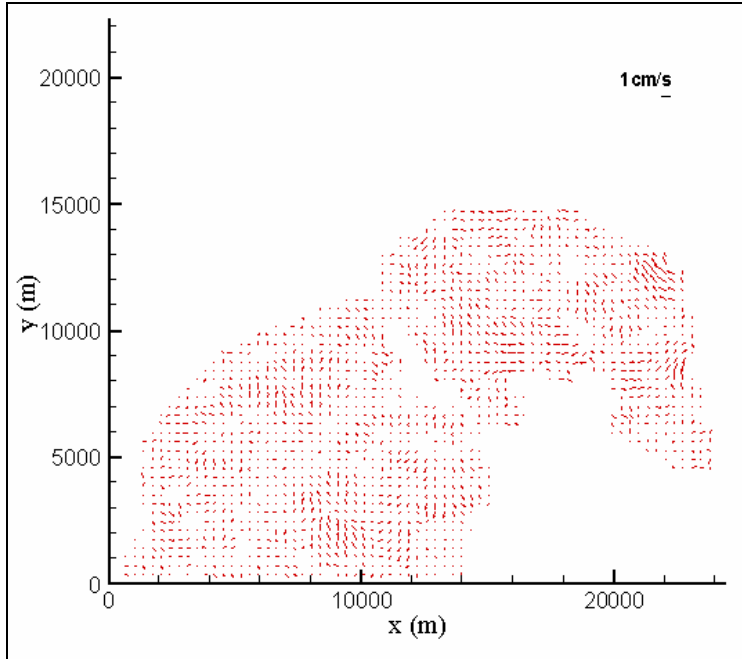


(b)

Şekil 5.32. Yüzeyde yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda

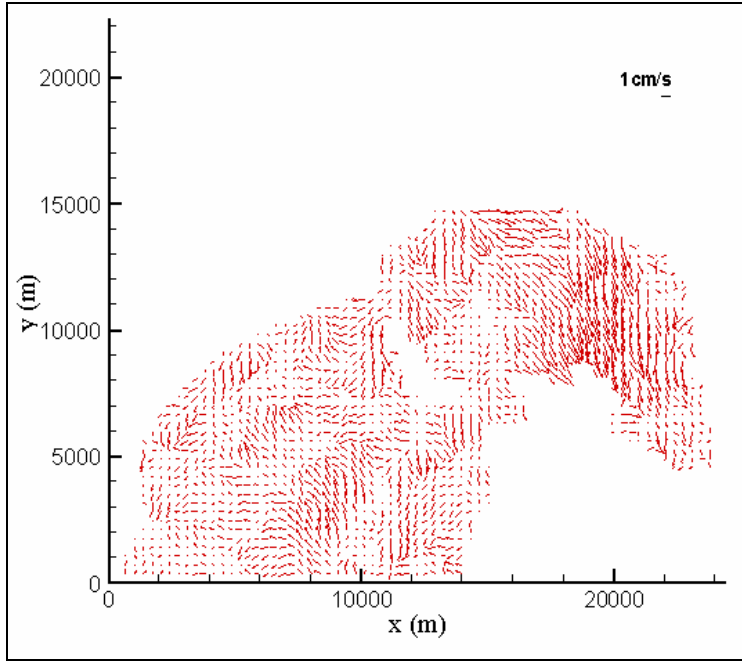


(c)

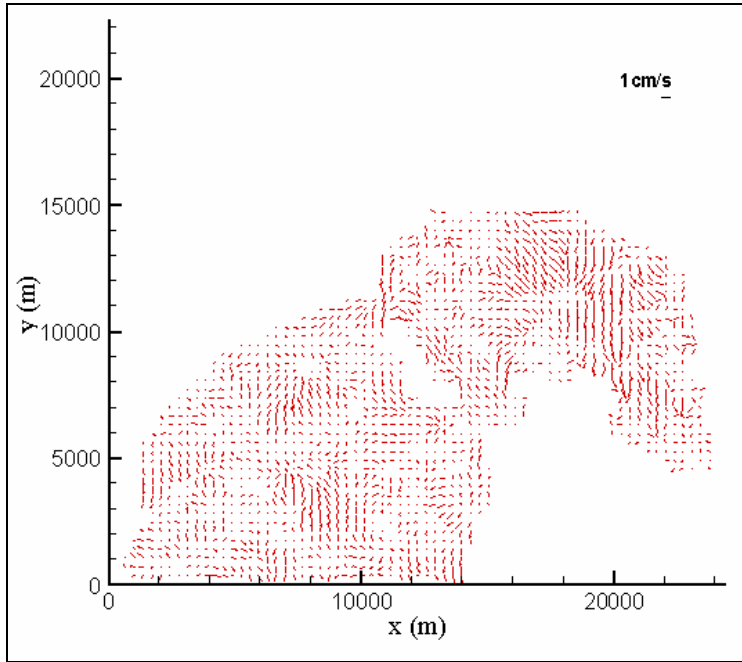


(d)

Şekil 5.32. (Devam) Yüzeyde yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda

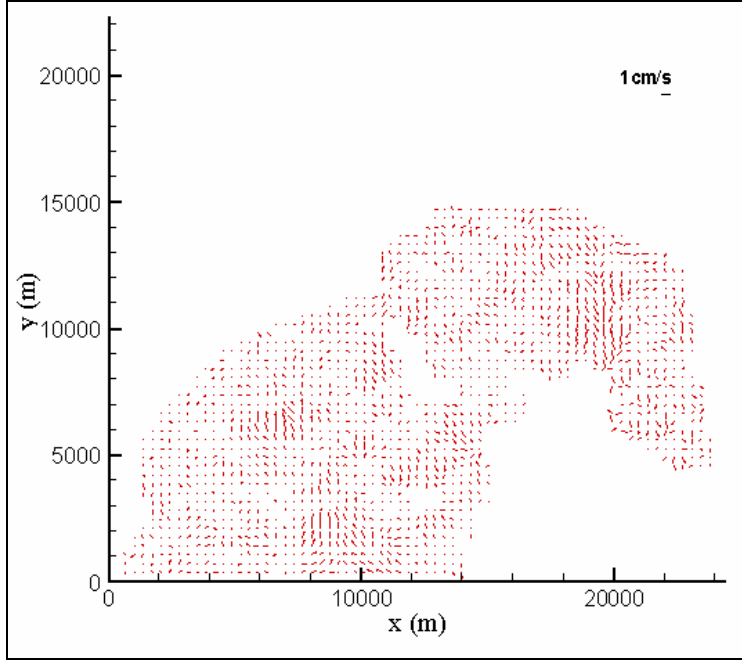


(a)

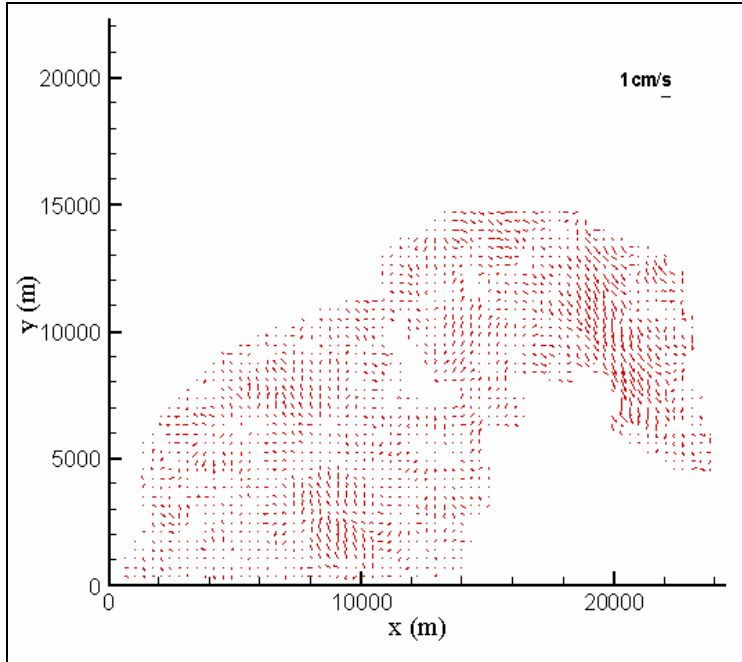


(b)

Şekil 5.33. Tabanda yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda



(c)

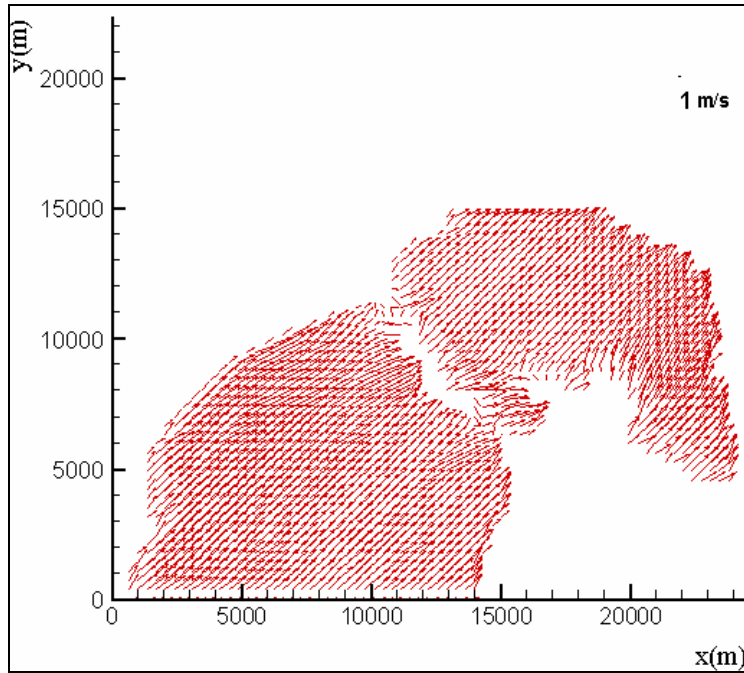


(d)

Şekil 5.33. (Devam) Tabanda yoğunluk değişimine bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda

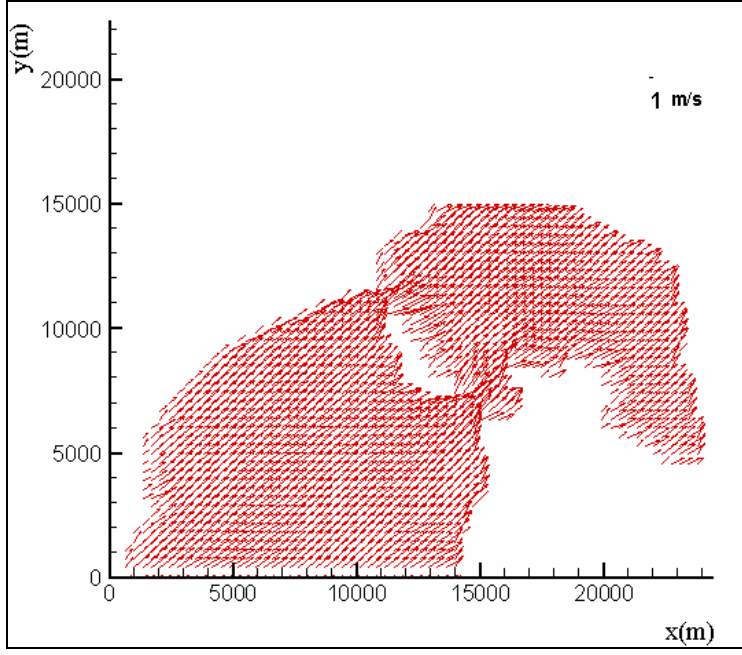
5.4.2. Yoğunluk farklılığı ve rüzgardan kaynaklanan çevrinti düzeni

Sayısal benzeştirmelerde, ikinci olarak, mevcut yatay yoğunluk değişimi etkisinin yanısıra rüzgarın kesme kuvveti etkisiyle ile oluşabilecek akıntı düzeni incelenmiştir. Bu amaçla, yüzey suları, WNW yönünden 10 m/s hızla sürekli esen rüzgarın kesme kuvvetiyle hareketlendirilmiştir. Sahada ölçülen tuzluluk değişimi, başlangıç ($t=0$) tuzluluk dağılımı olarak tanımlanmıştır. Rüzgar kuvveti ve yatay yoğunluk değişimi etkisiyle, 2., 4., 6. ve 8. saatlerde, su tabanı ve su yüzeyinde oluşan çevrinti düzenleri Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’de verilmiştir.

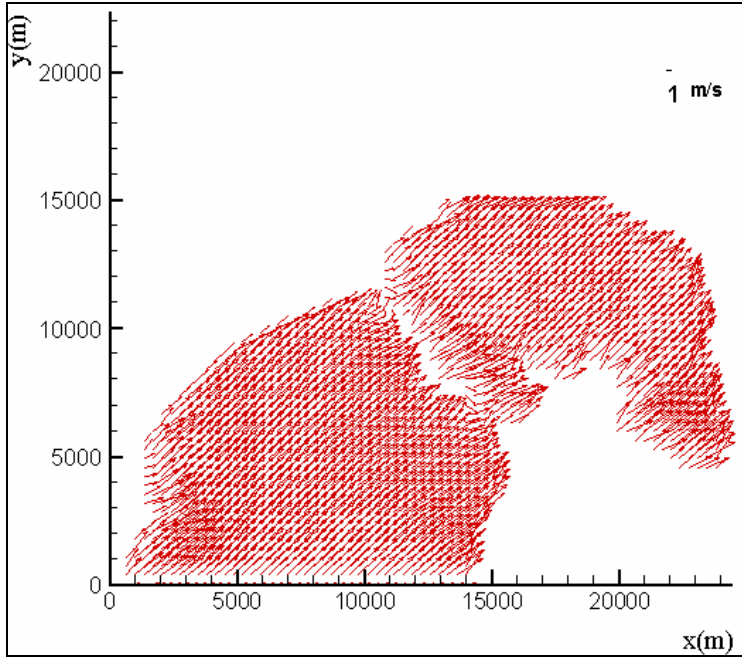


(a)

Şekil 5.34. Yüzeyde yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda

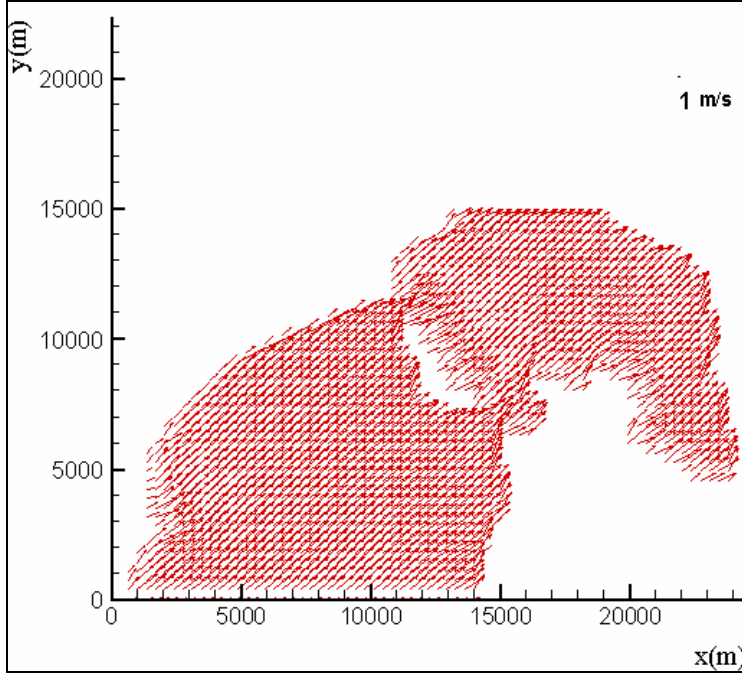


(b)



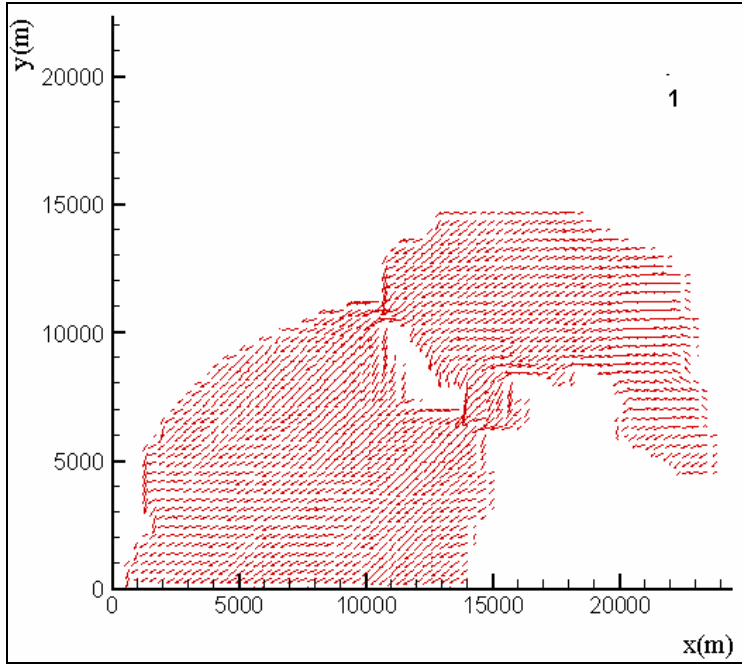
(c)

Şekil 5.34. (Devam) Yüzeyde yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti
 (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda
 (d) 8.saat sonunda

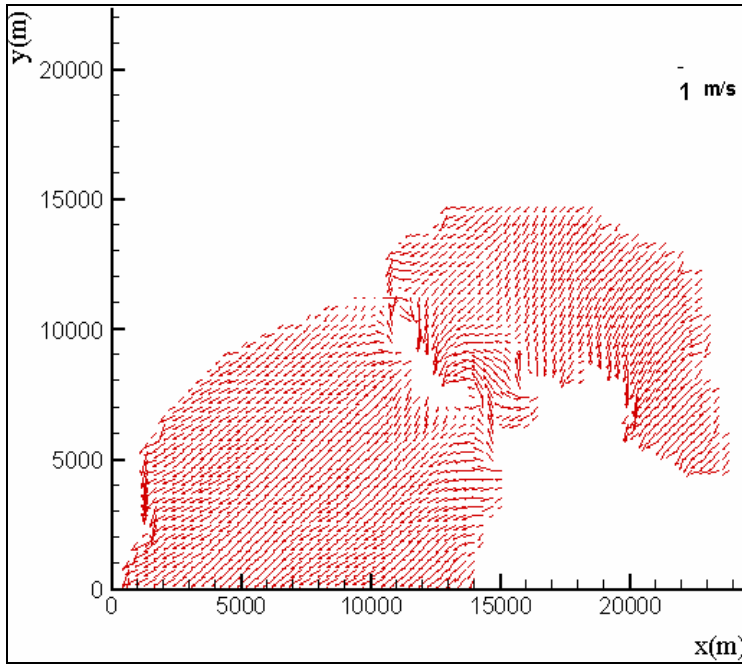


(d)

Şekil 5.34. (Devam) Yüzeyde yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti
 (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda
 (d) 8.saat sonunda

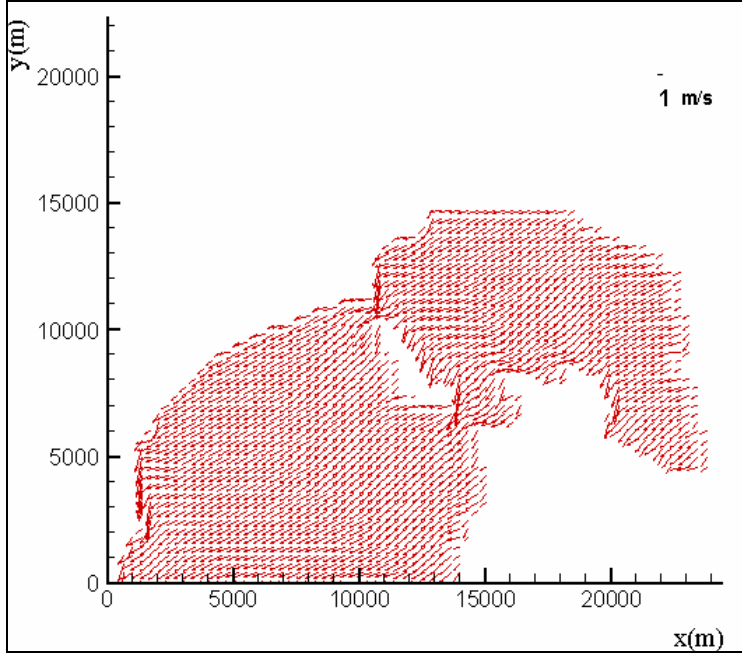


(a)

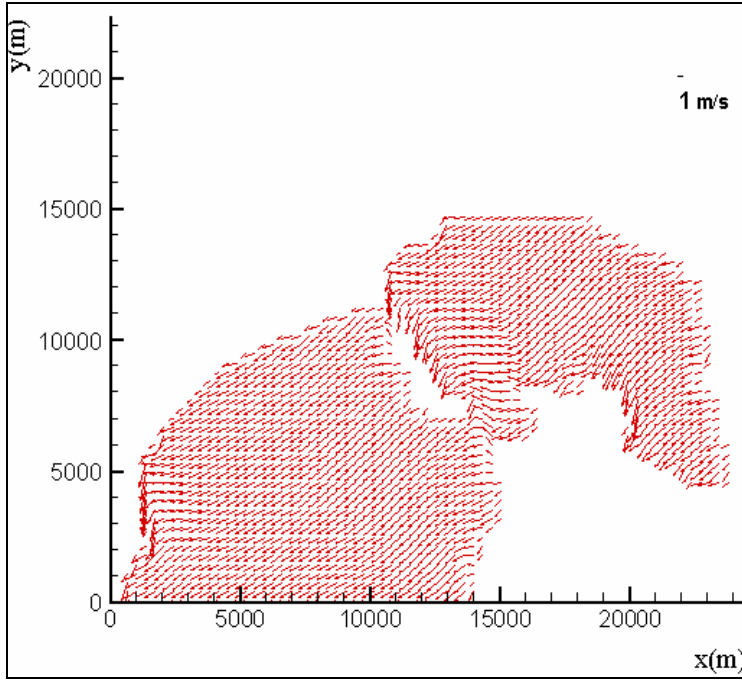


(b)

Şekil 5.35. Tabanda yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda (d) 8.saat sonunda



(c)



(d)

Şekil 5.35. (Devam) Tabanda yoğunluk değişimine ve rüzgara bağlı oluşan çevrinti
 (a) 2.saat sonunda (b) 4.saat sonunda (c) 6.saat sonunda
 (d) 8.saat sonunda

Yoğunluk etkisi ile oluşan çevrinti düzeni incelendiğinde (Şekil 5.32, Şekil 5.33), hesaplamaların ilk ikinci saatinde körfez girişinde lokal çevrintiler olduğu gözlemlenmektedir. Farklı yoğunluktaki suyun körfez içine hareket etmesiyle çevrinti oluşan lokal noktalar da körfez içine doğru kaymaktadır. Hesaplamaların ilerleyen zaman adımlarında, 6. ve 8. saatlerde yatay yoğunluk değişimi ve çevrinti hızları azalmakta ve çevrinti belirginliği kaybolmaktadır.

Yoğunluk farklılığının yanı sıra rüzgar kuvvetinin çevrinti oluşumuna etkisi Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’de incelenmiştir. 10m/s kuvvetinde rüzgar estiği kabulü ile yapılan hesaplamalarda elde edilen akıntı hızlarının yalnızca yoğunluk farklılığından kaynaklanan akıntı hızlarından yüzeyde yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bu farklılık tabana doğru azalmaktadır. Tabanda, rüzgarla oluşan akıntılar yaklaşık 2 kat fazlalık göstermektedirler. İlk ikinci saat sonunda (Şekil 5.34.a) baskın rüzgar yönü olan ENE yönünden esen rüzgar kuvvetinin etkisi ile yüzeyde ENE ‘e doğru akıntı oluşmaktadır. Bununla beraber tabanda WSW yönünde körfez dışına doğru bir akıntı oluşmaktadır. Zamanla değişmeyen akıntı düzenine yaklaşık 8 saat sonunda ulaşılmaktadır. Rüzgarla oluşan akıntı düzeni, derinlik boyunca tüm tabakalarda, yoğunluk değişimi etkisiyle oluşan akıntı düzeninden daha baskın olmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kıyı sistemlerinde görülen büyük ölçekli su akıntılarının en önemli özelliği, yatay ve düşey yönlerdeki akım büyüklüklerinin birbirinden farklı olmasıdır. Büyük ölçekli su akıntıları, özellikle lagün, haliç, körfez gibi, yüzey alanı/ortalama su derinliği oranı büyük olan kıyı sistemlerinde oluşmaktadır. Yerçekimi, ay ve güneşin çekim etkisiyle oluşan gel-git akıntıları, su yüzeyini etkileyen rüzgar kuvvetiyle oluşan akıntılar ve yoğunluk farklılaşmasından kaynaklanan akıntılar, büyük ölçekli akıntılardır. Bu çalışmada, kıyısız su alanlarındaki büyük ölçekli akıntıları benzeştirebilen üç boyutlu bir sayısal model geliştirilmiş ve yoğunluk etkenli akıntılar incelenmiştir.

Kıyı sistemlerindeki su hareketleri, su alanı yüzeyine etkileyen rüzgar kuvveti ve sıcaklık-tuzluluk farklılıkları sonucu oluşan su yoğunluğu değişimlerine neden olan günlük ve mevsimlik iklim değişikliklerinden önemli oranda etkilenmektedir. Bu değişiklikler, düşey eksen ve yatayda belirgin tabakalar oluştururlar.

Kıyı alanlarındaki su, tuz ve ısı dengesi gibi fiziksel oluşumlar başlıca beş jeomorfolojik faktörden etkilenirler: Kıyı alanı ağzının yapısı, kıyı alanının büyüklüğü, etkin rüzgar yönlerine göre kıyı alanının konumu, dip topografyası ve ortalama derinlik. Su alanı girişinin boyutları, çözünmüş ve askı maddeleri ile su alışverişini kontrol eder. Kıyı alanı-açık deniz alışverişi, suyun yenilenme süresini, kıyı alanı içindeki kalış süresini ve dolayısıyla da suyun kalitesini belirler. Büyük su alanlarında rüzgar etkisi, özellikle kıyı alanının uzun eksen, etkin rüzgar yönüyle aynı doğrultuda olduğunda oldukça belirgindir. Dip topografyası, gelgit, rüzgar veya yoğunluk etkenli çevrintileri yönlendirir ve taşınımı kontrol eder. Ortalama derinlik ise, yukarıda belirtilen etkenler içinde en önemli olanıdır. Kıyısız su alanları, sığ su sistemleri olduklarından, ısınma ve soğumaya karşı oldukça duyarlıdırlar. Dış etkenler sonucu oluşan su tabakalarındaki karışmalar, bu sistemlerde su tabanına kadar ulaşabilmekte ve düşey tabakalanmayı tamamen yok etmektedir. Bunun sonucu olarak, genellikle kıyısız su alanlarında yoğunluk değişimleri yatay düzlemde düşey oranla daha büyüktür.

Su alanı yüzeyindeki yoğunluk, buharlaşma ve soğuma ile artmakta; ısınma, su buharı yoğunlaşması, yağış ve kaynak suyu akışları ile azalmaktadır. Güneş ışınlarının su yüzeyini ısıtması ile azalan yoğunluk, düşey yönde dengeli bir tabakalaşma oluşturur ve düşey karışımı azaltır. Su yüzeyinin gece soğuması veya buharlaşma ile yoğunluğun artması, dengesiz yoğunluk farklılaşması oluşturur. Sonuç olarak, su yüzeyindeki yüksek yoğunluklu tabaka derine doğru batma eğilimi gösterir. Bu su yoğunluğu hareketi düşey çevrıntilere sebep olur. Böylece, farklı derinliklerdeki ısınma ve karışma farklılıklarının neden olduğu yatay yoğunluk değişimleri büyük ölçekli su çevrıntilerine yol açar.

Kıyı sistemlerinin su alanı yüzeyinde çekme gerilmesi yaratan rüzgar kuvveti, yüzey tabakasını sürükleyerek, rüzgar yönündeki kıyı kenarında su seviyesinin yükselmesine, karşı yöndeki kıyıda ise seviyenin düşmesine neden olur. Rüzgar yönünde oluşan bu su düzeyi eğimi, barotropik basınç değişimi meydana getirerek, su tabanına yakın tabakalarda, yüzey tabakasının sürüklenme yönüne karşıt yönde bir akıntı oluşturur. Sonuç olarak, yüzeydeki su tabakasını sürükleyerek alt tabakaların sürtünmeden dolayı ters yönde akmasına yol açan rüzgar kuvveti, düşeyde güçlü bir su çevrintisi yaratır. Bu çevrinti hareketi, düşeydeki momentum değişimini artırarak, derinlik boyunca yoğunluk farklılaşmasından kaynaklanan akıntıların azalmasına ve bu sayede, yatay düzlemdeki karışmanın artmasına neden olur. Yatay düzlemde akıntılar, yüksek su yoğunluluğundan düşük su yoğunluluğuna doğrudur.

Derinlik boyunca dengeli yoğunluk değişiminin olduğu bir su kütesinin serbest yüzeyine etkiyen rüzgar kuvvetiyle oluşan düşey çevrinti, derinlik boyunca sabit su yoğunluğuna sahip bir alanda oluşacak çevrintiden daha zayıftır. Derinlik boyunca dengeli yoğunluk değişimi düşey karışım kuvvetini ve yayılımını azaltmaktadır. Yatayda rüzgarın esme yönüne dik yönde azalan bir yoğunluk değişimi de yataydaki karışım uzunluğu azaltarak hızların sönümlenmesine, çevrıntilerin yavaşlamasına neden olur. Yoğunluk değişimi gradyanının artmasıyla bu etki de kuvvetlenir. Yatayda rüzgarın esme yönünde azalan bir yoğunluk değişimi ise, karışım uzunluluğunu artırarak rüzgar çevrıntilerini hızlandırıcı yönde etki eder.

Sığ su sistemlerinde, dip sürtünme tabakası, düşey tabakalanmanın alışılmışın dışında çok güçlü olduğu bölgeler dışında, su yüzeyine kadar ulaşmaktadır. Böylece akıntılar, etken olan kuvvetin sona ermesi ile bir kaç saat içinde sönümlenmektedirler. Başka bir deyişle, kıyısız su alanlarında belirgin akıntı düzenlerinin oluşması için kuvvetlerin sürekli ve bölgesel etkenli olması gerekmektedir. Örneğin, gelgit kuvveti periyodik olarak sürekli bir etkendir, ancak gelgit hareketleri açık denizle olan su alışverişinden kaynaklandığından, Fethiye Körfezi gibi açık denize dar girişlerle bağlanan su alanlarında, etkisi oldukça azalmaktadır. Rüzgar kuvveti ise, bölgesel olduğundan su alanını doğrudan etkilemektedir. Bunun sonucu olarak, kısa dönemde, bölgesel rüzgar etkisine karşı oluşan net akış baskın olarak gözlenmektedir. Yoğunluk etkenli akıntıların, Fethiye Körfezi'nde daha sığ olan iç körfez bölgesinde ve su tabanına yakın bölgelerde daha etkili olduğu görülmüştür. Modele dalga etkenli akıntıların etkisinin de ilavesi ile model, kıyıya yakın kırılma bölgesi çevrintilerinin tahmini için de uygulanabilir olacaktır.

Kıyısız su alanlarında, su kalitesi, su ve tuz dengesine, kıyısız çevrintilere ve açık denizle gerçekleşen su alışverişine bağlıdır. Kıyısız su alanlarında kıyı yönetimi ve planlaması, ancak su alanının fiziksel, kimyasal, jeolojik ve ekolojik dinamiğinin anlaşılması ile mümkündür. Bu çalışmada geliştirilen üç boyutlu sayısal model bu çalışmalarda güvenilir bir araç olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Özsoy E., Beşiktepe,Ş., Latif,M.A., “ Türk Boğazlar Sisteminin Oşinografisi”, **ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü**, Mersin, 1-25 (2001).
2. Özgökmen,T.M., Fischer,P.F., Duan,J., Iliescu,T., “ Three-Dimensional Turbulent Bottom Density Currents from a High-Order Nonhydrostatic Spectral Element Model”, **Journal of Physical Oceanography**, American Meteorological Society, 34:2006-2026 (2004).
3. Who&Danıda (World Health Organization and Danish International Development Agency Amolieged) , “ Coastal Pollution Control Volume I “, **Polyteknisk Forlag/ Special-Trykkeriet Viborg**, Danimarka,10-50 (1976).
4. Task Committee on Preparation of Sedimentation Manual Committee on Sedimentation, ‘Density Currents’, **Journal of Hydraulics Division**, ASCE, 89(HY5):77-87 (1963).
5. Fietz,T.R., Wood,I.R., ‘Three Dimensional Density Currents’, **Journal of Hydraulics Division**, ASCE, 93(HY6):1-23 (1967).
6. Luettich,A.R., Sturm,T.’Termally Induced Density urrents in Nonrectangular Sidearms’, **Journal of Hydraulic Engineering** , ASCE, 115(10):1332-1351 (1989).
7. Lyn,D.A., Stamou,A.I., Rodi,W., ‘Density Currents and Shear-Induced Flocculation in Sedimentation Tanks’ , **Journal of Hydraulic Engineering** , ASCE, 118(6): 849-867 (1992).
8. Guetter,A.K., Jain,S.C., ‘Analitical Solution For Density Currents in Settling Basins’, **Journal of Hydraulic Engineering** , ASCE, 117(3): 324-345 (1991).
9. Malm,J., Ziltinkevich,S., ‘Temperature Distribution and Current System in a Convectively Mixed Lake’, **Boundary Layer Meteorology**, Kluwer Academic Publishers, 71:219-234 (1994).
10. Shankar,N.J., Cheong,H.F., Sankaranarayanan,S., ‘ Multilevel Finite –Difference Model for Three Dimensional Hydrodynamic Circulation’, **Journal of Ocean Engineering**, Elsevier Science Ltd.,24(9):785-816 (1997).
11. Langenberg,H., ‘ Interactions of Wind and Density Driven Currents in North Sea ROFIs-a Model Study’ **Journal of Marine Systems**, Elsevier Science Ltd.,12: 157-170 (1997).
12. Gross,E.,S., Koseff,J.,R., Monismith,S.G., ‘Three Dimensional Salinity Simulations of South San Francisco Bay’, **Journal of Hydraulic Engineering** , ASCE, 125(11): 1199-1209 (1998).

13. Bournet,P.E., Dartus,D., Tassin,B., Vinçon-Leite,B., ‘Numerical Investigation of Plunging Density Currents’, *Journal of Hydraulic Engineering* , ASCE, 125(6): 584-594 (1999).
14. Cenedese,C., Whitehead,J.,A.,Ascanelli,T.,A.,“ Density Current Down a Slope in a Rotating Fluid”, *International Symposium on Environmental Hydraulics*, Arizona,1-6 (2001).
15. De Velasco,G.,G., Winant C.,D.“ Wind and Density Driven Circulation in a Well-Mixed Inverse Estuary”, *Journal of Physical Oceanography*, American Meteorological Society, 34:1103-1116 (2004).
16. Wells,M.G., Wettlaufer,J.,S.,“ Two-Dimesional Density Currents in a Confined Basin”, *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, Taylor and Trancis Group Ltd., 99:199-218 (2005).
17. Ippen,A.,T., “ Estuary and Coastline Hydrodynamics “, *Mc Graw- Hill Book Company, Inc* ,USA,60-120 (1966).
- 18.Koawalik,Z.,Murty,T.S., “ Numerical Modelling of Ocean Dynamics”,*World Scientific Pte.Co Ltd.*,USA,130-300 (1995).
19. Munson,B.,R., Young,D.,F., Okiishi,T.,H., “ Fundementals of Fluid Mechanics “, *John Wiley & Sons Inc.*,USA,100-285 (1994).
20. Balas Lale ve Özhan Erdal, “Three Dimensional Modelling of Stratified Coastal Waters”, *Estuarine, Coastal ve Shelf Science*, Academic Press, UK, 56:75-87(2002).
21. Alavian,V. , Jirka,G.H., Denton,R.A., Johnson,M.C., Stefan,H.G., ‘Density Currents Entering Lakes and Reservoirs’, *Journal of Hydraulic Engineering* , ASCE, 118(11): 1464-1489 (1992).
22. Fredsoe,J., Deigaard,R., “Mechanics of Coastal Sediment Transport “, *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*,Singapore,1-225 (1995).
- 23.Balas Lale ve Özhan Erdal, “A Baroclinic Three Dimensional .Numerical Model Applied to Coastal Lagoons”, *Lecture Notes in Computer Science*, 2658:205-212(2003).
24. Dean,G.,R., Dalrymple,R.,A., “ Water Wave Mechanics For Engineers and Scientists “, *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*, Singapore,6-210 (1998).
25. Gu,R., Chung, S.W., ‘Reservoir Flow Sensitivity to Inflow and Ambient Parameters.’, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 124(3):15967 (1997).

26. WHO & DANIDA (World Health Organization and Danish International Development Agency Amolieged) , “ Coastal Pollution Control Volume III “, *Polyteknisk Forlag/ JJ-Trykteknis*, Danimarka, 843-864 (1978).

EKLER

EK-1 Ferdinando Luigi Marsigli'nin kitabının kapağı

OSSERVAZIONI INTORNO AL BOSFORO TRACIO

OVERO
CANALE DI CONSTANTINOPOLI

Rappresentate in Lettera
ALLA SACRA REAL MAESTA

D I
CRISTINA
REGINA DI SVEZIA

D A
LVIGI FERDINANDO
MARSILII.

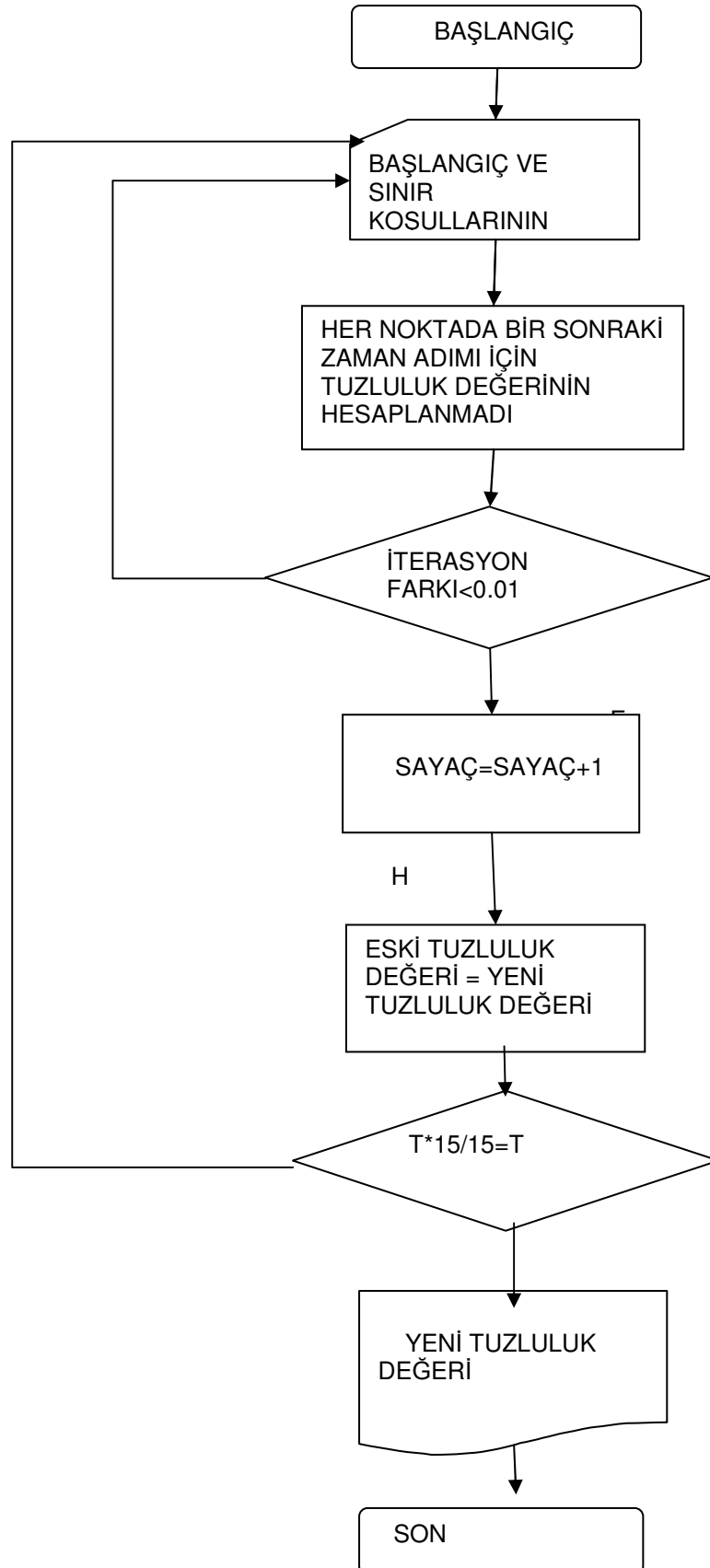


In Roma, Per Nicolò Angelo Tinasfi 1681.
Con Licenza de' Superiori.



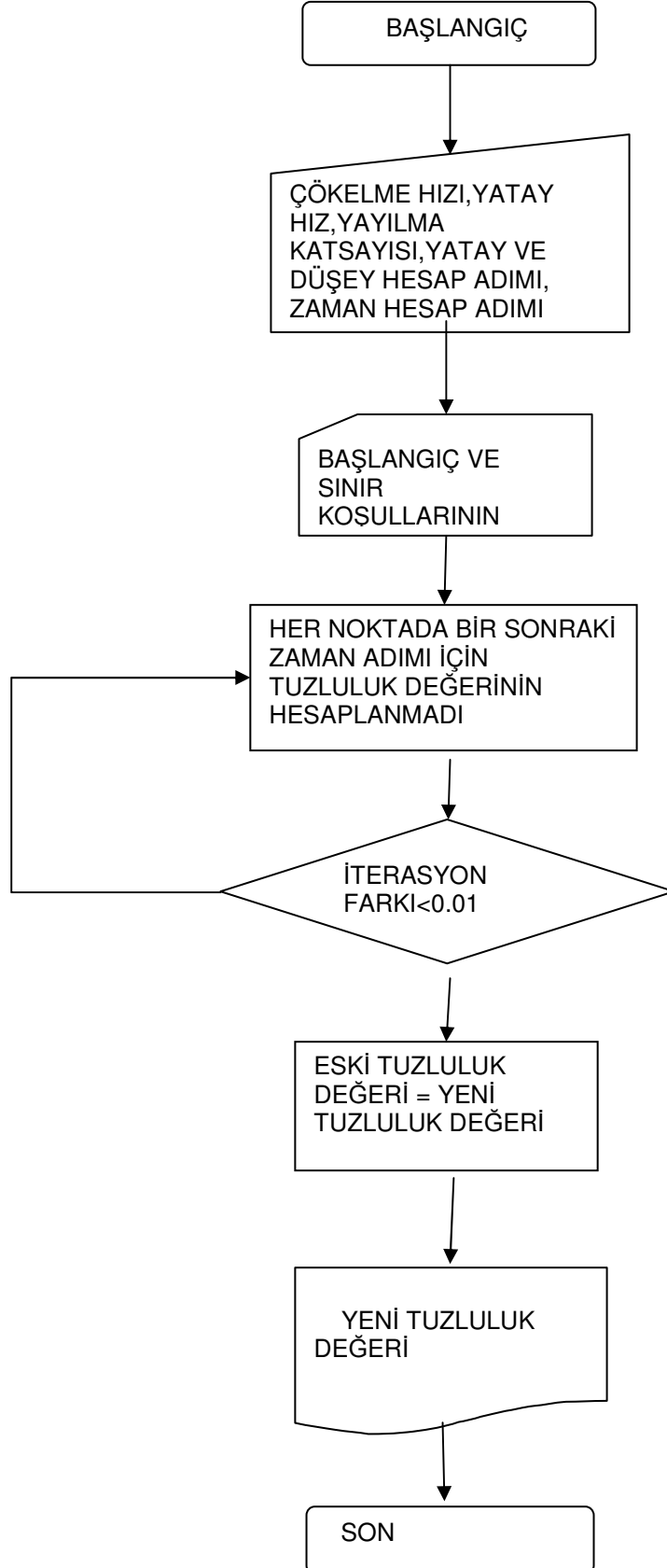
EK-2 Kullanılan programların akış şemaları

TEK BOYUTLU TUZLULUK YAYILIMI İÇİN YAZILMIŞ FORTRAN PROGRAMININ AKIŞ ŞEMASI



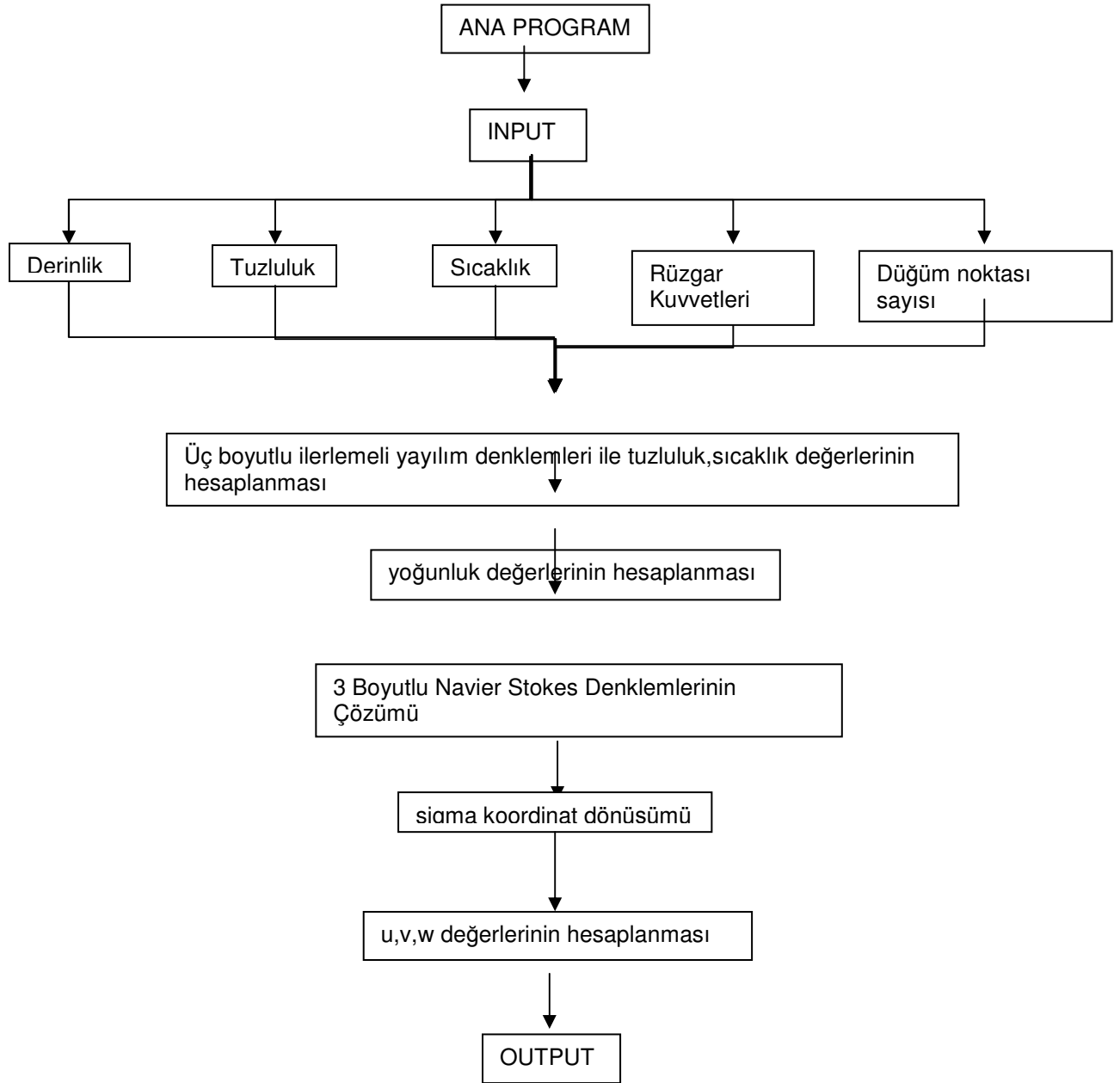
EK-2 (Devam) Kullanılan programların akış şemaları

İKİ BOYUTLU TUZLULUK YAYILIMI İÇİN YAZILMIŞ FORTRAN PROGRAMININ AKIŞ ŞEMASI



EK-2 (Devam) Kullanılan programların akış şemaları

ÜÇ BOYUTLU TUZLULUK YAYILIMI İÇİN YAZILMIŞ FORTRAN PROGRAMININ AKIŞ ŞEMASI



EK-3 Sayısal analiz için kullanılabilecek çözüm yöntemlerinin stabilite analizi

1. EXPLICIT METOD (FTCS):

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{S_j^{t+1} - S_j^t}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial S}{\partial z} = \frac{S_{j+1}^t - S_{j-1}^t}{2 * \Delta z}$$

$$\Rightarrow \frac{S_j^{t+1} - S_j^t}{\Delta t} = -w * \frac{S_{j+1}^t - S_{j-1}^t}{2 * \Delta z}$$

$$\frac{w * \Delta t}{2 * \Delta z} = C$$

$$\Rightarrow S_j^{t+1} = S_j^t - C[S_{j+1}^t - S_{j-1}^t]$$

Von-Neumann Stabilite Analizi:

$$S^{t+1} e^{I\theta j} = S^t e^{I\theta j} - C [S^t e^{I\theta(j+1)} - S^t e^{I\theta(j-1)}]$$

$$S^{t+1} = S^t [1 - C(e^{I\theta} - e^{-I\theta})]$$

$$S^{t+1} = S^t [1 - 2CI \sin \theta]$$

$$\Rightarrow G = 1 - I(2C \sin \theta)$$

$$|G|^2 = 1 + 4C^2 \sin^2 \theta$$

$$|G|^2 < 1 \Rightarrow 1 + 4C^2 \sin^2 \theta < 1$$

$$4C^2 \sin^2 \theta < 0 \rightarrow \text{hiçbir zaman}$$

$$C > 0, \sin^2 \theta > 0$$

$\Rightarrow$ Explicit method stabil değildir.

EK-3 (Devam) Sayısal analiz için kullanılabilecek çözüm yöntemlerinin stabilite analizi

2. IMPLICIT FIRST UPWIND DIFFERENCING METHOD :

$$\Rightarrow \frac{S_j^{t+1} - S_j^t}{\Delta t} = -w^* \frac{S_j^t - S_{j-1}^t}{\Delta z}, \quad \frac{w^* \Delta t}{\Delta z} = C$$

$$\Rightarrow CS_{j-1}^{t+1} - (C+1)S_j^{t+1} = -S_j^t$$

Von-Neumann Stabilite Analizi:

$$S^{t+1}(Ce^{-i\theta} - (C+1)) = S^t$$

$$G = \frac{1}{(C+1) - C(\cos \theta - i \sin \theta)}$$

$$|G|^2 = \frac{1}{(C(1 - \cos \theta) + 1)^2 + \sin^2 \theta}$$

$$|G|^2 < 1 \Rightarrow C^2(1 - \cos \theta)^2 + 2C(1 - \cos \theta) + \sin^2 \theta > 1$$

$$\cos^2 \theta (C^2 - 1) + \cos \theta (-2C^2 - 2C) + C^2 + 2C + 1 > 0$$

$$\cos \theta = 1 \Rightarrow 0 > 0$$

$$\cos \theta = -1 \Rightarrow C^2 - 1 + 2C^2 + 2C + C^2 + 2C + 1 > 0$$

$$4C(C+1) > 0 \Rightarrow C > 0, C > -1$$

$\Rightarrow$ Implicit first upwind differencing methodu tüm zaman adımlarında stabildir.

EK-3 (Devam) Sayısal analiz için kullanılabilecek çözüm yöntemlerinin stabilite analizi

3. CRANK-NICHOLSON METHODU :

$$\frac{S_j^{t+1} - S_j^t}{2 * \frac{\Delta t}{2}} = -w * \frac{1}{2} \left[\frac{S_{j+1}^{t+1} - S_{j-1}^{t+1}}{2 * \Delta z} + \frac{S_{j+1}^t - S_{j-1}^t}{2 * \Delta z} \right] \quad \frac{w * \Delta t}{4 * \Delta z} = C$$

$$\Rightarrow S_j^{t+1} + CS_{j+1}^{t+1} - CS_{j-1}^{t+1} = S_j^t - CS_{j+1}^t + CS_{j-1}^t$$

Von-Neumann Stabilite Analizi:

$$S^{t+1} [e^{I\theta j} + Ce^{I\theta(j+1)} - Ce^{I\theta(j-1)}] = S^t [1 - Ce^{I\theta(j+1)} + Ce^{I\theta(j-1)}]$$

$$S^{t+1} (1 + Ce^{I\theta} - Ce^{-I\theta}) = S^t (1 - C(e^{I\theta} - e^{-I\theta}))$$

$$\frac{S^{t+1}}{S^t} = G = \frac{1 - I2C \sin \theta}{1 + I2C \sin \theta}$$

$$\Rightarrow |G|^2 = \frac{1 - 24C^2 \sin^2 \theta + 16C^4 \sin^4 \theta}{1 + 8C^2 \sin^2 \theta + 16C^4 \sin^4 \theta}$$

$$|G|^2 < 1 \Rightarrow 1 - 24C^2 \sin^2 \theta + 16C^4 \sin^4 \theta < 1 + 8C^2 \sin^2 \theta + 16C^4 \sin^4 \theta$$

$$\Rightarrow C^2 \sin^2 \theta > 0$$

$$C^2 > 0, \sin^2 > 0$$

$\Rightarrow$ Crank Nicholson Methodu tüm zaman adımlarında stabil bir yöntemdir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TUNABOYLU, Senem
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.03.1979 Divriği
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (532) 764 47 15
e-mail : senemtunaboyle@yahoo.com

Eğitim

Derece

Yüksek lisans

Lisans

Lise

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/İnş. Müh.Bölümü

Gazi Üniversitesi/İnş. Müh.Bölümü

Ankara Lisesi

Mezuniyet tarihi

2006

2003

1997

İş Deneyimi

Yıl

2005-2006

2006

Yer

Kam Ankara Beton A.Ş.

Ulaştırma Bkn./DLH Gen Müd.

Görev

Üretim Planlama Şefi

İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, resim