

**SICAK SU DEŞARJINDA
UZAK ALAN KARIŞIMININ MODELLENMESİ**

İbrahim ÖZYÜREK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2009

ANKARA

İbrahim ÖZYÜREK tarafından hazırlanan SICAK SU DEŞARJINDA UZAK ALAN KARIŞIMININ MODELLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr., Lale BALAS
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşen ERGİN
İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr., Lale BALAS
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr., Can BALAS
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr., Ahmet Cevdet YALÇINER
İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr., Asu İNAN
Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması, Gazi Üniversitesi

Tarih: 29/06/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail Ünsal
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

İbrahim Özyürek

SICAK SU DEŞARJINDA UZAK ALAN KARIŞIMININ MODELLENMESİ**(Yüksek Lisans Tezi)****İbrahim ÖZYÜREK****GAZİ ÜNİVERSİTESİ****FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Haziran 2009****ÖZET**

Kıyı alanlarında sanayi ve enerji tesislerinin deniz deşarjları kıyusal sularda sıcaklık değişimine sebep olur. Bu değişim denizdeki canlı ortam için tehlikelidir. Bu sebeple bu ortamlara deşarj yapılmadan önce bu deőarjin yapacağı etkilerin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada denizde herhangi bir noktadan yapılan sürekli bir sıcak su deşarjının uzak alan seyrelmesi benzeştirilmiştir. Bu amaçla $k - \sigma$ koordinat sisteminde üç boyutlu taşınım-dağılım denklemini çözebilen sayısal bir program uzak alan seyrelmesini benzeştirmek için kullanılmıştır. Program rüzgar, yoğunluk ve sıcaklık değişimi ile oluşan baroklinik ya da barotropik akıntıları ve kirlilik ve sıcaklık yayılımlarını benzeőtirebilmektedir. Çözüm yöntemi sonlu farklardan oluşmuştur. Çözümde; zamanda ikinci dereceden hassas sonuçlar veren Crank Nicholson Yöntemi uygulanmıştır. Model Mersin Körfezi'ne uygulanmış, rüzgar etkisiyle oluşan çevrinti düzeniyle ortama deşarj edilen sıcak suyun uzak alan dağılımı benzeştirilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.083**Anahtar Kelimeler : Sayısal modelleme, taşınım, çevrinti, hidrodinamik, difüzyon, sıcak su deşarjı****Sayfa Adedi : 85****Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Lale BALAS**

MODELING OF FAR FIELD DILUTION OF HOT WATER DISCHARGE**(M. Sc. Thesis)****İbrahim ÖZYÜREK****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****June 2009****ABSTRACT**

In coastal areas, discharges of industrial and power plant facilities result in change in temperature of water. This change threatens living organisms in the sea water. For this reason, the effects of these discharges must be investigated prior to discharging. In this study, a numerical program, which is written in $k-\sigma$ coordinate system and which can solve three dimensional advection-diffusion equations is used to model far field dilution. The program can simulate baroclinic and barotropic flows, which are consequence of wind, density and thermal changes, and pollution and thermal diffusion as well. Solution method consists of finite differences. In the solution, the Crank-Nicholson method which gives second order accuracy in time is used. The model is applied to Mersin Bay and far field dilution of hot water, discharged, under the effect of circulation, caused by wind, is modeled.

Science Code : 911.1.083**Key Words : Numerical modeling, transport, circulation, hydrodynamic, diffusion, hot water discharge****Page Number : 85****Adviser : Prof. Dr. Lale BALAS**

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi'nde Yüksek Lisans başlamamda bana yol gösteren ve çalışmalarım boyunca değerli bilgi, katkı ve manevi desteği ile bana ışık tutan sayın hocam Prof. Dr. Lale BALAS'a;

Verdiği destek için meslektaşım Sayın Osman Kılıç'a;

Tabi ki, daima yaptıklarımda yanımda olan, beni maddi ve manevi yönden destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
3. TEORİ	7
3.1. Serbest Yüzey Sınır Koşulu	14
3.2. Deniz Tabanı Sınır Koşulu	15
3.3. Açık Deniz Sınır Koşulu.....	17
3.4. Kıyı Sınır Koşulu	17
4. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ	18
4.1. Sigma Koordinat Sistemine Transformasyon	19
4.2. Sigma Koordinat Sisteminde Baroklinik Model.....	31
5. MODEL UYGULAMASI	36
5.1. Uygulama Alanının Türkiye'deki Yeri	36
5.2. Rüzgar.....	36
5.3. Deniz Suyu Özellikleri	38

	Sayfa
5.4. Gelgit	38
5.5. Sayısal Modelin Mersin Körfezi'ne Uygulanması.....	38
5.5.1. Uygulama 1	41
5.5.2. Uygulama 2.....	44
5.5.3. Uygulama 3.....	47
5.5.4. Uygulama 4.....	50
5.5.5. Uygulama 5.....	53
5.5.6. Uygulama 6.....	56
5.5.7. Uygulama 7.....	59
5.5.8. Uygulama 8.....	62
5.5.9. Uygulama 9.....	65
6. SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR.....	72
EKLER.....	74
EK-1 Modelin genel yapısı	75
EK-2 Hız profilleri.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Aylara göre 33 yıllık rüzgar rasatları	38
Çizelge 5.2. Model girdileri ve çıktıları	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. (s-n) Koordinat sistemi.....	4
Şekil 2.2. Kullanılan çözüm ağları (a) Yatay çözüm ağı (b) Düşey çözüm ağı	6
Şekil 3.1. Rüzgar etkisinde ters akıntı oluşumu	8
Şekil 3.2. Yakın alan ve uzak alan seyrelmesi.....	10
Şekil 3.3. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde su yüzeyi ve su derinliğinin tanımı	11
Şekil 3.4. Süreklilik denklemi için kontrol hacmi.....	12
Şekil 4.1. Sigma koordinat sistemi.....	18
Şekil 4.2. Sayısal çözümde kullanılan şaşırtmacalı çözüm ağı, ●: u hızı, □: v hızı, Δ: w hızı	21
Şekil 4.3. Düğüm noktalarının numaralandırılması	22
Şekil 4.4. x-z düzleminde çözüm ağı şeması	27
Şekil 4.5. x-z düzleminde çözüm ağı şeması	33
Şekil 5.1. Proje alanı.....	37
Şekil 5.2. Rüzgar esme yönü ve sıklık dağılımı (33 yıllık rasat)	37
Şekil 5.3. Uygulama alanı batimetri, deşarj noktası ve rüzgar yönleri.....	39
Şekil 5.4. Yatay çözüm ağı	39
Şekil 5.5. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 5.6. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	43
Şekil 5.8. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 5.9. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	45
Şekil 5.10. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	46
Şekil 5.11.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	47
Şekil 5.12.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	48
Şekil 5.13.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	49
Şekil 5.14.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	50
Şekil 5.15.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	51
Şekil 5.16.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	52
Şekil 5.17.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 5.18.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	54
Şekil 5.19.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	55
Şekil 5.20.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	56
Şekil 5.21.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	57
Şekil 5.22.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	58
Şekil 5.23.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	59
Şekil 5.24.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	60
Şekil 5.25.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	61
Şekil 5.26.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	62
Şekil 5.27.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	63
Şekil 5.28.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.29.1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	65
Şekil 5.30.2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	66
Şekil 5.31.3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
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
x	Yatay koordinat eksenini x
y	Yatay koordinat eksenini y
z	Düşey koordinat eksenini z
t	Zaman
u	X yönündeki hız bileşeni
\bar{u}	X yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni
v	Y yönündeki hız bileşeni
\bar{v}	Y yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni
w	Z yönündeki hız bileşeni
\bar{w}	Z yönündeki hızın zaman ortalamalı bileşeni
W	Sigma koordinat sisteminde düşey hız
v_x	X yönündeki eddy viskozitesi
v_y	Y yönündeki eddy viskozitesi
v_z	Z yönündeki eddy viskozitesi
f	Coriolis katsayısı
ρ	Su yoğunluğu
ρ_o	Referans yoğunluk

Simgeler	Açıklama
g	Yerçekimi ivmesi
p	Basınç
σ_t	Deniz suyunun yoğunluğu
S	Tuzluluk (%)
Cl	Klor (gr/kg)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
D_x	X yönündeki türbülansın difüzyon katsayısı
D_y	Y yönündeki türbülansın difüzyon katsayısı
D_z	Z yönündeki türbülansın difüzyon katsayısı
η	Su seviyesi
h	Sakin su yüzeyinden ölçülen su derinliği
H	Toplam su derinliği
ρ_s	Yüzeydeki yoğunluk
k	Kinetik enerji oluşum hızı
ε	Kinetik enerjinin sönümlenme hızı
Pr	Prandtl ya da Schmidt türbülans sayısı
τ_{wx}	Rüzgar kuvvetinin x bileşeni
τ_{wy}	Rüzgar kuvvetinin y bileşeni
u_w	X yönünde rüzgar hızı (m/s)
v_w	Y yönünde rüzgar hızı (m/s)
ρ_a	Havanın yoğunluğu
C_d	Havanın sürüklenme katsayısı
W	Rüzgar hızı
K	Yüzey ısı transferi katsayısı
C_p	Suyun özgül ısısı
u_{*s}	Yüzey kesme hızı
z^+	Parametrik bir değer
u_{*b}	Taban sürtünme hızı
A_s	Ortalama su seviyesindeki yüzey alanı

1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca su, insanlık için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Büyük medeniyetler suların olduğu yerlerde kurulmuş, insanlar suya sahip olmak için büyük mücadeleler vermişlerdir. Gelecekte de su insanlık için daha da önemli bir yere sahip olacaktır.

Su insan yaşamını kolaylaştırmakta ve birçok alanda kullanılmaktadır. En önemli kullanım alanlarından biri de enerji üretimidir. Termik santraller ya da bazı sanayi tesislerinin atıklarını suya bırakmaları, atığın deşarj edildiği noktada hem kirliliğe hem de sıcaklık değişimine sebep olmaktadır. Her iki durumda o bölgedeki yaşam için tehlikelidir. Su sıcaklığının çok küçük oranlarında artması bile oradaki küçük canlıların yok olmasına sebep olabilir.

Tsai (1977) elektrik enerjisi talebindeki ve termik enerji santrallerinin büyüklüğündeki artışın sıcak suyun çevre üzerindeki olumsuz etkisinde büyük artışa sebep olduğunu belirtmiştir. Termal deşarjların çevreye olası en az zararlı etkiye sahip olması için, enerji santrallerinin yer seçiminde termal deşarjların analizi önemli bir etken olmuştur [1].

Denize sıcak su deşarjı yapılmadan önce, o deşarjın deniz ortamındaki etkilerinin neler olacağı araştırılmalı, önlemler ona göre alınmalıdır. Bu araştırmalar yapılırken en önemli araçlardan biri de modellemelerdir.

Bu çalışmada uygulama alanı olarak seçilen Mersin Körfezi'nin en önemli sorunlarından biri yerleşim yerlerinin alt yapı eksikliklerinden kaynaklanan atıkların deniz kirliliği oluşturmastır. Mersin Büyükşehir Belediyesi ile birlikte toplam 70 belediyeden oluşan Mersin İli'nde, belde ve belediyelerin büyük bir kısmı deniz kenarında yer almaktadır. Bu belde ve belediyelere ait kanalizasyon ve arıtma tesisi yetersizliği nedeniyle evsel nitelikli atıksular doğrudan veya dolaylı bir şekilde denize ulaşmakta ve önemli derecede kirlilik oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra liman

faaliyetleri, endüstriyel faaliyetler, tarımsal faaliyetler vb gibi etkenler de denizin kirlenmesinde rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, halihazırda büyük bir kirlilik sorunu yaşamakta olan Mersin Körfezi'ne yapılacak olan, 31 Aralık 2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin "Suların Korunacağı Kirletici Etkenler" başlıklı 6. Maddesinin (e) bendinde kirletici etken olarak listelenen, sürekli sıcak su deşarjının uzak alan seyrelmesinin benzeştirilmesi için 3 boyutlu taşınım-dağılım benzeştirmesi yapabilen bir model kullanılmıştır [2].

Bu model süreklilik denklemini, momentumun korunumu denklemini ve taşınım-dağılım denklemini kullanarak ortamda üç boyutlu akım profilini ve kirlilik seyrelmesini benzeştirir. Modele proje alanı batimetrisi, su yoğunluğu, rüzgar hızı, kirletici sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgar yönü ve zaman adımı girilir. Bu çalışmada yoğunluk tabakalaşmasının olmadığı varsayılmıştır. Bu sebeple sabit yoğunluk kullanılmıştır. Tuzluluk değeri de sabit alınmıştır.

Yukarıda değinilen yönetmelikte yer alan "Derin Deniz Deşarjları için Uygulanacak Kriterler" başlıklı Tablo 23'te verilen "Deniz ortamının seyreltme kapasitesi ne olursa olsun, denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35 °C'yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S_1) sonucun da karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1 °C'den, diğer aylarda ise 2 °C den fazla arttıramaz. Ancak, deniz suyu sıcaklığının 28 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda, soğutma amaçlı olarak kullanılan deniz suyunun deşarj sıcaklığına herhangi bir sınırlama getirilmeksizin alıcı ortam sıcaklığını 3 °C'den fazla arttırmayacak şekilde deşarjına izin verilebilir" [2] sınırlaması dikkate alınarak sıcak su deşarjının sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır. Ortam sıcaklığı 2 °C olarak alınmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

Tsai (1977) süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini sonlu farklar yaklaşımını kullanarak aynı anda çözmüştür. Çeşitli çevresel şartlarda bir haliçte hem yüzey hem de batık deşarj sistemlerini modellemiştir. Model sonuçlarını arazi ölçüleriyle başarılı bir şekilde karşılaştırmıştır [1].

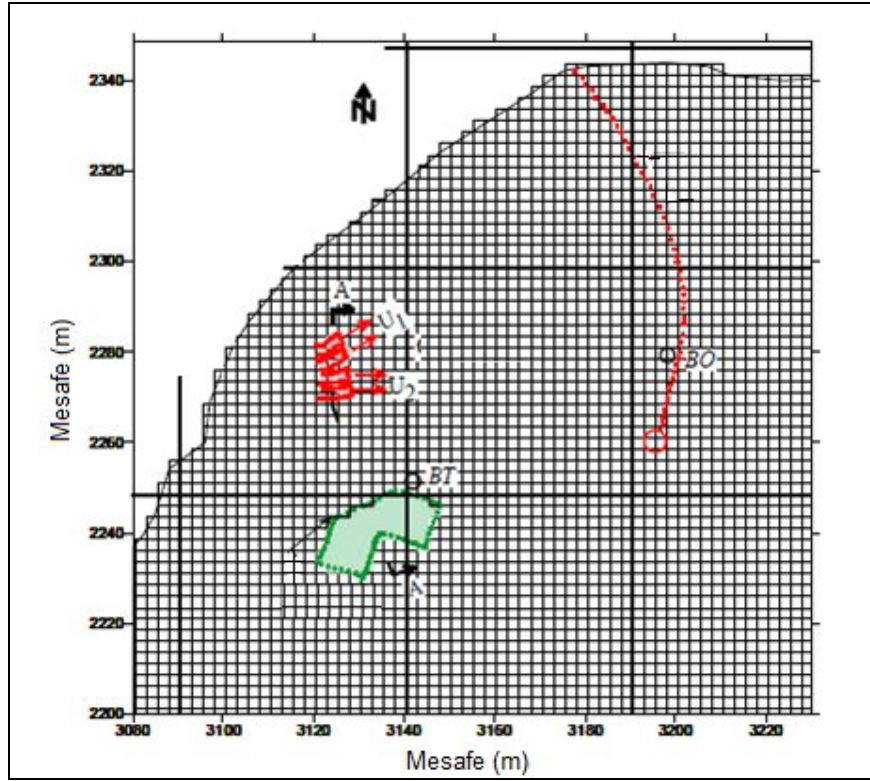
McGuirk ve Rodi (1978) açık kanal akımında derinlik ortalamalı hız ve kirletici derişimini hesaplamak için iki boyutlu sayısal model oluşturmuşlar ve bu modelde sonlu farklar yöntemlerini kullanarak derinlik ortalamalı süreklilik, momentum ve taşınım-dağılım denklemlerini çözmüşlerdir. Türbülans gerilmelerini ve kirletici derişimini $k-\epsilon$ türbülans modelinin derinlik ortalamalı yöntemiyle belirlemiştirler. Deşarj noktasının mansabında çevrinti bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu çevrinti bölgesinin büyüklüğünü, seyrelmeyi ve eş sıcaklıkları, deneyler sonucu elde edilmiş deşarj/kanal hızı oranlarına göre test etmişler, uyumun genellikle iyi olduğunu gözlemişlerdir. Yaptıkları değerlendirme sonucunda tahminlerin sayısal difüzyondan çok etkilenmediğini görmüşlerdir [3].

McGuirk ve Rodi (1979) durgun suya deşarj eden sıcak su dağılımının üç boyutlu benzeştirilmesi için bir sonlu farklar yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini kullanmışlardır. Bu denklemlerdeki kayma gerilmeleri ve sıcaklık akıları türbülans modeli ile çözülmüştür. Deneysel olarak gözlenmiş, su girişindeki kaldırma kuvvetinden kaynaklanan azalma bu modelde benzeştirilebilmiştir. Tahminler diğer bazı araştırmacıların ölçüleriyle detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Uyum genellikle tatmin edici olmuştur [4].

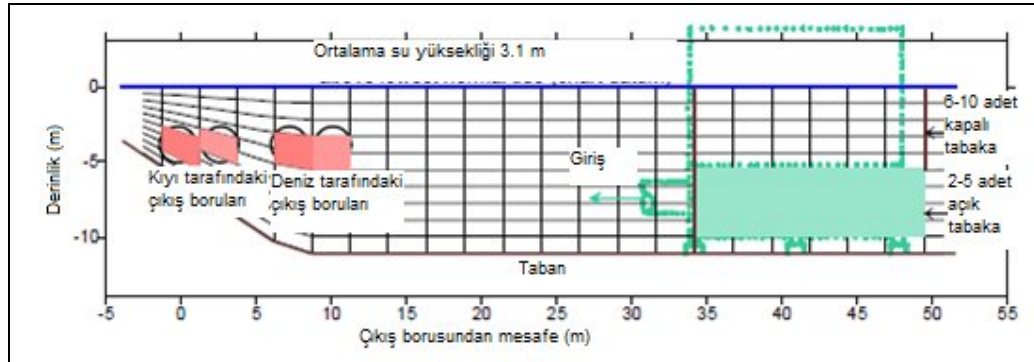
Demuren (1985) yüzeysel sıcak su bulutunun yakın çevresindeki ısı transferini çözmek için sonlu farklar yöntemiyle 2 boyutlu sayısal metod geliştirmiştir. Koordinat sistemi olarak Şekil 2.1'de verilen (s-n) koordinat sistemini kullanmıştır. Modelde kullandığı temel denklemler eğrilik terimleri eklenmiş süreklilik, momentum ve ısı transfer denklemleridir. Sınır koşulları olarak durgun sulardaki sınır koşullarını kullanmıştır fakat Şekil 2.1'de gösterilen (I) ve (E) sınırlarında

Ahmed ve ark. (2001) Meghnaghat Enerji Santrali'nin soğutma suyunun oluşturduğu çevrintiyi benzeştirmek için MIKE11, MIKE 21 ve MIKE 3 programlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında taşınım, yoğunluk kaynaklı akıntılar, dispersiyon ve ısı difüzyonu benzeştirmişlerdir. Bir boyutlu modelleme yapabilen MIKE 11 sonuçlarını MIKE 21 ile yapılan çalışmada sınır koşulu olarak kullanmışlar; MIKE 21 ile yapılan çalışmadan elde edilen sonuçları da MIKE 3 ile yapılan çalışmada sınır koşulları olarak kullanmışlardır. MIKE 11 programı ile nehirde yağışlı ve kurak dönemlerde akımı benzeştirmişlerdir. Bu aşamada gözlenmiş ve 2 boyutlu MIKE 21 kullandıkları aşamada akım hızını ve sıcaklık değişimini derinlik ortalamalı kullanmışlardır. Modelde taşkın durumunu ve kuraklık durumunu dikkate almışlardır. Vizkosite katsayısını 0.5, dispersiyon katsayısını $1 \text{ m}^2/\text{s}$ almışlardır. Yatay çözüm ağı ebatları $27 \times 27 \text{ m}$ 'dir. Çalışmanın 3 boyutlu aşamasında kullandıkları MIKE 3 için uygulama alanı olarak tesisin yakın çevresini kullanmışlardır. Bu aşamada amaç yakın alan seyrelmesini benzeştirmektir. Yatay eddy vizkositeyi 0.2, düşey vizkositeyi 0.4 olarak seçmişlerdir. [7]

Jiang ve Fissel (2002) Kanada'daki Burrard Generation İstasyonu'ndaki soğutma suyunun çevrinti düzeni üzerindeki etkisini benzeştirmek için üç boyutlu sayısal model kullanmışlardır. Çalışmalarında yatayda $2.5 \times 2.5 \text{ m}$ 'lik ağ ve düşeyde 10 tabaka kullanmışlardır (Şekil 2-2). Sınır koşulu olarak yüzeyde ve tabanda gerilme olmadığını varsaymışlar ve açık sınırlarda da ölçülmüş deniz suyu seviyelerini kullanmışlardır. Giren akımlarda sıcaklık ve tuzluluk için gözlenmiş verileri, çıkan akımda ise Sommerfeld radyasyon koşulunu kullanmışlardır. Temel hidrodinamik denklemleri ve ısının korunumu denklemini şaşkırtmacalı çözüm ağında yarı-açık sonlu farklar yöntemini kullanarak; barotropik ve yayılma terimlerini kapalı sonlu farklar yöntemiyle çözmüşlerdir. Çalışma sonuçları sıcak su bulutunun boru çıkışından 20-30 m mesafede yüzeye ulaştığını göstermişlerdir. Model doğrulama çalışmaları sonuçları modelin sıcak su bulutunun her türlü hareketini benzeştirebildiğini, göstermiştir [8].



(a)



(b)

Şekil 2.2. Kullanılan çözüm ağları (a) Yatay çözüm ağı (b) Düşey çözüm ağı [8]

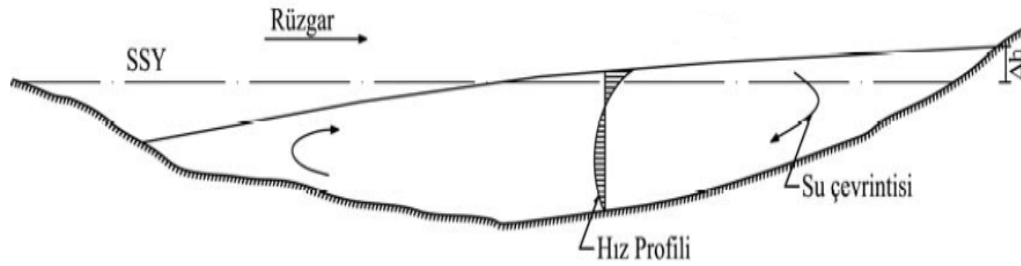
3. TEORİ

Kıyusal akıntılar haliç, lagün gibi yerlerde çeşitli iç ve dış kuvvetler sebebiyle oluşan büyük ölçekli akıntılar ile yüzen cisimler ve akarsuların dönüş noktalarında oluşan akıntılar gibi küçük ölçekli akıntılar olmak üzere ikiye ayrılır. Bu ayırımı akış alanının düşey ve yatay uzunluklarının oranına göre yapılıır. Akış alanında yatay uzunluk ölçeği düşey uzunluk ölçeğine göre büyük olursa bu tür akıntılara büyük ölçekli akıntılar; aynı büyüklükte olursa küçük ölçekli akıntılar denir.

Büyük ölçekli akıntılar genelde suyun sığ olduğu kıyusal bölgelerde olur. Bu akıntılar yayılma olaylarında etkili akıntılardır. Haliç, lagün, körfez gibi yüzey alanının su derinliğine oranının büyük olduğu yerlerde görülen bu akıntıların oluşmasında iç ve dış kuvvetler etkilidir. Yerçekimi, güneş ve ayın çekimi ile oluşan gelgit kuvveti, dünyanın dönüşünden kaynaklanan Coriolis kuvveti ve yüzeyde esen rüzgar kuvveti dış etkenlerdir. Coriolis kuvveti kuzey yarım kürede sağa, güney yarım kürede sola doğrudur. Meridyenlere göre Coriolis kuvveti değişmektedir. Atalet, sürtünme ve basınç ise suyun yapısal özelliğinden kaynaklanan iç kuvvetlerdir.

Kıyı boyunca kıyı şeridi değişmektedir. Rüzgarın etkisiyle kıyıda su seviyesi yükselir, rüzgarın geldiği yönde ise su seviyesi azalır. Böylelikle barotropik basınç farkı oluşur. Oluşan bu barotropik basınç farkı sebebiyle tabanda rüzgarın sürüklenme yönüne ters yönde akıntı oluşur. Sonuç olarak düşeyde kuvvetli bir çevrinti oluşmuş olur. Bu kuvvetli çevrinti etkisi altında kalan su tabakalarında düşey momentum artarak yoğunluk farkından kaynaklanan akıntılarının şiddetini azaltır, yatay düzlemdeki karışımı artırır.

Deniz-kara sınırı gelgit etkisine bağlı olarak sürekli değişerek dinamik bir yapıya bürünür. Modelin uygulanacağı yer olan Mersin Körfezi'nde M2 gel-git'i baskındır. Akdeniz'de gel-git genliği küçüktür ve genel olarak 0,2 m ile 0,3 m arasında değişmektedir. Bu nedenle yörede su değişimini sağlayan belirgin faktör rüzgar etkisidir



Şekil 3.1. Rüzgar etkisinde ters akıntı oluşumu [9]

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 [10].

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

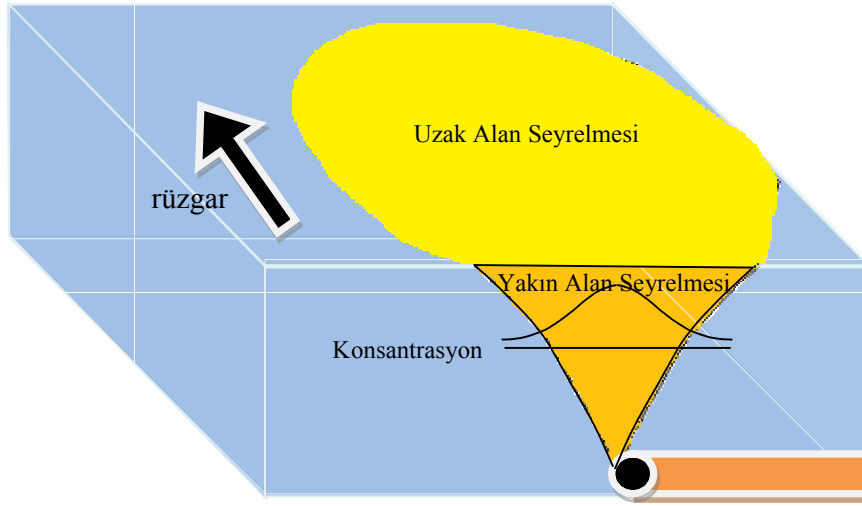
gösterir. Bu su yoğunluğu hareketi düşey çevrıntilere (thermohaline convection) sebep olur. Böylece, farklı derinliklerdeki, ısınma ve karışma farklılıklarının neden olduğu yatay yoğunluk değişimleri, büyük ölçekli su çevrıntilerine yol açar [11].

Deniz suyuna yapılan sıcak su deşarjının taşınması ve dağılması çeşitli şekillerde olmaktadır.

- Akıntı etkisinde taşınarak
- Yoğunluk kaynaklı akıntılarla yüzeye yükselerek
- Sıcaklık gradyanlarından dolayı difüzyon etkisi ile dağılarak ve türbülans etkisi altında dispersiyon ile
- Hava sıcaklığıyla alışveriş ile

Bu çalışmada, süreklilik denklemini, momentumun korunumu denklemini ve taşınım-dağılım denklemini kullanarak ortamda üç boyutlu akım profilini ve kirlilik seyrelmesini benzeştirebilen bir program kullanılmıştır. Kullanılan program Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı Mühendisliği Çalışma Grubu elemanlarınca geliştirilmiştir. Bu program daha önce Senem Tunaboşlu tarafından Fethiye Körfezi'ndeki yoğunluk kaynaklı akıntıların benzeştirilmesinde kullanılmış; bu çalışmada da Mersin Körfezi'nde yüzeyden yapılan sıcak su deşarjının uzak alan karışımının benzeştirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada yoğunluk ve tuzluluk sabit alınmıştır. Bu sebeple sıcak su deşarjının uzak alan karışımının benzeştirilmesinde rüzgar etkisi altında taşınımın ve dağılım etkili olmuştur (Şekil 3.2). Modelde uygulanan sayısal çözümleme ile ilgili detaylı bilgi 4. Bölüm'de verilmiştir.

Kullanılacak temel denklemler süreklilik denklemi, hareket denklemi ve taşınım denklemdir. Bu denklemler Şekil 3.3'te verilen 3 boyutlu kartezyen koordinat sistemine göre yazılmıştır. Sayısal çözümlemesi sigma koordinat sistemine göre yapılmış olup detaylar Bölüm 4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Yakın alan ve uzak alan seyrelmesi

Şekil 3.4'te verilen kontrol hacmi üzerine giren ve çıkan madde miktarı ve toplam değişen madde miktarı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\rho u dy dz dT + \rho v dx dz dT + \rho w dx dy dT - \left[\rho u + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \rho v + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \rho w + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right] dx dy dz dT \quad (3.1)$$

(Giren madde – Çıkan madde)

$$- \left[\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right] dx dy dz dT \quad (3.2)$$

Birim hacimdeki birim zamanda madde değişimi giren ve çıkan madde arasındaki farka eşittir;

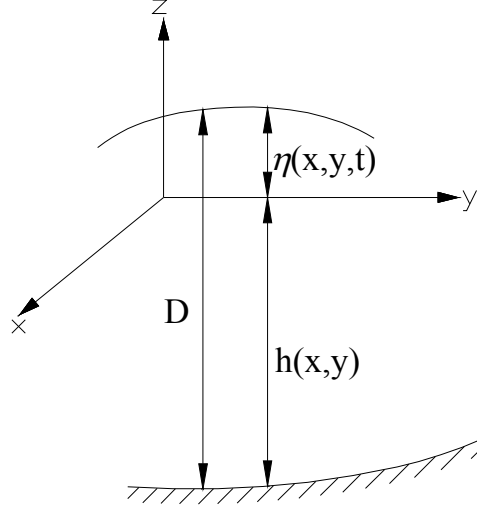
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho dx dy dz) dt = - \left[\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right] dx dy dz dT \quad (3.3)$$

Eşitlik sadeleştirilirse;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

Deniz suyunun sıkıştırılmaz olduğu düşünülüğünde süreklilik denklemi;

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



Şekil 3.3. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde su yüzeyi ve su derinliğinin tanımı

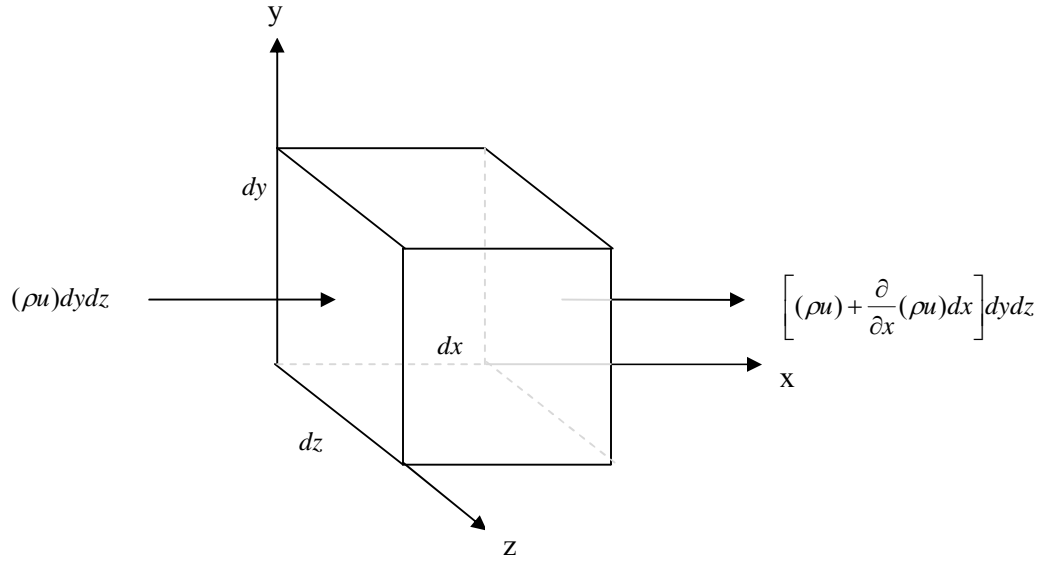
x ve y yönleri için hareket denklemleri

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right) \quad (3.7)$$

Düşeyde z yönü için momentum denklemi;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + gz + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3.8)$$



Şekil 3.4. Süreklilik denklemi için kontrol hacmi

Bu denklemlerde kullanılan sembollerin açıklamaları şöyledir:

- x, y : Yatay koordinatlar
- z : Düşey koordinat
- u, v, w : $x, y,$ ve z yönündeki hız bileşenleri
- ν_x, ν_y, ν_z : x, y ve z yönlerindeki eddy vizkositeler
- f : Coriolis katsayısı
- $\rho(x, y, t)$: Su yoğunluğu
- ρ_0 : Referans Yoğunluk
- p : Basınç
- g : Yerçekimi ivmesi

Çözülmesi gereken her noktada yoğunluğun bulunması için o noktadaki sıcaklık ve tuzluluğun bilinmesi gerekir. Her bir noktadaki sıcaklık ve tuzluluk değerleri üç boyutlu taşınım-dağılım denklemi çözülerek bulunmaktadır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \quad (3.9)$$

Bu denklemlerde kullanılan sembollerin açıklamaları şöyledir:

D_x, D_y ve D_z : x, y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları

Q : Su sıcaklığı (T) veya tuzluluğudur (S).

Yüzeydeki kinematik sınır koşulu şöyledir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_s \frac{\partial \eta}{\partial y} - w_s = 0 \quad (3.10)$$

Bu denklemde:

u_s : Yüzeydeki su parçacığının -x yönündeki yatay hızı

v_s : Yüzeydeki su parçacığının -y yönündeki yatay hızı

w_s : Yüzeydeki su parçacığının düşey hızı

η : Su seviyesi

Süreklilik denkleminin derinlik boyunca integrali alınıp, yüzeydeki kinematik sınır koşulu kullanılırsa, derinlik eklenmiş süreklilik denklemi bulunur:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_{-h}^{\eta} u \, dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_{-h}^{\eta} v \, dz \right] = 0 \quad (3.11)$$

Bu denklemde:

$h(x,y)$: Sakin su yüzeyinden ölçülen su derinliği

$D(x,y,t)$: Toplam su derinliği

$D(x,y,t) : h(x,y) + \eta(x,y,t)$.

Su alanında basınç yoğunlukla değişmektedir:

$$p(x, y, z, t) = \int_z^{\eta} g\rho(x, y, z, t) dz \quad (3.12)$$

Leibniz Kuralı uygulanır ve bağımsız olan değişkenler yok edilirse:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \int_z^{\eta} g\rho dz = \int_z^{\eta} g \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + g\rho_s \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (3.13)$$

Bu denklemde:

ρ_s :Yüzeydeki yoğunluk

Model için dört farklı sınır koşulu vardır. Bunlar; serbest yüzey, deniz tabanı, açık deniz ve kıyı sınır koşullarıdır.

3.1. Serbest Yüzey Sınır Koşulu

Serbest yüzeyde w aşağıdaki eşitliğe uymak zorundadır.

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (3.14)$$

Bununla beraber yüzeyde sıcaklık ve tuzluluk değişimi de olabilmektedir.

Deniz yüzeyine rüzgar kuvveti etkimektedir. Deniz yüzeyindeki rüzgardan oluşan kesme kuvveti aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \tau_{wx} &= \rho_a \cdot C_d \cdot u_w \cdot \sqrt{u_w^2 + v_w^2} \\ \tau_{wy} &= \rho_a \cdot C_d \cdot v_w \cdot \sqrt{u_w^2 + v_w^2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Eşitliklerde kullanılan sembollerin açıklamaları şöyledir:

- τ_{wx}, τ_{wy} : Rüzgar kuvvetinin bileşenleri
 u_w, v_w : Sırasıyla x ve y yönünde rüzgâr hızının (m/s) bileşenleri
 ρ_a : Havanın yoğunluğu
 C_d : Havanın sürüklenme katsayısıdır.

Rüzgar sürüklenme katsayısı, başlıca, rüzgar hızına, yönüne, deniz yüzeyi pürüzlülüğüne bağlı bir parametredir. Literatürde, rüzgar sürüklenme katsayısının belirlenmesinde çok çeşitli formüller sunulmuştur. Large and Pond [12] tarafından önerilen eşitlik burada da kullanılmıştır.

$$C_d = \begin{cases} 1.2 \times 10^{-3} & W < 11 \text{ m/s} \\ (0,49 + 0,065 W) \times 10^{-3} & 11 \text{ m/s} \leq W < 25 \text{ m/s} \end{cases} \quad (3.16)$$

W : Rüzgar hızıdır.

Yüzeydeki rüzgar etkenli kesme kuvveti, yüzeyin altında su hızının değişmesine neden olur.

$$\tau_{wx} = \rho v_z \frac{\partial u}{\partial z}; \quad \tau_{wy} = \rho v_z \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3.17)$$

Yüzeyde tuzluluk gradyanı değeri ile sıcaklık gradyanı sıfır alınmaktadır.

3.2. Deniz Tabanı Sınır Koşulu

Deniz tabanında z , $-H$ değerini alır. Sıcaklıkta ya da tuzlulukta gradyan yoktur.

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial z} = 0$$

Deniz tabanındaki taban kesme kuvveti, hızların logaritmik duvar kanunu ile bulunur:

$$\tau_{bx} = \left[v_z \frac{\partial u}{\partial z} \right]_b = \rho_0 C_f u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2}; \quad \tau_{by} = \left[v_z \frac{\partial v}{\partial z} \right]_b = \rho_0 C_f v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \quad (3.18)$$

Bu denklemde:

τ_{bx}, τ_{by} : Taban kesme kuvvetinin bileşenleri

u_b, v_b : Tabana en yakın çözüm ağı noktasındaki yatay hız bileşenleri

ρ_o : Ortalama su yoğunluğu

C_f : Taban sürtünmesi için ampirik bir katsayı

C_f aşağıda verilen eşitlikten bulunur.

$$C_f = \left(\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{D + z_b}{z_0} \right) \right)^{-2} \quad (3.19)$$

Bu denklemde:

Δz_b : Taban ile üzerindeki çözüm ağının ilk noktası arasındaki mesafe

z_0 : Pürüzlü yüzeylerde 1 cm olarak alınabilen tabandaki pürüzlülük ölçeği

Eğer taban sınırındaki tabaka yeterince hassas değilse, C_f değeri 0,002 ile 0,003 arasında değişen genellikle 0,0025 olan bir sabittir. Duvar bölgesi olarak kabul yapılabilmesi için $30 < z^+ < 100$ olmalıdır. Düşeydeki çözüm ağında, çözüm ağının ilk noktası bu aralığa denk gelmelidir. z^+ şu eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$z^+ = \frac{\Delta z_b u_{*b}}{\nu} \quad (3.20)$$

Eşitlikte; u_{*b} : Taban sürtünme hızıdır.

Tabandaki kinematik sınır koşulu şöyledir:

$$w_b = -u_b \frac{\partial h}{\partial x} - v_b \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3.21)$$

Tabandaki sıcaklık, tuzluluk ve kirletici değerlerinin değişimi sıfır alınmaktadır. Deniz tabanının içine dağılım ve akıntı olmadığı düşünülmektedir.

3.3. Açık Deniz Sınır Koşulu

Açık denizde yansıma sınır koşulu uygulanmıştır. Bu sebeple sınır noktalarında sınıra dik yönde gradyanın sıfır olduğu kabul edilmiştir.

3.4. Kıyı Sınır Koşulu

Kıyı sınırları sabit alınmıştır.

4. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ

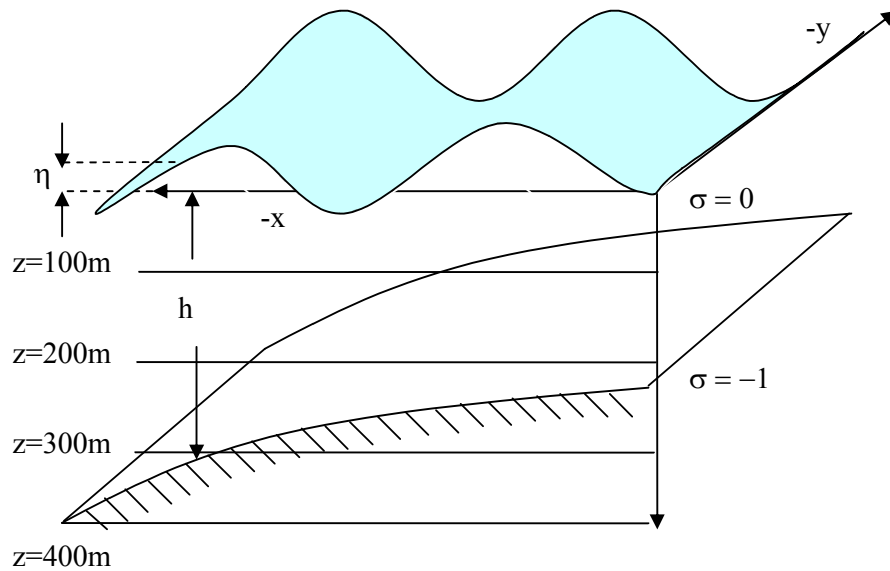
3 boyutlu dik koordinat sistemleri kullanıldığında modelin topografyayı takip etmesinde zorluklar yaşanır. Bu sebeple model sigma koordinat sistemi kullanılarak oluşturulmuştur. Sigma koordinat sisteminde yatay katmanların sayısı derinliğe ve topoğrafyaya bağlı olmaksızın her yerde aynıdır.

Sigma koordinat sistemini oluşturmak için aşağıdaki dönüşümü uygulamak gereklidir [10].

$$\sigma = \frac{z}{D}$$

$$D = h + \eta$$

Bu denklemlerde yer alan parametreler Şekil 4.1'de tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Sigma Koordinat Sistemi

z koordinat sisteminden farklı olarak sigma koordinat sisteminde düşey düzlemde noktalar arası mesafe farklıdır. Bu sebeple sigma koordinat sisteminde orantılılık

sorunu vardır. Bu özellikle momentum denklemlerindeki basınç gradyanlarında görülür. Sigma koordinat sisteminde iki nokta arasındaki büyük topografik değişiklik basınç gradyanı hesabında iki büyük terimin farkını almak demektir ki bu büyük yuvarlama hatalarının oluşmasına neden olur [13]. Yatay noktalar arasındaki mesafeler azaltılarak, yatay çözünürlük artırılarak, bu sorun hafifletilebilir. Bir başka çözüm olarak da, bir noktadan diğer noktaya yoğunluk gradyanı etkisinde basınç farkları hesabı yapılırken yoğunluk terimlerinden yatay yoğunluk ortalamaları çıkarılabilir. Bunun dışında bir diğer sorunda büyük topografik değişimlerde karşılaşılabilecek hidrostatik uyumsuzluklardır. Bu durumda topografya sorunlu yerlerde bir parça değiştirilebilir. Bununla beraber sigma koordinat sisteminde topografya her yerde z koordinat sisteminden daha iyi şekilde çözümlenir.

4.1. Sigma Koordinat Sistemine Transformasyon

Sigma koordinat yönteminde derinliğin tamamı 1 olarak tanımlanmaktadır. Sigma koordinat sisteminde koordinat dönüşümü Eş. 3.1'de verilmektedir.

$$\sigma = \frac{z - \eta}{h + \eta} \quad (4.1)$$

Toplam derinlik; $D = h + \eta$

Sigma koordinat sisteminde σ yüzeyde 0 ile tabanda -1 değerleri arasında değişmektedir. (Şekil 4.1)

Sigma koordinatlara dönüştürülmüş hareket denklemleri Eş. 4.2 ve Eş. 4.3'te, süreklilik denklemi Eş. 4.4'te verilmektedir.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(uD) + \frac{\partial}{\partial x}(u^2D) + \frac{\partial}{\partial y}(uvD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu) - fDv \\ & = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial u}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t}(vD) + \frac{\partial}{\partial x}(uvD) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2D) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wv) - fDu \\
& = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial v}{\partial y} \right]
\end{aligned} \tag{4.3}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uD) + \frac{\partial}{\partial y}(vD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(W) = 0 \tag{4.4}$$

Burada, W sigma koordinat sisteminde düşey hızdır.

$$W = w - (\sigma + 1) \frac{\partial D}{\partial t} - uQ_x - vQ_y \tag{4.5}$$

$$W = D \frac{D\sigma}{Dt}, \quad Q_x = \sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad Q_y = \sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \tag{4.6}$$

Burada Q_x akıntı hızının x yönündeki debisi; Q_y akıntı hızının y yönündeki debisi;

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

$$W(x, y, 0, t) = 0, \quad W(x, y, -1, t) = 0 \tag{4.7}$$

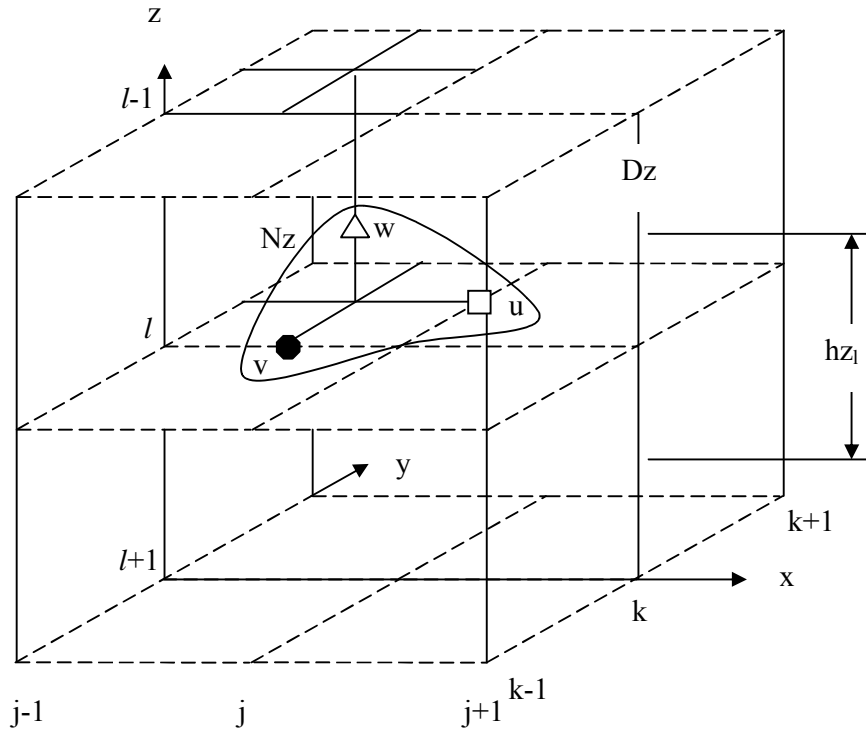
Eşitlik 4.7'de verilen sınır koşulları uygulanarak Eşitlik. 4.4'ün derinlik boyunca integrali alınarak, derinlik boyunca ortalaması alınmış süreklilik denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}D) + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v}D) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \tag{4.8}$$

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

$$\bar{u} = \int_{-1}^0 u d\sigma, \quad \bar{v} = \int_{-1}^0 v d\sigma \tag{4.9}$$

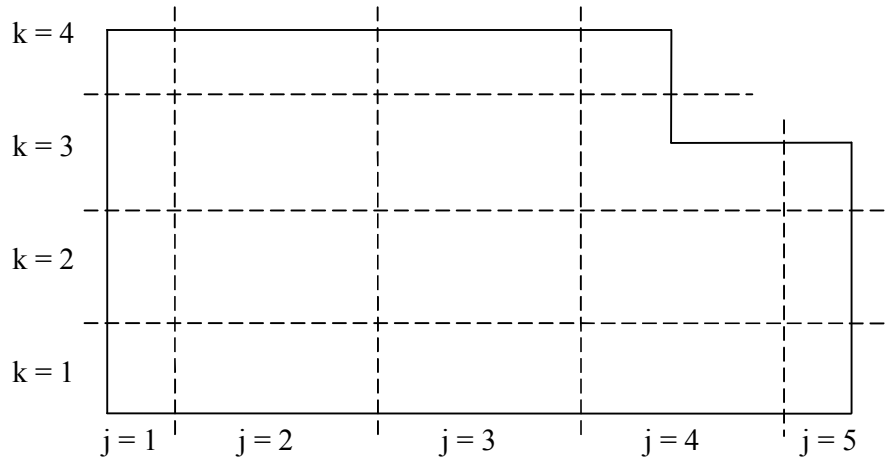
Zamanla değişen üç boyutlu akıntı hareketinin sayısal analizi yapılırken Eş. 4.2, Eş. 4.3, Eş. 4.4, ve Eş. 4.8'den faydalanılmıştır. Sayısal çözüm yapılırken Şekil 4-2'de gösterilen şaşırtmacalı çözüm ağı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Sayısal çözümde kullanılan şaşırtmacalı çözüm ağı, ●: u hızı, □: v hızı, Δ: w hızı [14]

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 kıyı çizgisine bağlı olarak değişmektedir. Düzensiz su alanlarında ilk olarak düğüm noktası numaralandırması belirlenmektedir. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 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 tamamlanmıştır. Tüm satırlar başlama noktası j_s , bitiş noktası j_e olarak $k=1$ 'den $k=k_y$ 'ye kadar kontrol edilmektedir.

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

$$\begin{aligned} & \frac{(uD)^{m*} - (uD)^m}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x} (u^2 D)^m + \frac{\partial}{\partial y} (uvD)^m + \frac{\partial}{\partial \sigma} (Wu)^m - f(Dv)^m \\ & = -gD^m \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^m + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial u^m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial u^m}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\frac{(uD)^{m+1} - (uD)^m}{\Delta t} = \frac{1}{D^m} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right)^{m+1} \quad (4.11)$$

$$\frac{(vD)^{m*} - (vD)^m}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x} (uvD)^m + \frac{\partial}{\partial y} (v^2 D)^m + \frac{\partial}{\partial \sigma} (Wv)^m - f(Du)^{m+1}$$

$$= -gD^m \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^m + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial v^m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial v^m}{\partial y} \right] \quad (4.12)$$

$$\frac{(vD)^{m+1} - (vD)^m}{\Delta t} = \frac{1}{D^m} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right)^{m+1} \quad (4.13)$$

Eş. 4.10, Eş. 4.11, Eş. 4.13'ün açılımında da görüldüğü gibi, zaman adımı ikiye ayrılmıştır. İlk adımda; m zamanından 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. 4.14'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} HU(j,k) &= 0.5 * (D(j,k) + D(j-1,k)) \\ HV(j,k) &= 0.5 * (D(j,k) + D(j,k+1)) \end{aligned} \quad (4.14)$$

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.

$$\frac{(uD)^{m+1} - (uD)^m}{\Delta t} = \frac{HUN_{j,k} * U_{j,k,l}^{m+1} - HU_{j,k} * U_{j,k,l}^m}{\Delta t} \quad (4.15)$$

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

Hareket denkleminin (Eş. 4.10) x yönündeki yayılım terimlerini incelendiğinde; u noktasının sağı için;

$$\begin{aligned}(uD)_r &= 0.5 * (HU_{j+1,k} * u_{j+1,k,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}) \\ u_r &= 0.5 * (u_{j,k,l} + u_{j+1,k,l})\end{aligned}\quad (4.16)$$

u noktasının solu için;

$$\begin{aligned}(uD)_l &= 0.5 * (HU_{j-1,k} * u_{j-1,k,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}) \\ u_l &= 0.5 * (u_{j,k,l} + u_{j-1,k,l})\end{aligned}\quad (4.17)$$

Eş. 4.16 ve Eş. 4.17 kullanılarak yayılım denkleminin sonlu farklar açılımı yazılabilir;

$$\frac{\partial}{\partial x} (u^2 D)^m \cong \frac{(uD)_r * u_r - (uD)_l * u_l}{hx}\quad (4.18)$$

Hareket denkleminin (4.10) y yönündeki yayılım terimleri incelendiğinde;

$$\begin{aligned}(uD)_{up} &= 0.5 * (HV_{j,k} * v_{j,k,l} + HV_{j-1,k} * v_{j-1,k,l}) \\ u_{up} &= 0.5 * (u_{j,k,l} + u_{j,k+1,l})\end{aligned}\quad (4.19)$$

$$\begin{aligned}(uD)_{dw} &= 0.5 * (HV_{j,k-1} * v_{j,k-1,l} + HV_{j-1,k-1} * v_{j-1,k-1,l}) \\ u_{dw} &= 0.5 * (u_{j,k,l} + u_{j,k-1,l})\end{aligned}\quad (4.20)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (uvD)^m \cong \frac{(vD)_{up} * u_{up} - (vD)_{dw} * u_{dw}}{hy}\quad (4.21)$$

Hareket denkleminin (Eş. 4.10) üçüncü terimi $\left(\frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu)^m\right)$ düşeyde farklılık gösterir. Düşeydeki değişim incelendiğinde;

$$W_a = 0.5 * (W_{j,k,l} + W_{j-1,k,l})$$

$$u_a = \frac{(u_{j,k,l-1} * h_{z(l)} + u_{j,k,l} * h_{z(l-1)})}{h_{z(l)} + h_{z(l-1)}} \quad (4.22)$$

$$W_b = 0.5 * (W_{j,k,l+1} + W_{j-1,k,l+1})$$

$$u_b = \frac{(u_{j,k,l} * h_{z(l+1)} + u_{j,k,l+1} * h_{z(l)})}{h_{z(l)} + h_{z(l+1)}} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu)^m \cong \frac{u_a W_a - u_b W_b}{h_{z(l)}} \quad (4.24)$$

x yönündeki coriolis terimi ortalamalı olarak hesaplandığında;

$$v_r = 0.5 * (v_{j,k,l} + v_{j,k-1,l})$$

$$v_l = 0.5 * (v_{j-1,k,l} + v_{j-1,k-1,l}) \quad (4.25)$$

$$f(Dv)^m = f * 0.5 * (D_{j,k} * v_r + D_{j-1,k} * v_l)$$

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

$$gD^m \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^m = g * HU_{j,k} * \frac{\eta_{j,k} + \eta_{j-1,k}}{hx} \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned}
Nh \frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial u^m}{\partial x} &\cong \frac{Nh}{(hx)^2} \left[u_{j+1} * D_{j,k} + u_{j-1,k,l} * D_{j-1,k} - u_{j,k,l} * (D_{j,k} + D_{j-1,k}) \right] \\
Nh \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial u^m}{\partial y} &\cong \frac{Nh}{(hy)^2} \left(0.5 * (HU_{j,k} + HU_{j,k-1}) \right) * u_{j,k-1,l} \\
&+ 0.5 * (HU_{j,k} + HU_{j,k+1}) * u_{j,k+1,l} - u_{j,k,l} * \left(0.5 * (HU_{j,k-1} + HU_{j,k+1}) + HU_{j,k} \right) \quad (4.27)
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial}{\partial \sigma} \right)^{m+1} \cong \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{u_{j,k,l-1}^{m+1} - u_{j,k,l}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{u_{j,k,l}^{m+1} - u_{j,k,l+1}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] \quad (4.28)$$

$$\begin{aligned}
\frac{HUN_{j,k} * u_{j,k,l}^{m+1} - HU_{j,k} * u^{m*}}{\Delta t} &= \\
\frac{1}{HU_{j,k}} \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{u_{j,k,l-1}^{m+1} u_{j,k,l}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{u_{j,k,l}^{m+1} u_{j,k,l+1}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] &\quad (4.29)
\end{aligned}$$

Eş. 4.30’da hız bileşeni v’nin zamanla değişiminin sayısal eşitliği verilmektedir.

$$\frac{(vD)^{m+1} - (vD)^m}{\Delta t} \cong \frac{HVN_{j,k} * v_{j,k}^{m+1} - HV_{j,k} * v_{j,k}^m}{\sigma} \quad (4.30)$$

Hareket denklemlerinin (Eş. 4.10) x yönündeki yayılım terimi $\left(\frac{\partial}{\partial x} (uvD)^m \right) uD$ ve v terimlerini içermektedir. Her iki terimin x yönündeki ortalama değerleri;

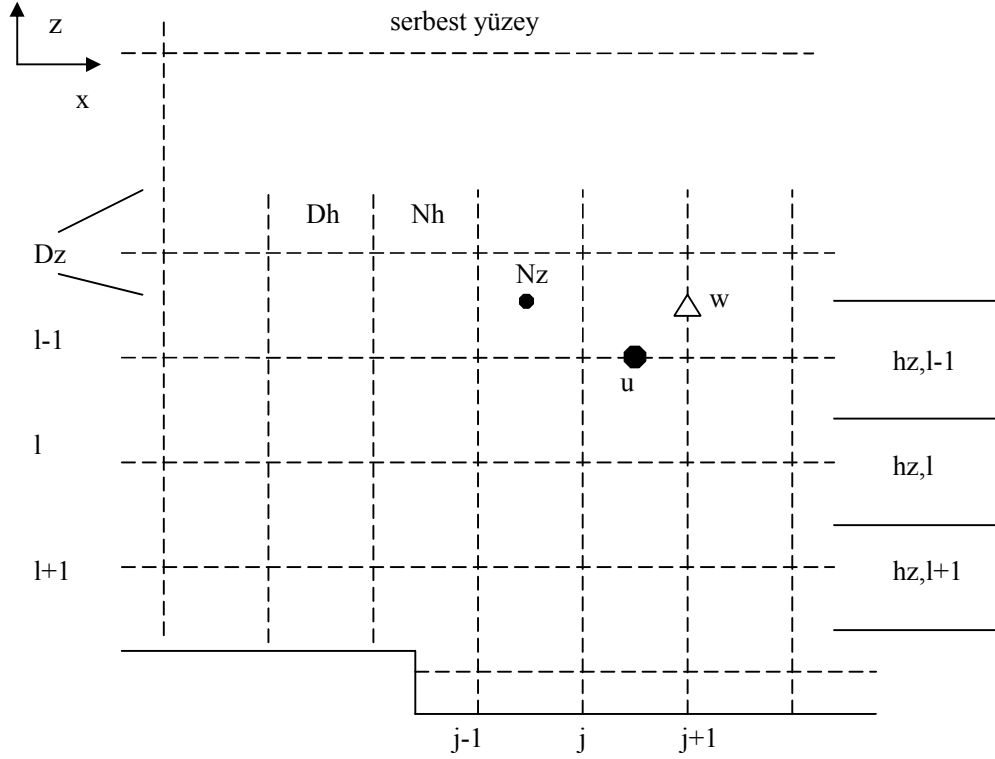
$$(uD)_r = 0.5 * (HU_{j+1,k+1} * u_{j+1,k+1,l} + HU_{j+1,k} * u_{j+1,k,l}) \quad (4.31)$$

$$v_r = 0.5 * (v_{j,k,l} + v_{j+1,k,l})$$

$$(uD)_l = 0.5 * (HU_{j,k+1} * u_{j,k+1,l} + HU_{j,k} * u_{j,k,l}) \quad (4.32)$$

$$v_l = 0.5 * (v_{j,k,l} + v_{j-1,k,l})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (vuD)^m \cong \frac{(uD)_r v_r - (uD)_l v_l}{hx} \quad (4.33)$$



Şekil 4.4. x-z düzleminde çözüm ağı şeması [14]

Hareket denkleminin (Eş. 4.10) y yönündeki yayılım terimi $\left(\frac{\partial}{\partial y} (vuD)^m \right) uD$ ve y yönündeki ortalama hız değerleri;

$$(vD)_{up} = 0.5 * (HV_{j,k+1,l} * v_{j,k+1,l} + HV_{j,k} * v_{j,k,l}) \quad (4.34)$$

$$v_{up} = 0.5 * (v_{j,k+1,l} + v_{j,k,l})$$

$$(vD)_{dw} = 0.5 * (HV_{j,k} * v_{j,k,l} + HV_{j,k-1} * v_{j,k-1,l}) \quad (4.20)$$

$$v_{dw} = 0.5 * (v_{j,k,l} + v_{j,k-1,l})$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (v.u.D)^m \cong \frac{(vD)_{up} v_{up} - (vD)_{dw} * v_{dw}}{hy} \quad (4.36)$$

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

$$W_a = 0.5 * (W_{j,k,l} + W_{j,k+1,l}) \quad (4.37)$$

$$v_a = \frac{(v_{j,k,l-1} * h_{z_l} + v_{j,k,l} * h_{z_{l-1}})}{h_{z_l} + h_{z_{l-1}}}$$

$$W_b = 0.5 * (W_{j,k,l+1} + W_{j,k-1,l+1}) \quad (4.38)$$

$$v_b = \frac{(v_{j,k,l} * h_{z_{l+1}} + v_{j,k,l+1} * h_{z_l})}{h_{z_l} + h_{z_{l+1}}}$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} (Wv)^m \cong \frac{v_a W_a - v_b W_b}{h_{z(l)}} \quad (4.39)$$

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

$$u_u = 0.5 * (un_{j+1,k+1,l} + un_{j,k+1,l})$$

$$u_{dw} = 0.5 * (un_{j+1,k,l} + un_{j,k,l}) \quad (4.40)$$

$$f(Du)^m = f * 0.5 * (DN_{j,k+1} * u_u + DN_{j,k} * u_{dw}) \quad (4.41)$$

Eş. 4.41'deki u_u ve u_{dw} hız terimleri y doğrultusundaki basınç değişikliklerinden etkilenmektedir.

$$gD^m \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \cong g * HV_{j,k} * \frac{\eta_{j,k+1} - \eta_{j,k}}{hy} \quad (4.42)$$

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

$$N_h \frac{\partial}{\partial x} D^m \frac{\partial v^m}{\partial x} \cong \frac{0.5 * N_h}{(hx)^2} \left[(HV_{j,k} + HV_{j+1,k}) * v_{j+1,k,l} + (HV_{j-1,k} + HV_{j,k}) * v_{j-1,k,l} - v_{j,k,l} * (HV_{j+1,k} + HV_{j-1,k}) + 2 * HV_{j,k} \right] \quad (4.43)$$

$$N_h \frac{\partial}{\partial y} D^m \frac{\partial v^m}{\partial y} \cong \frac{N_h}{(hy)^2} \left[v_{j,k+1,l} * D_{j,k+1} + v_{j,k-1,l} * D_{j,k} - v_{j,k,l} * (D_{j,k} + D_{j,k+1}) \right] \quad (4.44)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right)^{m+1} \cong \frac{1}{hz_l} \left[N_{z,l} \frac{v_{j,k,l-1}^{m+1} - v_{j,k,l+1}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l+1} \frac{v_{j,k,l}^{m+1} - v_{j,k,l+1}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] \quad (4.45)$$

Eş. 4.45'e zamana göre değişim eklenirse;

$$\frac{HVN_{j,k} * v_{j,k,l}^{m+1} - HV_{j,k} * v^{m*}}{\Delta t} = \frac{1}{HV_{j,k}} \frac{1}{h_{z,l}} \left[N_{z,l} \frac{v_{j,k,l-1}^{m+1} - v_{j,k,l}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l-1})} - N_{z,l-1} \frac{v_{j,k,l}^{m+1} - v_{j,k,l+1}^{m+1}}{0.5 * (h_{z,l} + h_{z,l+1})} \right] \quad (4.46)$$

Eş. 4.46'da v^{m*} , m zaman adımından m* zaman adımına geçerken direk metot ile hesaplanmaktadır. Düşey hız (W) ile deniz seviyesi (η) değişken terimlerdir. Bu değişkenleri bulmak için düşey ortalama süreklilik denkleminde faydalanılmaktadır. (Eş. 4.47)

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}D) + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v}D) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (4.47)$$

$$\bar{u} = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad \bar{v} = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad (4.48)$$

Eş. 4.48'de σ koordinat sisteminde derinlik boyunca ortalaması alınan hız bileşenleri (\bar{u} ve \bar{v}) belirtilmiştir.

$$\frac{\eta_{j,k}^{m+1} - \eta_{j,k}^m}{\Delta t} = - \frac{(u_a)_{j+1,k}^m * HUN_{j+1,k} (u_a)_{j,k}^m * HUN_{j,k}}{hx} - \frac{(v_a)_{j,k}^m * HVN_{j,k} - (v_a)_{j,k-1}^m * HVN_{j,k-1}}{hy} \quad (4.49)$$

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

$$\frac{\eta_{j,k}^{m+1} - \eta_{j,k}^m}{\Delta t} + \frac{u_{j+1,k,l}^{m+1} * HUN_{j+1,k} - u_{j,k,l}^{m+1} * HUN_{j,k}}{hx} + \frac{v_{j,k,l}^{m+1} * HVN_{j,k} - v_{j,k-1,l}^{m+1} * HVN_{j,k-1}}{hy} + \frac{W_{j,k,l}^{m+1} - W_{j,k,l+1}^{m+1}}{hz_l} = 0 \quad (4.50)$$

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

$$w = W + (\sigma + 1) \frac{\partial \eta}{\partial t} + uQ_x + vQ_y \quad (4.51)$$

4.2. Sigma Koordinat Sisteminde Baroklinik Model

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

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

$$-g \frac{D^2}{\rho} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{Q_x}{D} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right) d\sigma = -g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \quad (4.52)$$

$$-g \frac{D^2}{\rho} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{Q_y}{D} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right) d\sigma = -g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \quad (4.53)$$

Tüm bu sayısal ifadelerle birlikte hareket denklemleri şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(uD) + \frac{\partial}{\partial x}(u^2D) + \frac{\partial}{\partial y}(uvD) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wu) - fDv = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \\ + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial u}{\partial y} \right] - g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \end{aligned} \quad (4.54)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(vD) + \frac{\partial}{\partial x}(uvD) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2D) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(Wv) - fDu = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Nz \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \\ + Nh \left[\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial v}{\partial y} \right] - g \frac{D^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + g \frac{D}{\rho} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \end{aligned} \quad (4.55)$$

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 [14].

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

$$\sigma_t = (\rho - 1) \times 10^3 \quad (4.56)$$

Bu bağıntıda, ρ : g/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 klorluk (gr/kg) ve T sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$) [15].

$$S = 1.80655Cl \quad (4.57)$$

$$\sigma_t = (\sigma_o + 0.1324)(1 - A_t + B(\sigma_o - 0.1324)) + \Sigma_t \quad (4.58)$$

$$\sigma_o = -6.9 \times 10^{-2} + 1.4708Cl - 1.57 \times 10^{-3}Cl^2 + 3.98 \times 10^{-5}Cl^3 \quad (4.59)$$

$$A_t = 4.7867 \times 10^{-3}T - 9.8185 \times 10^{-5}T^2 + 1.0843 \times 10^{-6}T^{-3} \quad (4.60)$$

$$B_t = 1.803 \times 10^{-5}T - 8.146 \times 10^{-7}T^2 + 1.667 \times 10^{-8}T^3 \quad (4.61)$$

$$\Sigma_t = -(T - 3.98)^2(T + 283)(503.57(T + 67.26))^{-1} \quad (4.62)$$

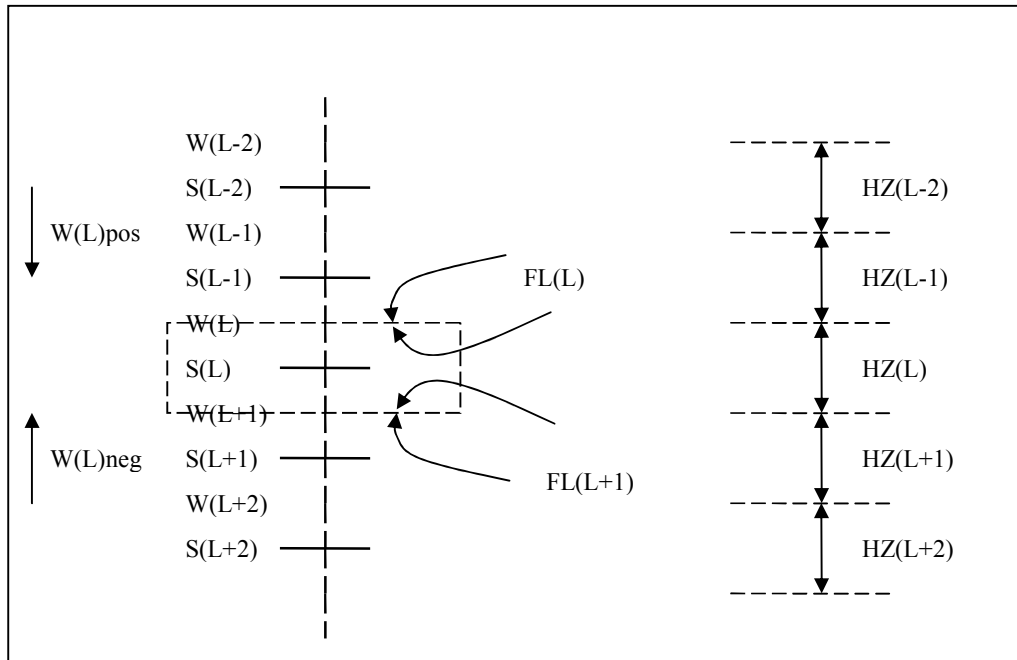
Eş. 4.65 ve Eş. 4.66'da, tuzluluk ve sıcaklık yayılım-dağılım denklemleri σ koordinat sistemine göre yazılmıştır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(DS) + \frac{\partial}{\partial x}(uDS) + \frac{\partial}{\partial y}(vDS) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(WS) &= \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Dz \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) \\ + Dh \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial S}{\partial x} + Dh \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial S}{\partial y} & \end{aligned} \quad (4.63)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(D\theta) + \frac{\partial}{\partial x}(uD\theta) + \frac{\partial}{\partial y}(vD\theta) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(W\theta) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(D_z \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right) \\ + Dh \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial S}{\partial x} + Dh \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial S}{\partial y} \end{aligned} \quad (4.64)$$

σ ve θ dağılımları, yoğunluk dağılımının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Tuzluluk ve sıcaklık için sayısal çözümde kullanılan çözüm ağının düşey yöndeki detayı Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. x-z düzleminde çözüm ağı şeması [14]

$$\frac{(DS)^{m*} - (DS)^m}{\Delta t} = \frac{HN_{j,k} * S_{j,k,l}^{m+1} - HO_{j,k} * S_{j,k,l}^m}{\Delta t} \quad (4.65)$$

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

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

$$\frac{\partial}{\partial x}(uDS) \cong \frac{FLXR - FLXL}{hx} \quad (4.66)$$

Sağdan gelen akı;

$$FLXR = 0.5 * (S_{j,k,l} + S_{j+1,k,l}) * u_{j+1,k,l}^m * HU_{j+1,k} \quad (4.67)$$

Soldan gelen akı;

$$FLXL = 0.5 * (S_{j,k,l} + S_{j-1,k,l}) * u_{j,k,l}^m * HU_{j,k} \quad (4.68)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial y}(vDS) \cong \frac{FLYR - FLYL}{hy} \quad (4.69)$$

Sağdan gelen akı;

$$FLYR = 0.5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k+1,l}) * v_{j,k,l}^m * HV_{j,k} \quad (4.70)$$

Soldan gelen akı;

$$FLYL = 0.5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k-1,l}) * v_{j,k-1,l}^m * HV_{j,k-1} \quad (4.71)$$

Üstten gelen akı;

$$FLZU = W_{j,k,l} * 0.5 * (S_{j,k,l} + S_{j,k,l-1}) \quad (4.72)$$

Altan gelen akı;

$$FLZD = W_{j,k,l+1} * 0.5 * (S_{j,k,l+1} + S_{j,k,l}) \quad (4.73)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma}(WS) \cong \frac{FLZU - FLZD}{hz_l} \quad (4.74)$$

Açık yüzeylerde [10];

$$FLZU = 0, FLZD = wpd * S_{j,k,2}^m + wnd * S_{j,k,l}^m \quad (4.75)$$

5. MODEL UYGULAMASI

Model Mersin Körfezi'nde seçilen bir noktada yüzeyden uygulanan sürekli noktasal sıcak su deşarjının uzak alan yayılımının benzeştirilmesi için kullanılmıştır. Bölgenin meteorolojik ve topografik verileri elde edilip çeşitli rüzgar hızları ve rüzgar yönleri için uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda farklı hızlar için uygun difüzyon katsayısı, düşey vizkosite katsayısı ve yatay vizkosite katsayıları denenmiş ve uygulama alanında uygun sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Rüzgar yönü olarak kıyıda etkili olabilecek kuzey doğu ve kuzey batı yönleri ile açık denizde etkili olabilecek güney doğu yönleri seçilmiştir. Kıyıda etkili olabilecek kuzey yönü denenmiş olsa da, model doğru sonuçlar vermediği için, bu yön çalışmadan çıkarılmıştır. Kirletici tüm uygulamalarda deniz yüzeyinden verilmiştir. Ortam sıcaklığı 2 °C ve kirletici sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır. Modelin akım şeması EK 1'de verilmiştir.

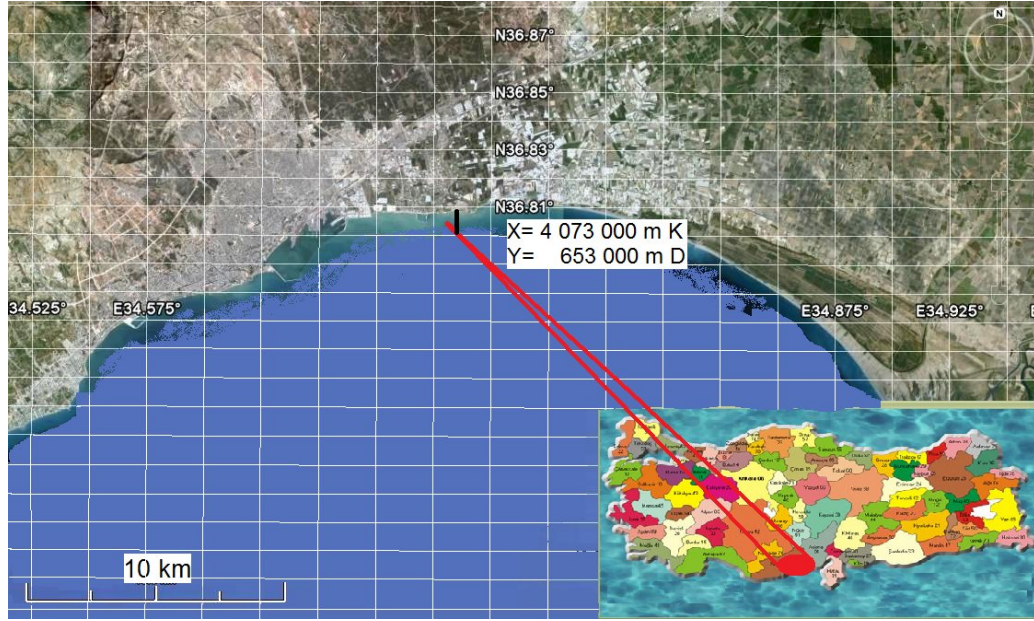
5.1. Uygulama Alanının Türkiye'deki Yeri

Proje alanı Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda bulunan Mersin Körfezi'dir. Mersin İli Akdeniz Bölgesi'nin en gelişmiş illerinden biridir. Mersin ili 36-37° kuzey enlemleri ve 33-35° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesi'ndeki en büyük liman bu ildedir. İlde Serbest Ticaret Bölgesi de (STB) mevcuttur. Projenin Türkiye'deki yeri Şekil 5.1 de gösterilmiştir.

5.2. Rüzgar

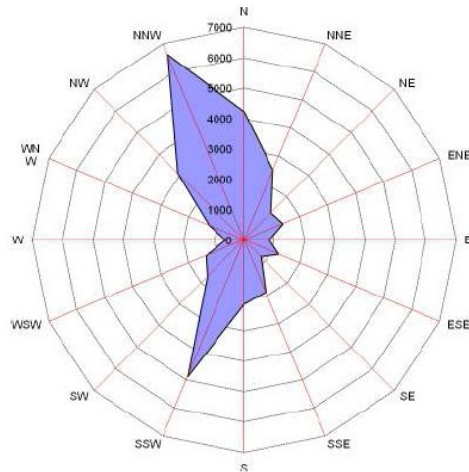
2007 Yılı Mersin İl Çevre Durum Raporu'na göre Mersin'de hakim rüzgar yönü kuzeybatı olmakla birlikte bu durum yıl içinde aylara ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Kış ve bahar aylarında (Mayıs ayı hariç) yaklaşık altı aylık bir periyotta hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeybatı yönü iken yaz aylarında (Haziran-Temmuz-Ağustos ve Mayıs ayında) hakim rüzgar yönü güney-güneybatı olmaktadır. İl merkezinde yıllık rüzgar hızı 2,2 m/sn'dir. Kuvvetli rüzgarların yıl içinde mevsim

ve aylara göre dağılışı düzensizdir. Uzun süreli ve kuvvetli esen rüzgarlar genellikle kış ve bahar aylarında güney güneybatı yönünde olmaktadır [16].



Şekil 5.1. Proje alanı

33 yıllık rasat sonuçlarına göre NNW yönünden yaklaşık 6500 rüzgar kayda alınırken SSW yönünden yaklaşık 5000 rüzgar kaydı yapılmıştır. (Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Rüzgar esme yönü ve sıklık dağılımı (33 yıllık rasat) [16]

Çizelge 5.1’de verildiği gibi 33 yıllık rasat sürecinde kaydedilen en büyük rüzgar hızı WSW yönünden esen 34,2 m/s (123,12 km/sa) hızındaki rüzgardır.

Çizelge 5.1. Aylara göre 33 yıllık rüzgar rasatları [16]

	Ock	Şbt	Mrt	Nis	Mys	Hız	Tmz	Ağs	Eyl	Ekm	Ksm	Arl	Yıllık
Ort. Rüz. hızı	2,0	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,7	2,7	2,4	2,0	1,8	1,9	2,2
En hızlı esen rüzgarın yönü ve hızı	SSW	WSW	SSW	SW	S	NNW	NW	SSW	SSW	SSW	SSW	S	WSW
	25.2	34.2	26.4	25.0	24.0	19.7	26.2	19.0	25.0	27.9	25.7	24.4	34.2

5.3. Deniz Suyu Özellikleri

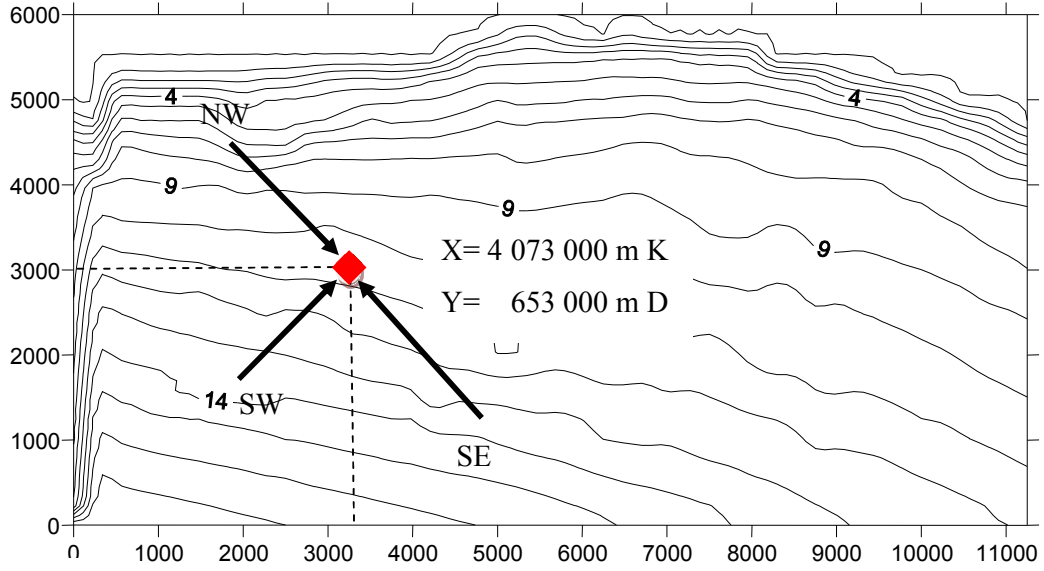
Deniz suyu yoğunluğu $\gamma=1026\text{kg/m}^3$ olarak kabul edilebilir. 2008 Mersin İli Çevre Raporuna göre en düşük su yüzeyi sıcaklıkları Şubat-Mart aylarında görülür ve 13 - 15°C civarındadır. En yüksek su yüzeyi sıcaklıkları Temmuz-Ağustos aylarında görülür ve 28-29°C civarındadır.

5.4. Gelgit

Mersin Limanı seyir bilgileri, astronomik gel-git aralığının genel olarak küçük olduğunu, yazları maksimum 0,4m’den kışları maksimum 0,75 m’ye değiştiğini göstermektedir. Dalgıçlara göre, “kuvvetli” akıntı, düz bir hatta ilerlemeye engel olan, 0,5-0,10 m/s arasında tahmin edilen akıntıdır.

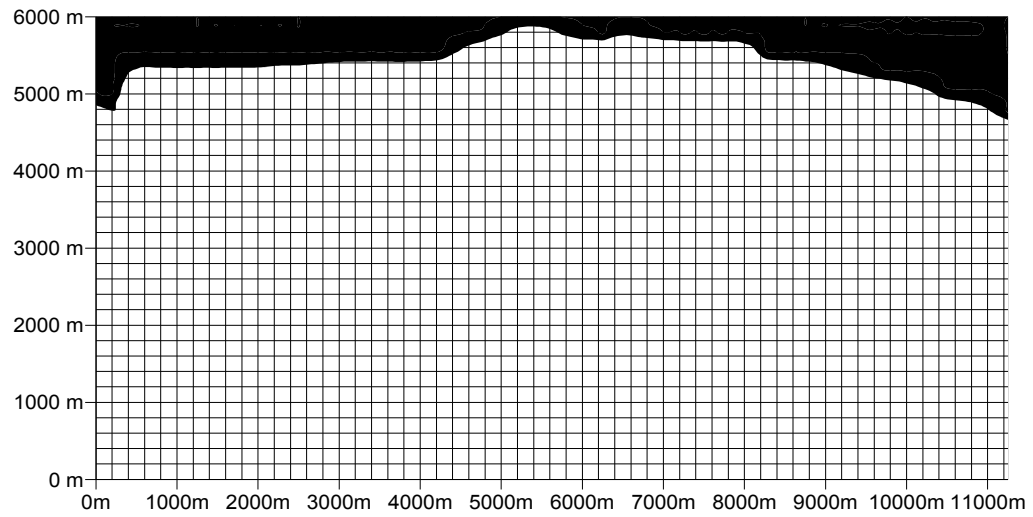
5.5. Sayısal Modelin Mersin Körfezi’ne Uygulanması

Üç boyutlu sayısal model Mersin körfezine uygulanmıştır. Körfezdeki su derinlikleri ve sıcak su deşarj noktası Şekil 5.3’te görülmektedir. Rüzgar karakteristiği, Mersin Meteoroloji İstasyonunun 33 yıllık rasatları kullanılarak belirlenmiştir. Her ne kadar en çok kaydedilen rüzgar yönleri NNW ve yönüne doğru ve SSW yönleri olsa da, uygulama esnasında kuzeye doğru esen rüzgarların oluşturduğu çevrinti düzenlerinde beklenen çevrintiler oluşmadığı için, bu yönlere yakın olan ve uygun çevrinti düzenleri veren NW ve SW yönleri kullanılmıştır. Bunun yanında kıyıda etkili olabilecek SE yönü de benzeştirme çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Uygulama alanı batimetrisi, deşarj noktası ve rüzgar yönleri

Alanda belirgin yoğunluk farklılaşması kaydı yapılmamıştır. Bu nedenle başlangıçta su yoğunluğu sabit alınmıştır. Yatayda $\Delta x = \Delta y = 250$ metrelik çözüm ağı aralığı kullanılmıştır. Deniz tabanı rijid kabul edilmiştir.

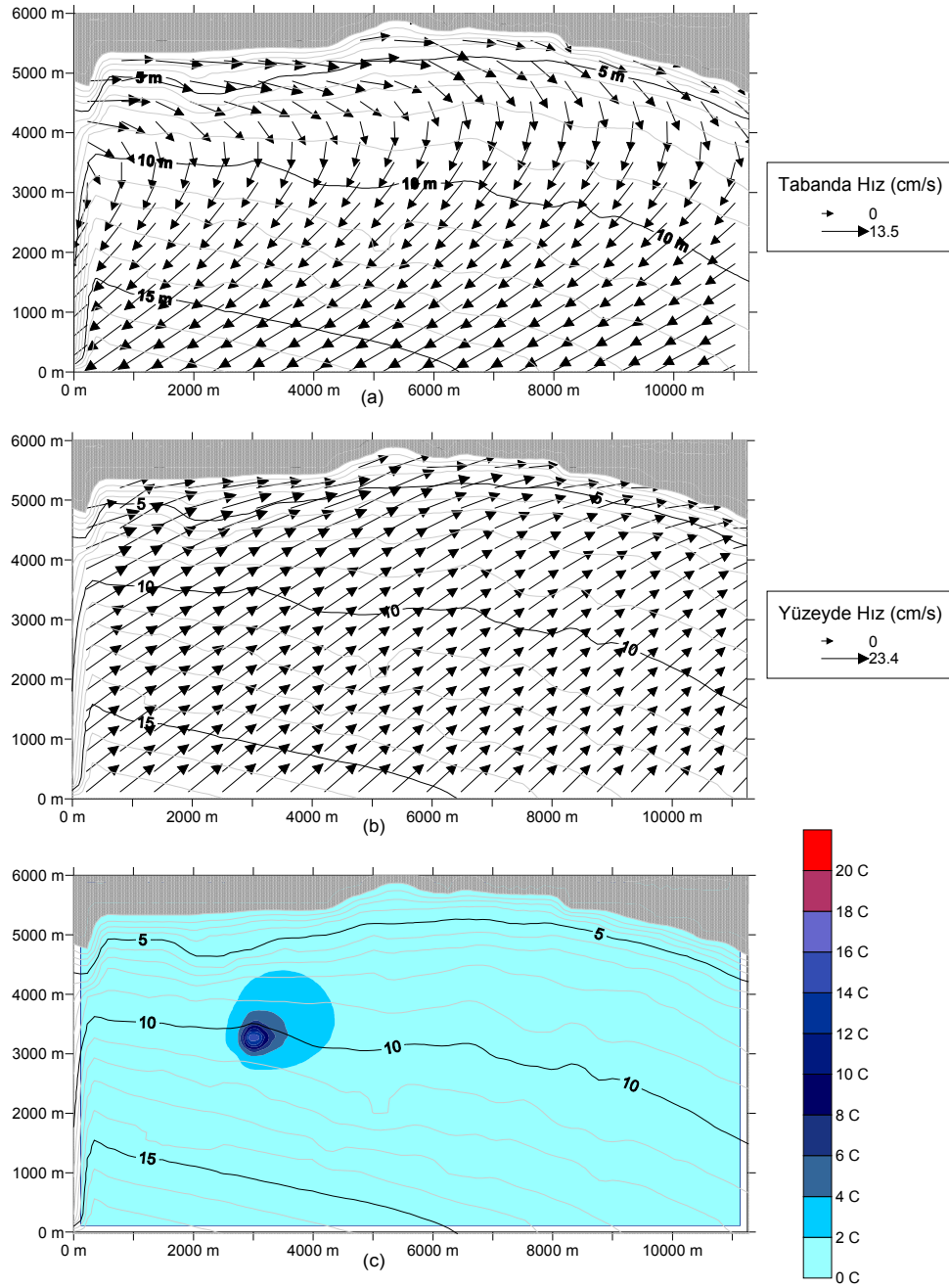


Şekil 5.4. Yatay çözüm ağı

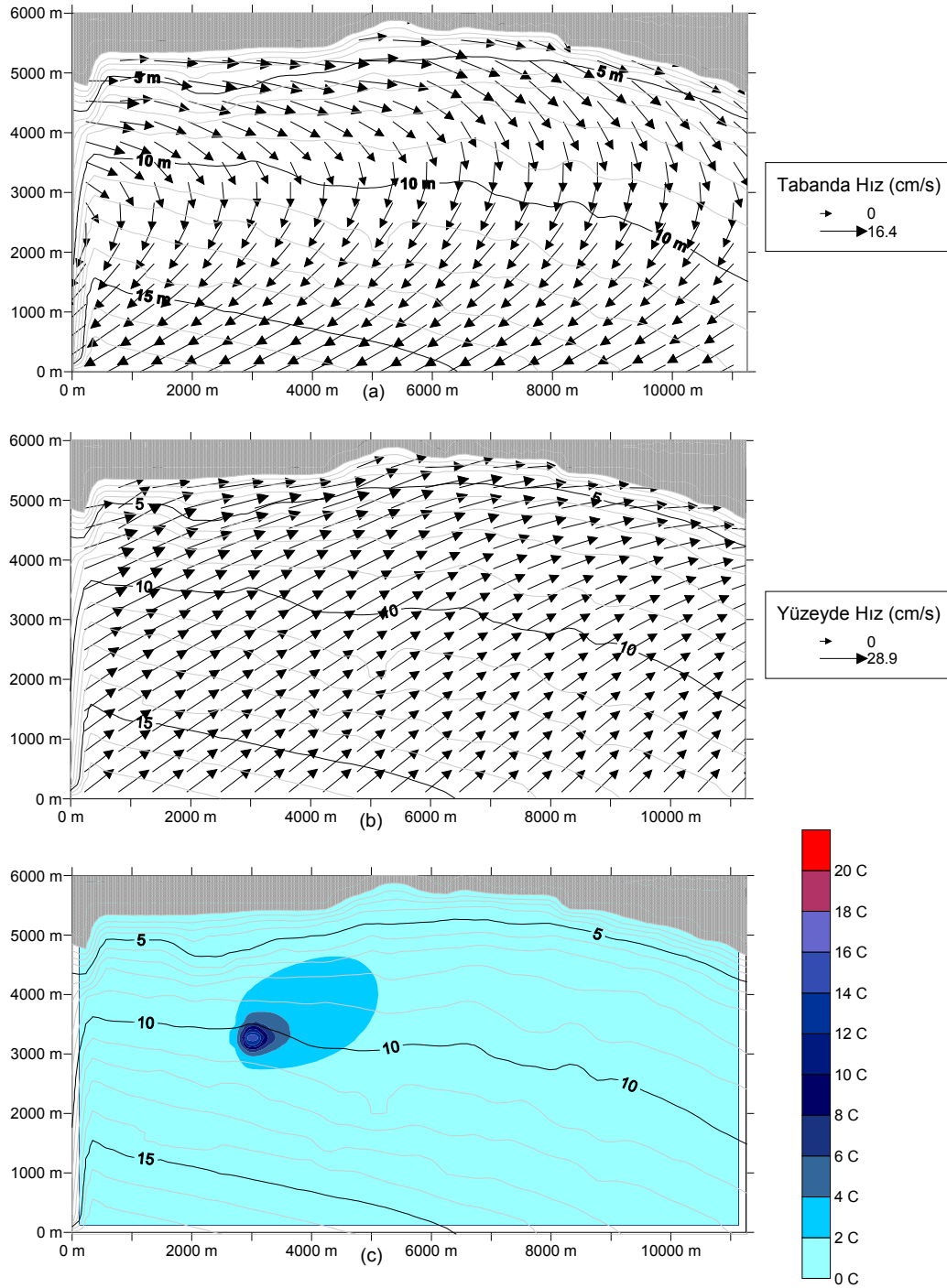
Modelin rüzgarın taşınım ve dağılıma etkisini görmek amacıyla sırasıyla 5 m/s, 10 m/s ve 20 m/s olmak üzere üç farklı rüzgar hızı ve üç farklı uygulama yönü için dokuz adet benzeştirme yapılmıştır. Bu uygulamalarda kirletici sıcaklığı 20 °C, ortam sıcaklığı 2 °C uygulama noktası ise deniz yüzeyi olarak seçilmiştir. Modelin genel yapısı EK-1’de verilmiştir.

5.5.1. Uygulama 1

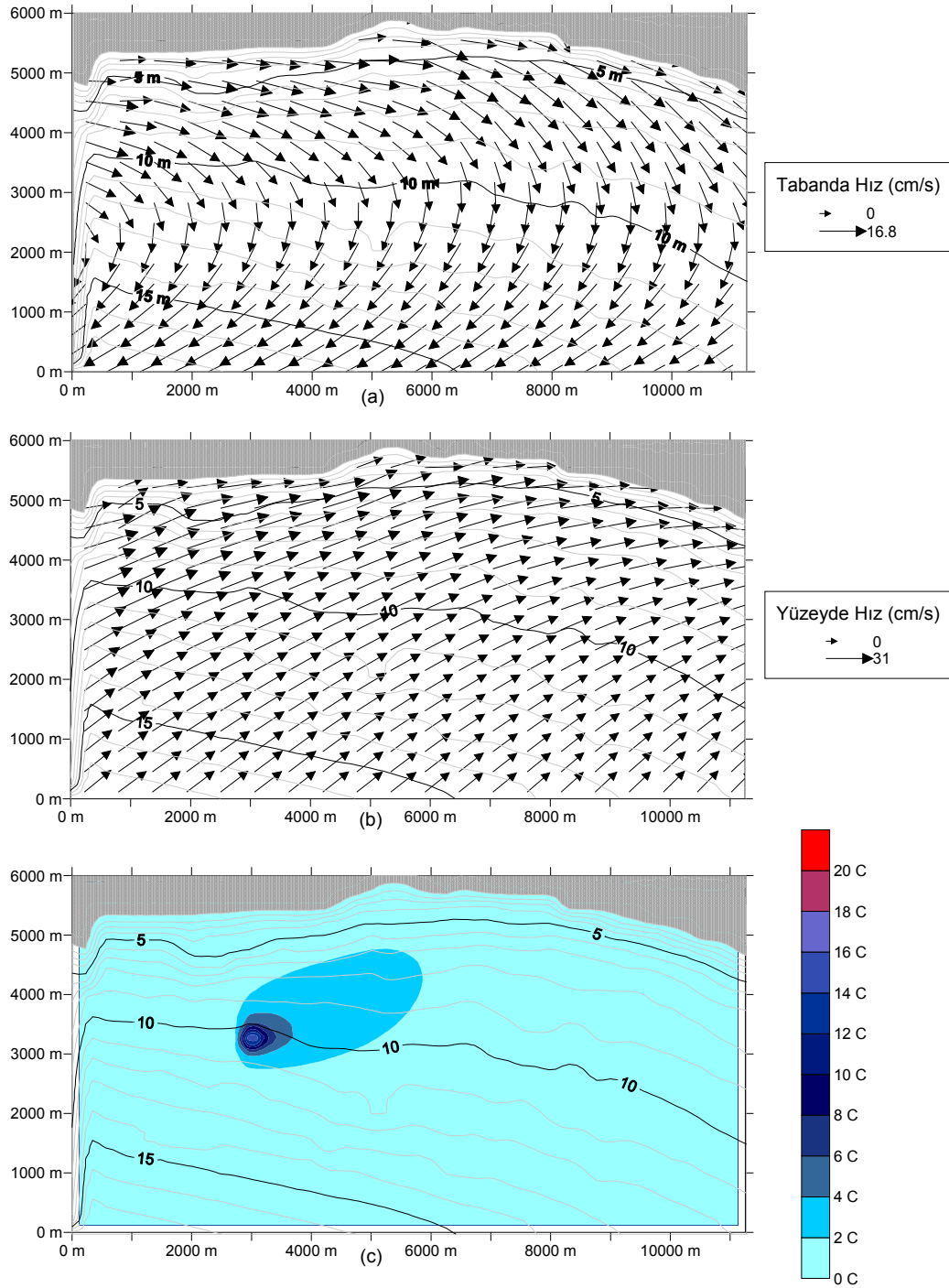
Rüzgar hızı 20 m/s, rüzgar yönü SW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.5. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



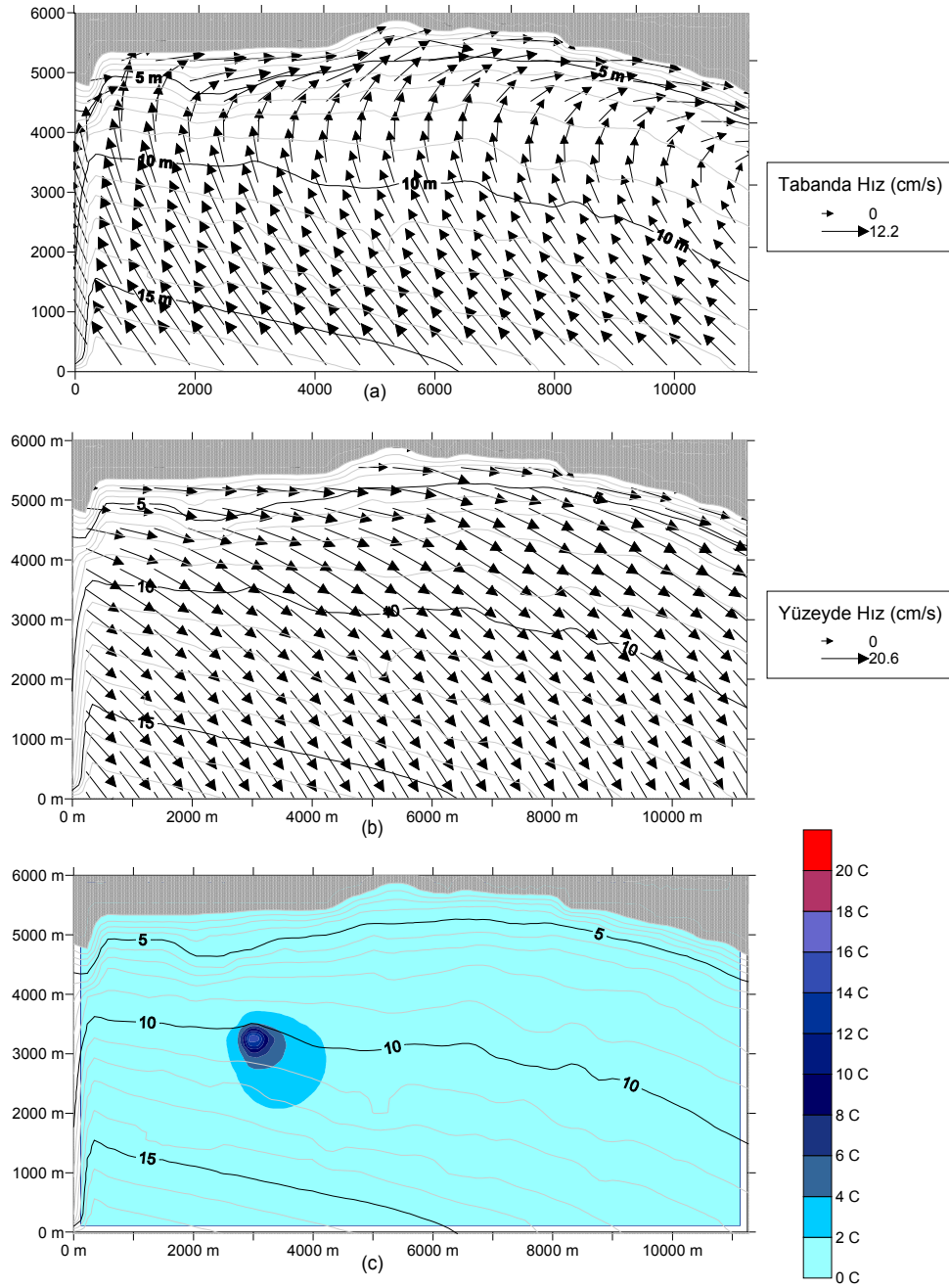
Şekil 5.6. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



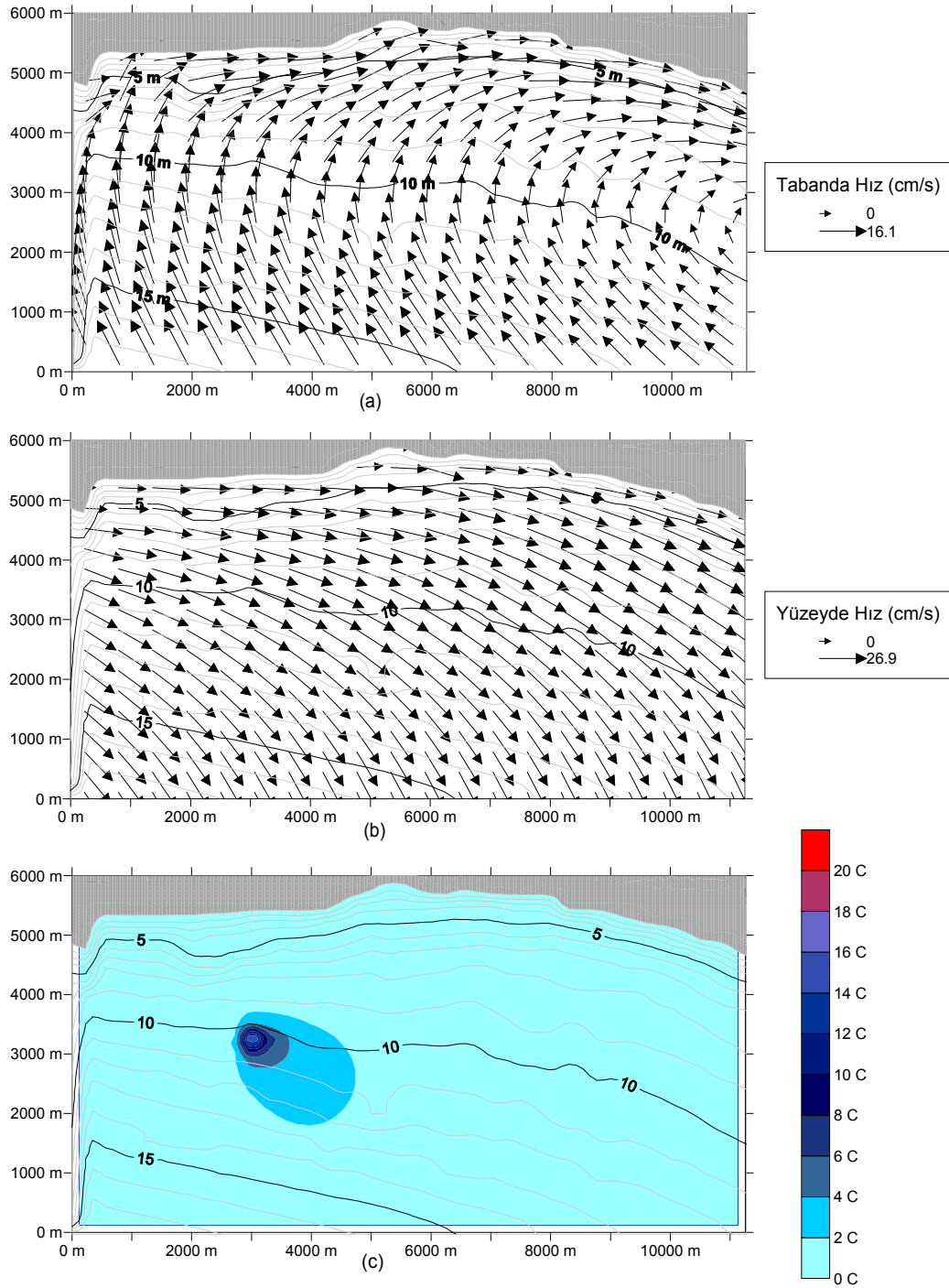
Şekil 5.7. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.2. Uygulama 2

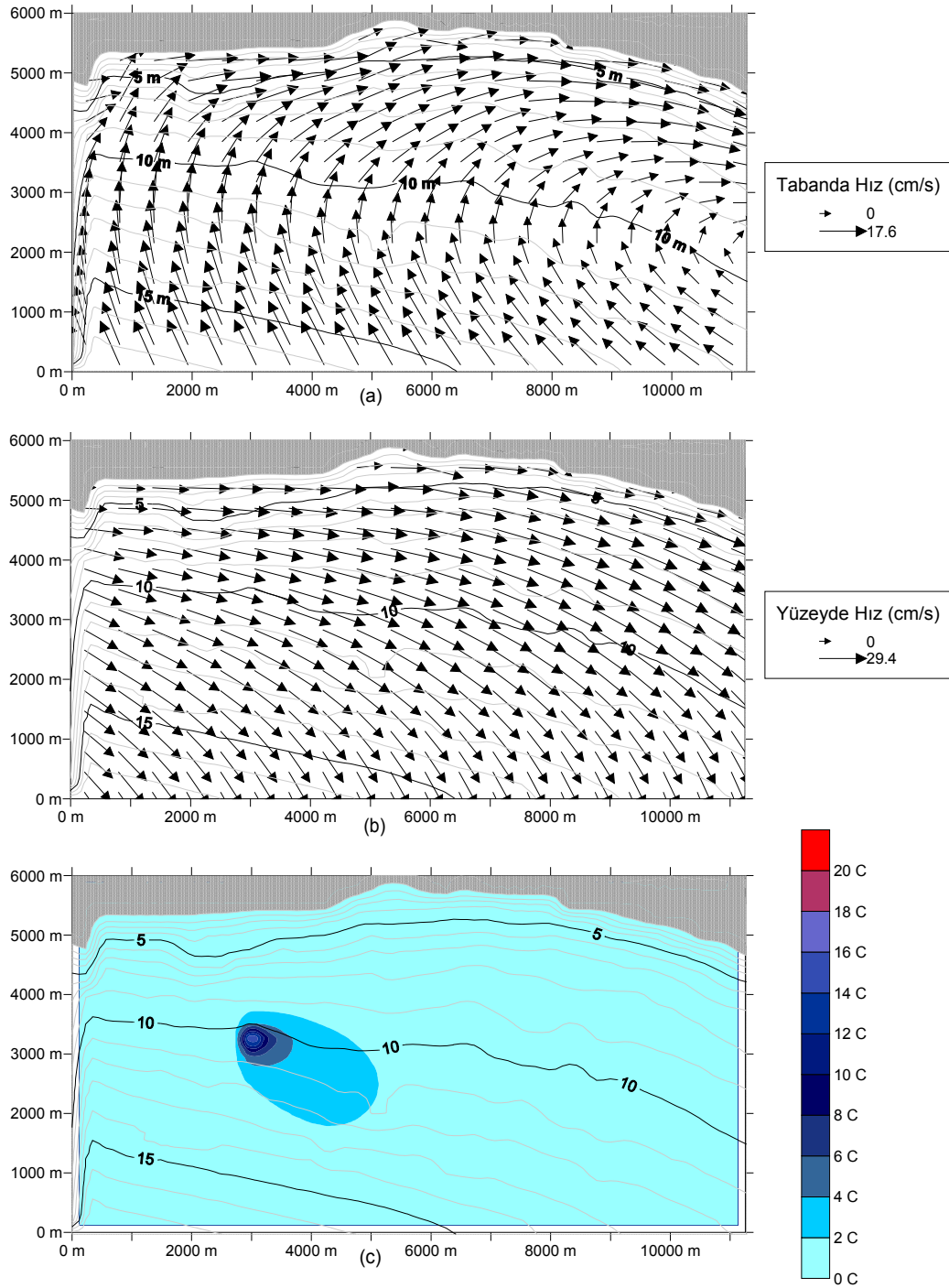
Rüzgar hızı 20 m/s, rüzgar yönü NW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2’de verilmiştir.



Şekil 5.8 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



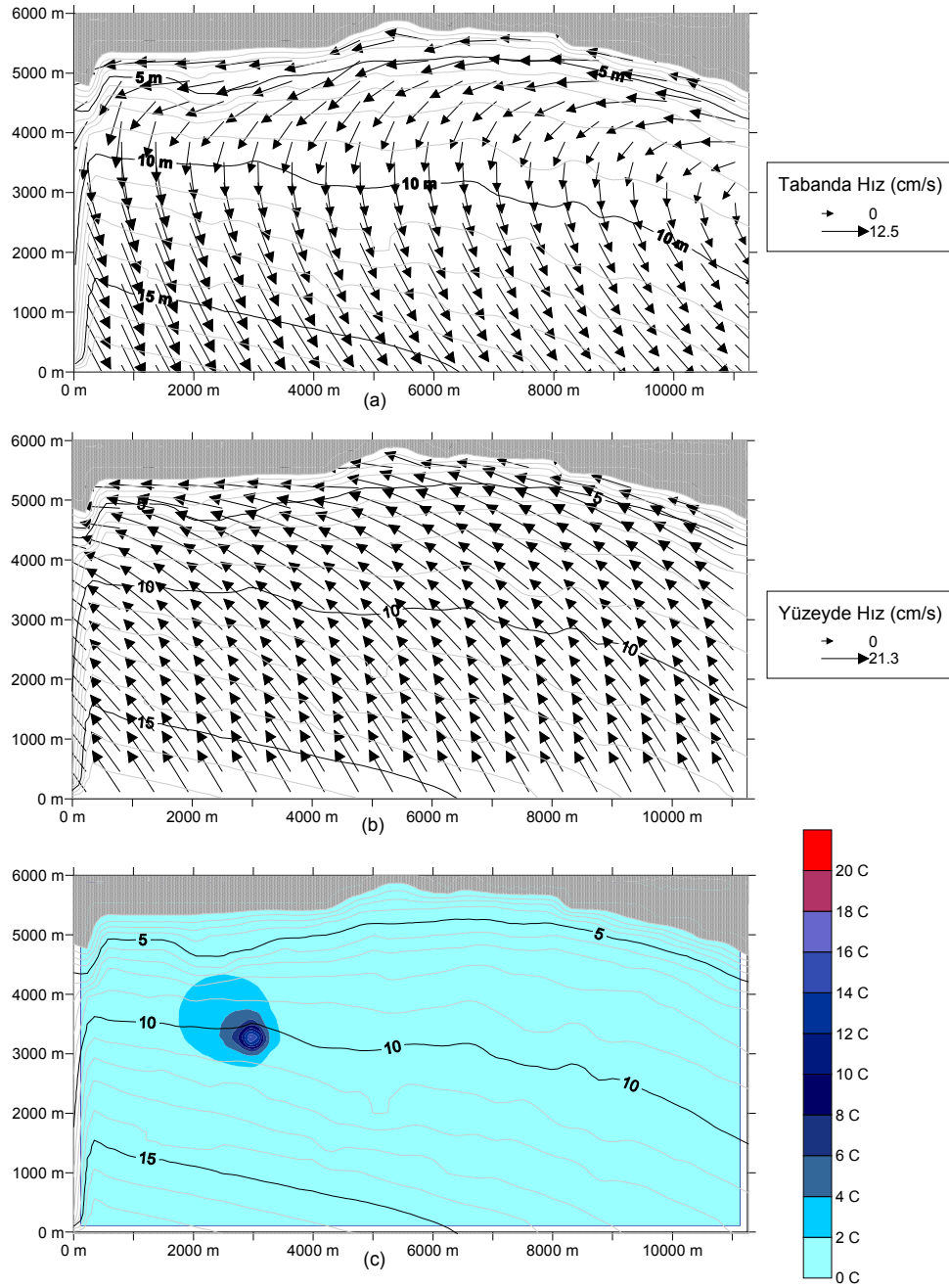
Şekil 5.9. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



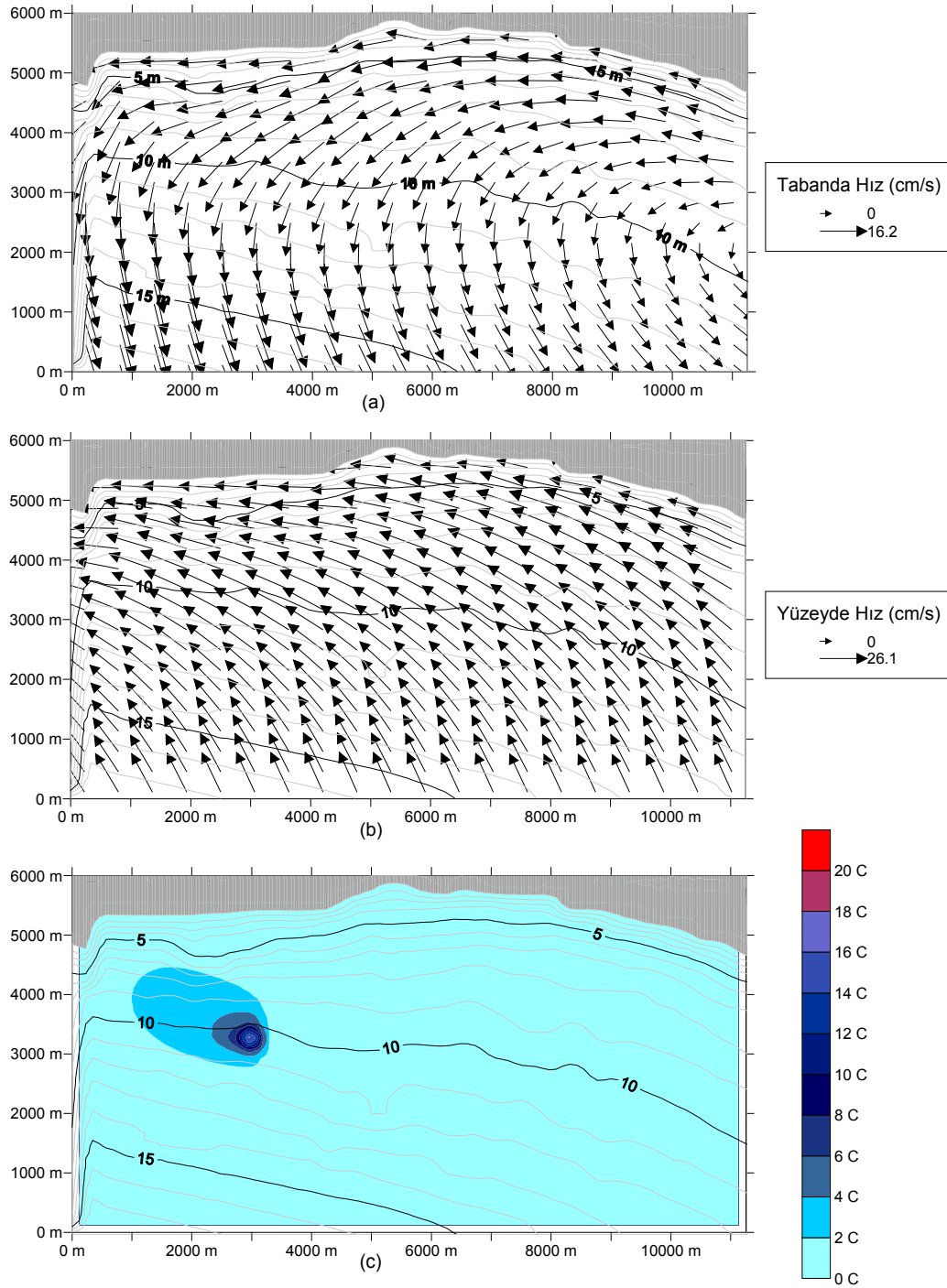
Şekil 5.10. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.3. Uygulama 3

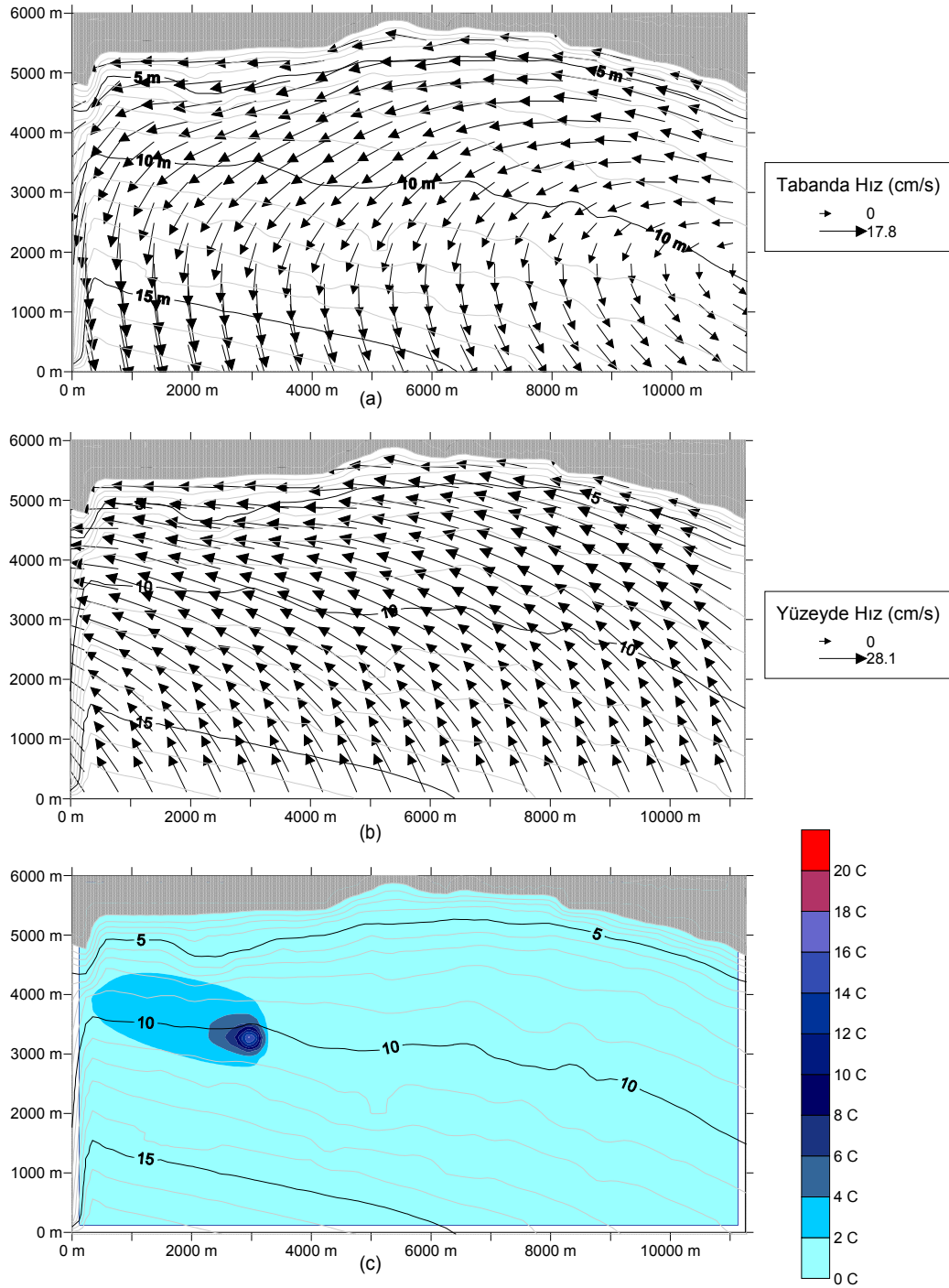
Rüzgar hızı 20 m/s, rüzgar yönü SE olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2’de verilmiştir.



Şekil 5.11. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



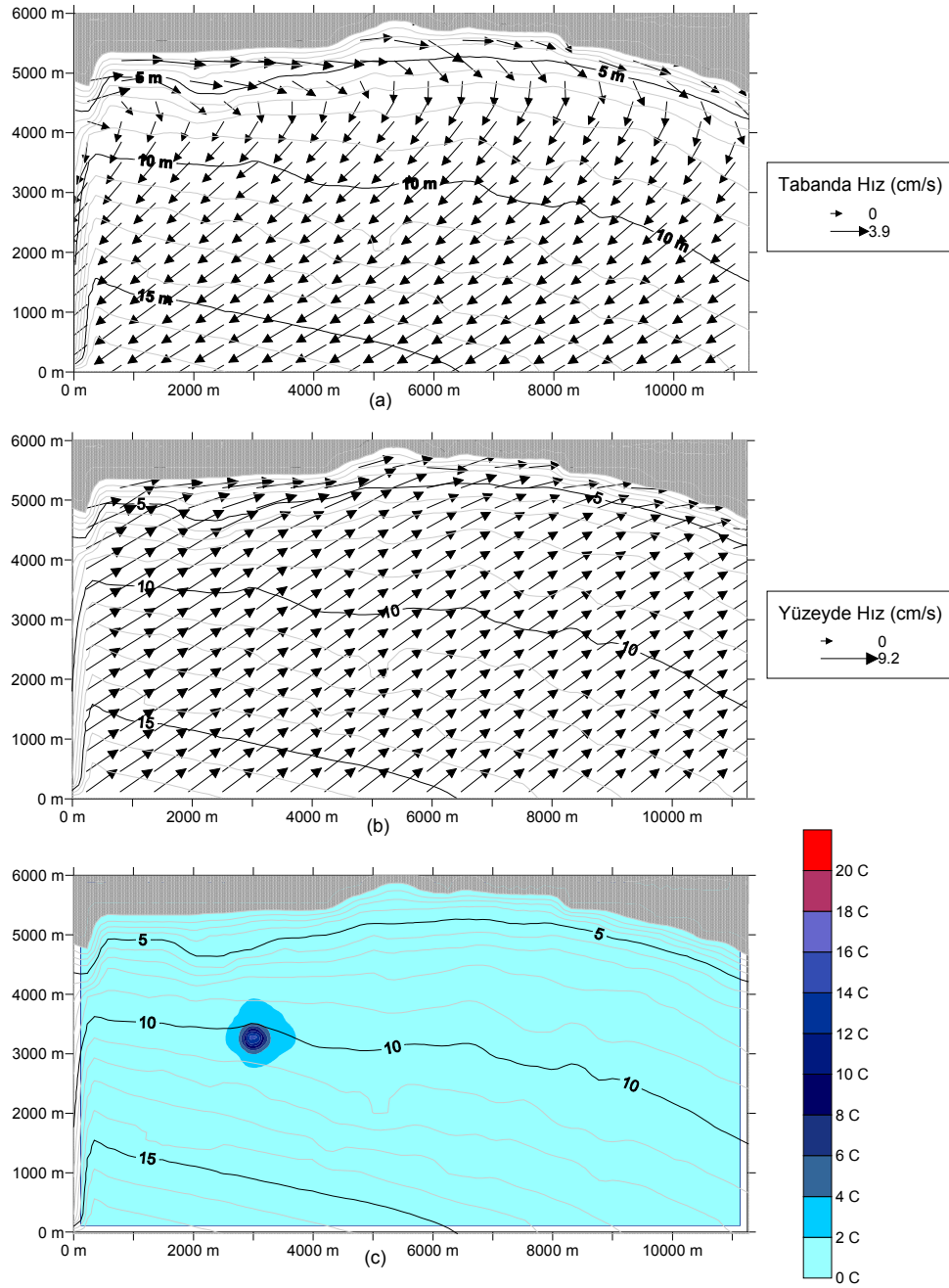
Şekil 5.12. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



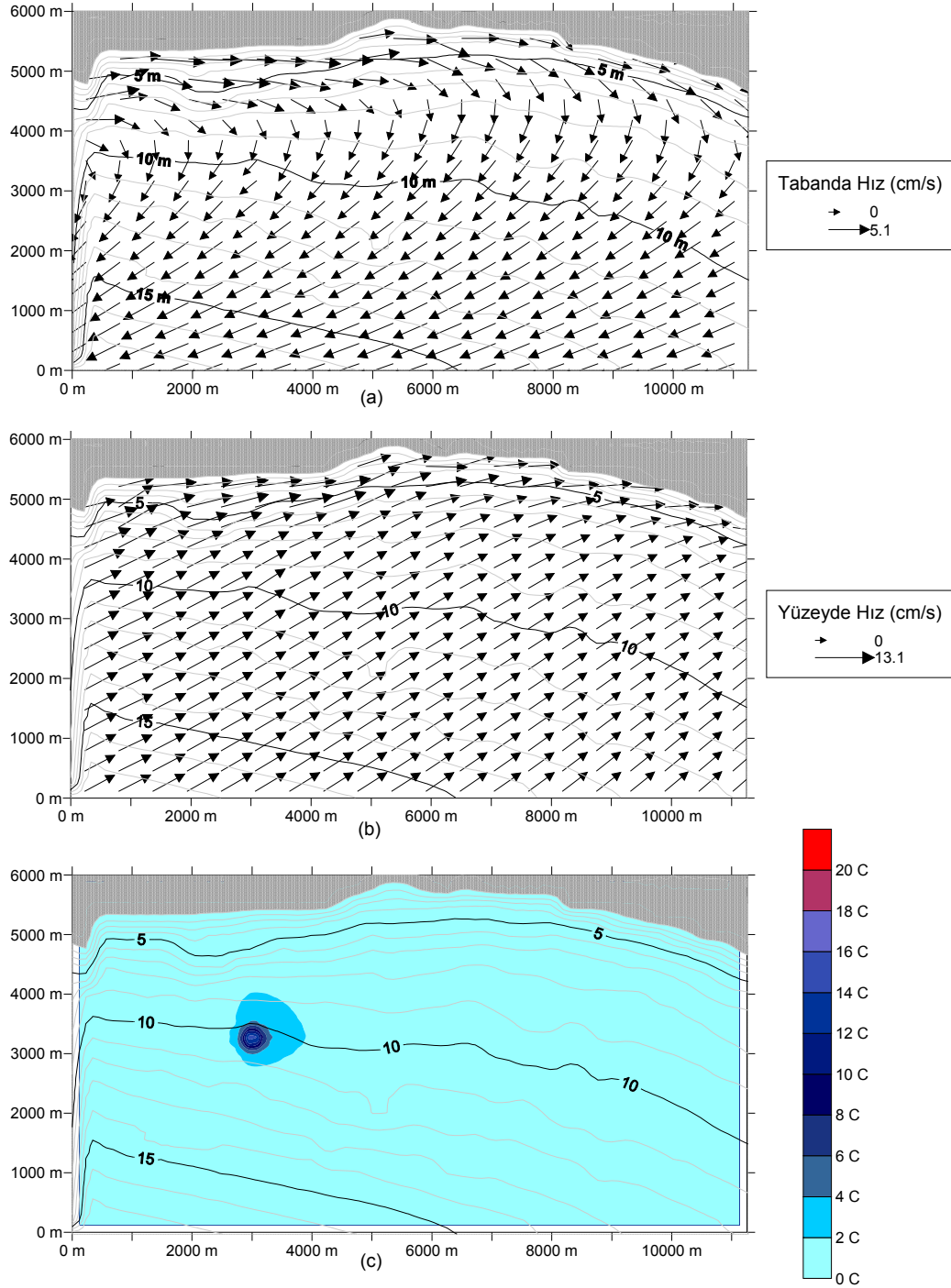
Şekil 5.13. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.4. Uygulama 4

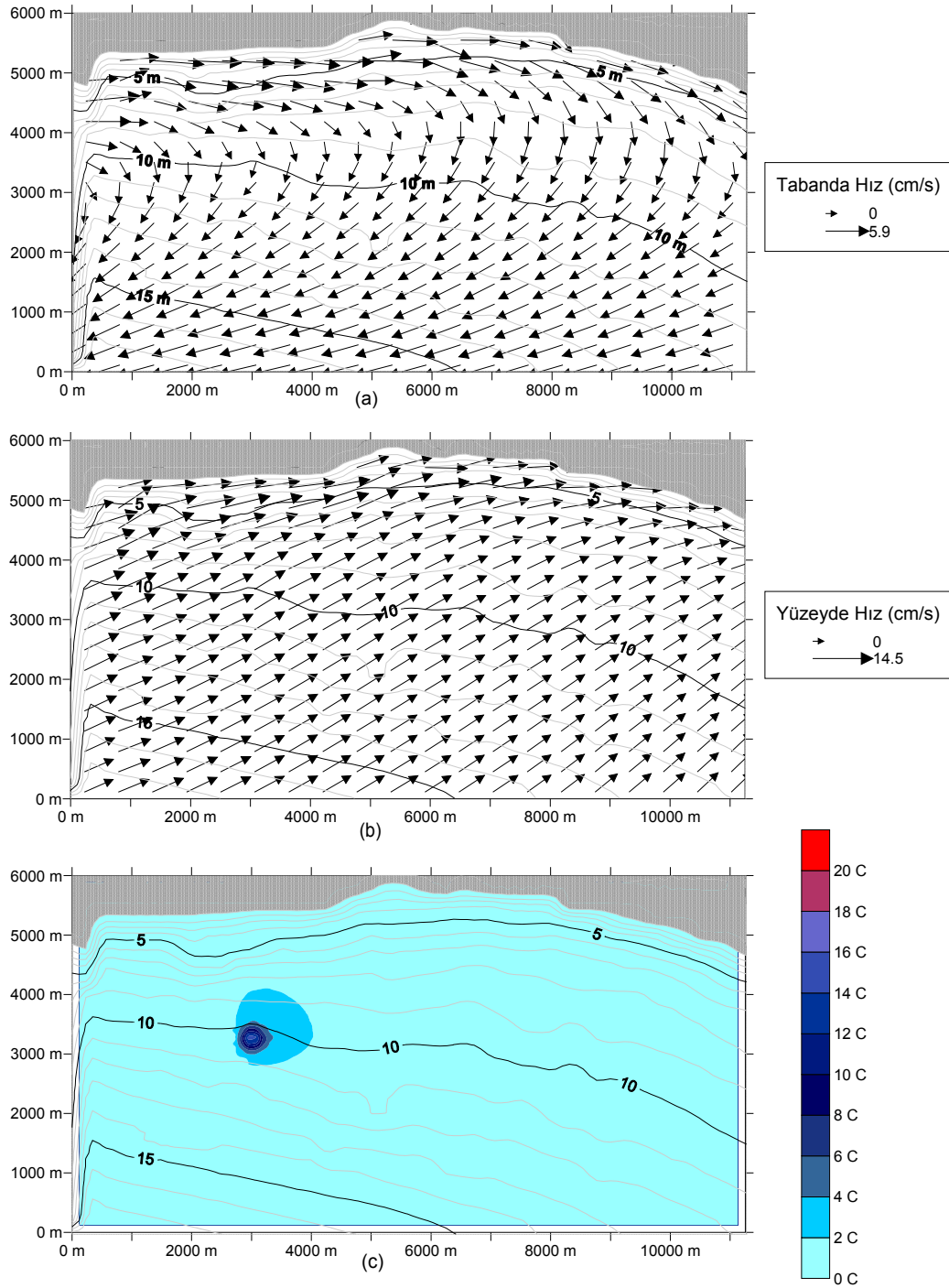
Rüzgar hızı 10 m/s, rüzgar yönü SW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.14. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



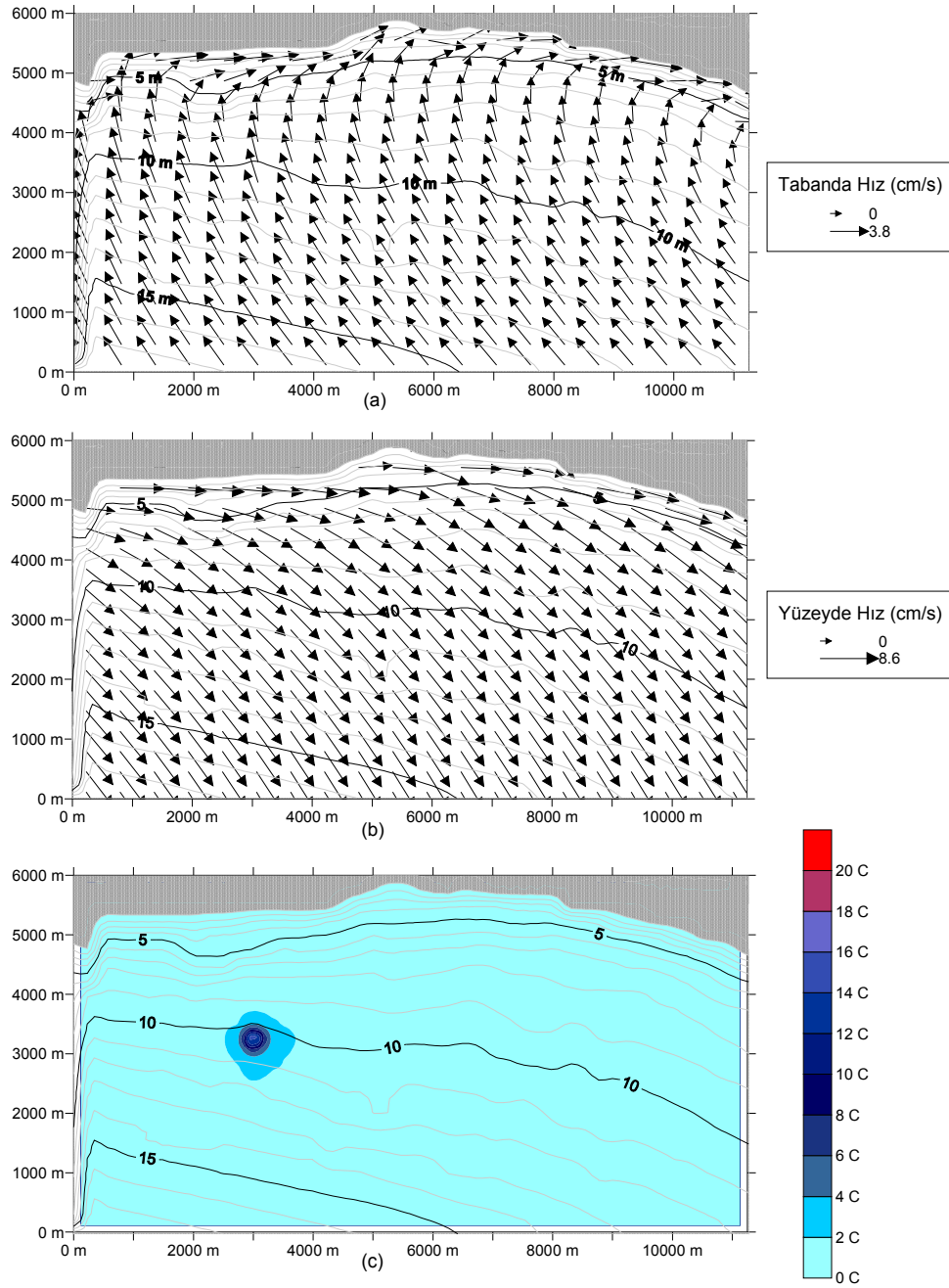
Şekil 5.15. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



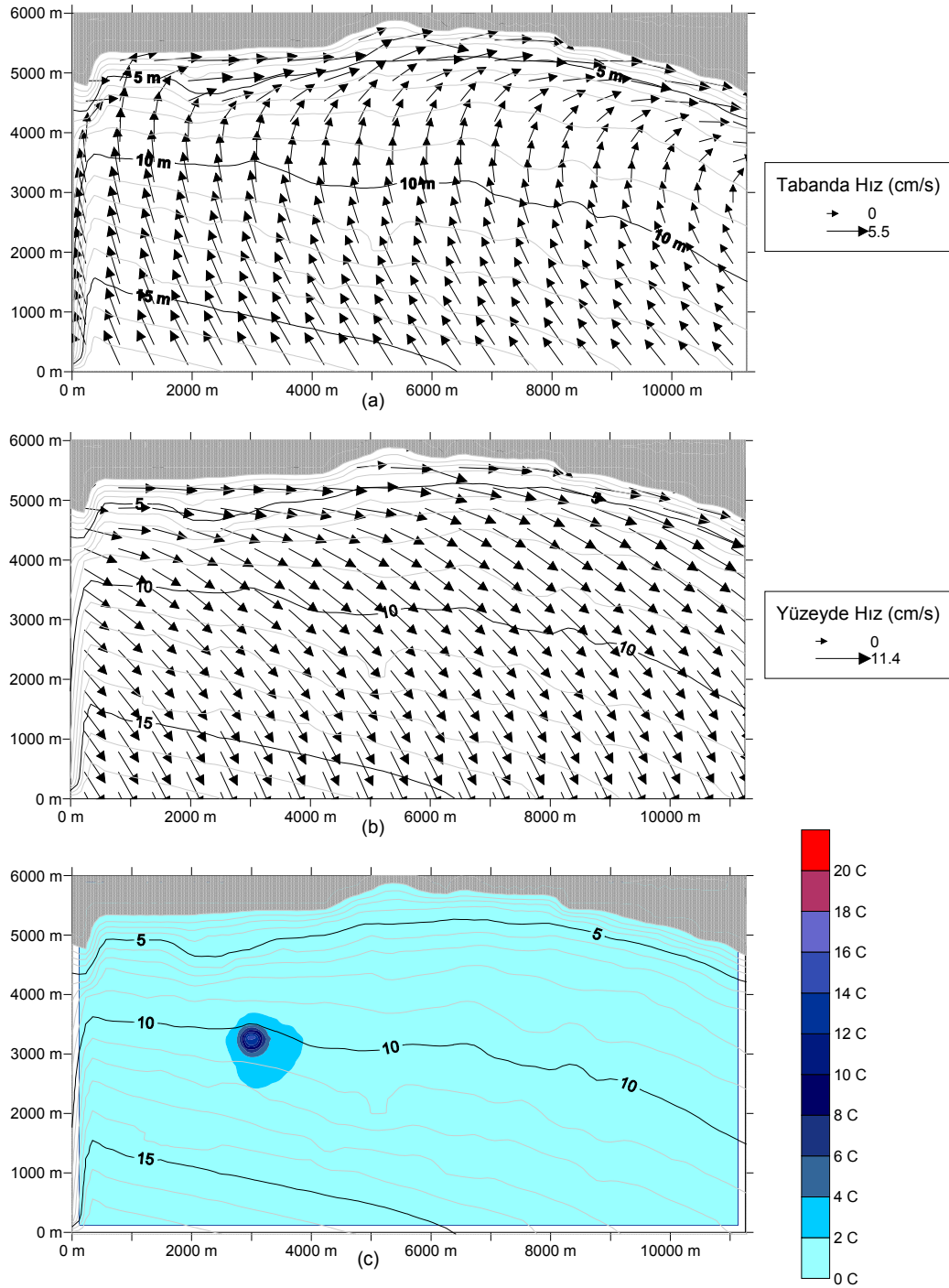
Şekil 5.16. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.5. Uygulama 5

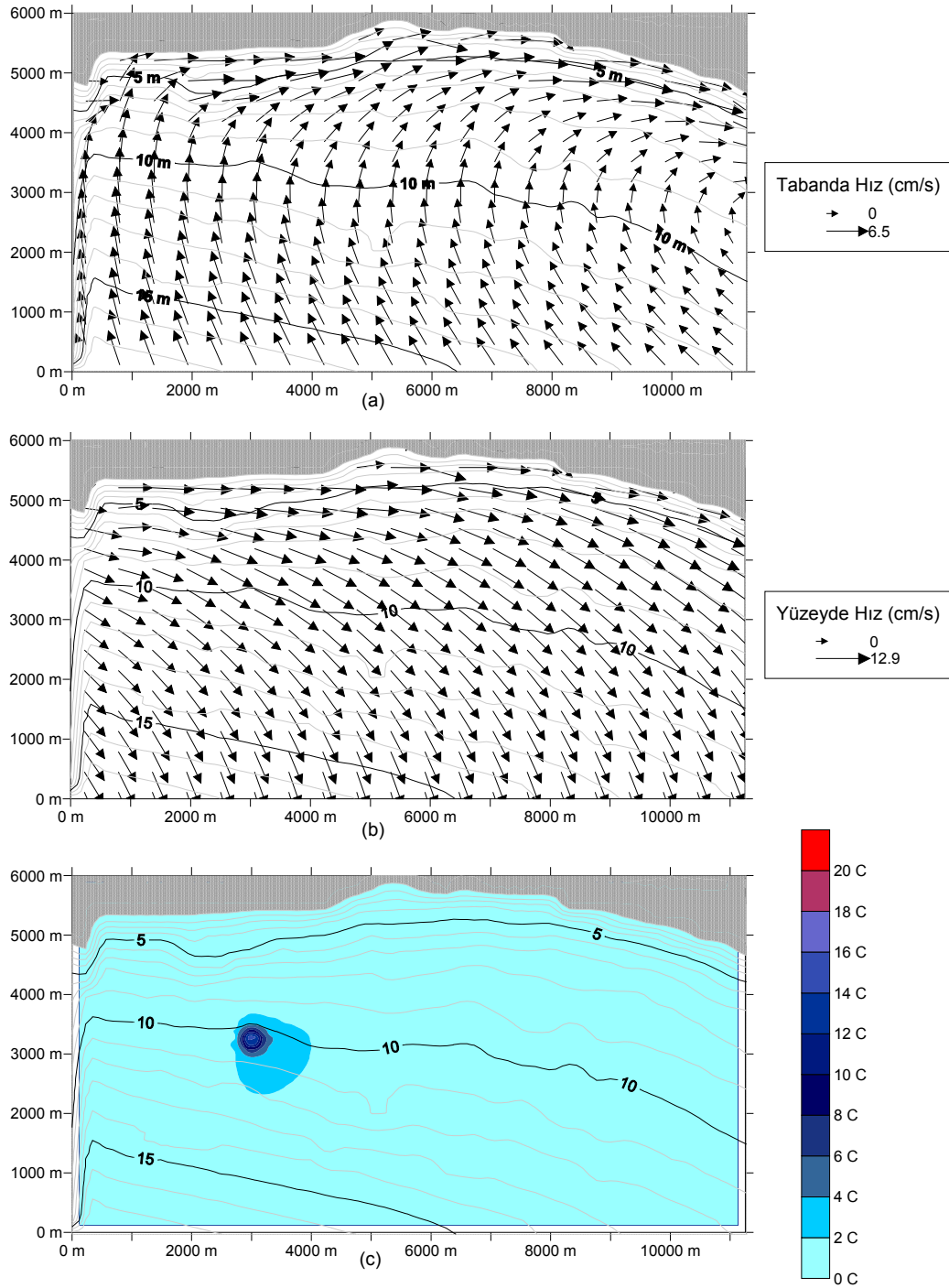
Rüzgar hızı 10 m/s, rüzgar yönü NW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.17. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



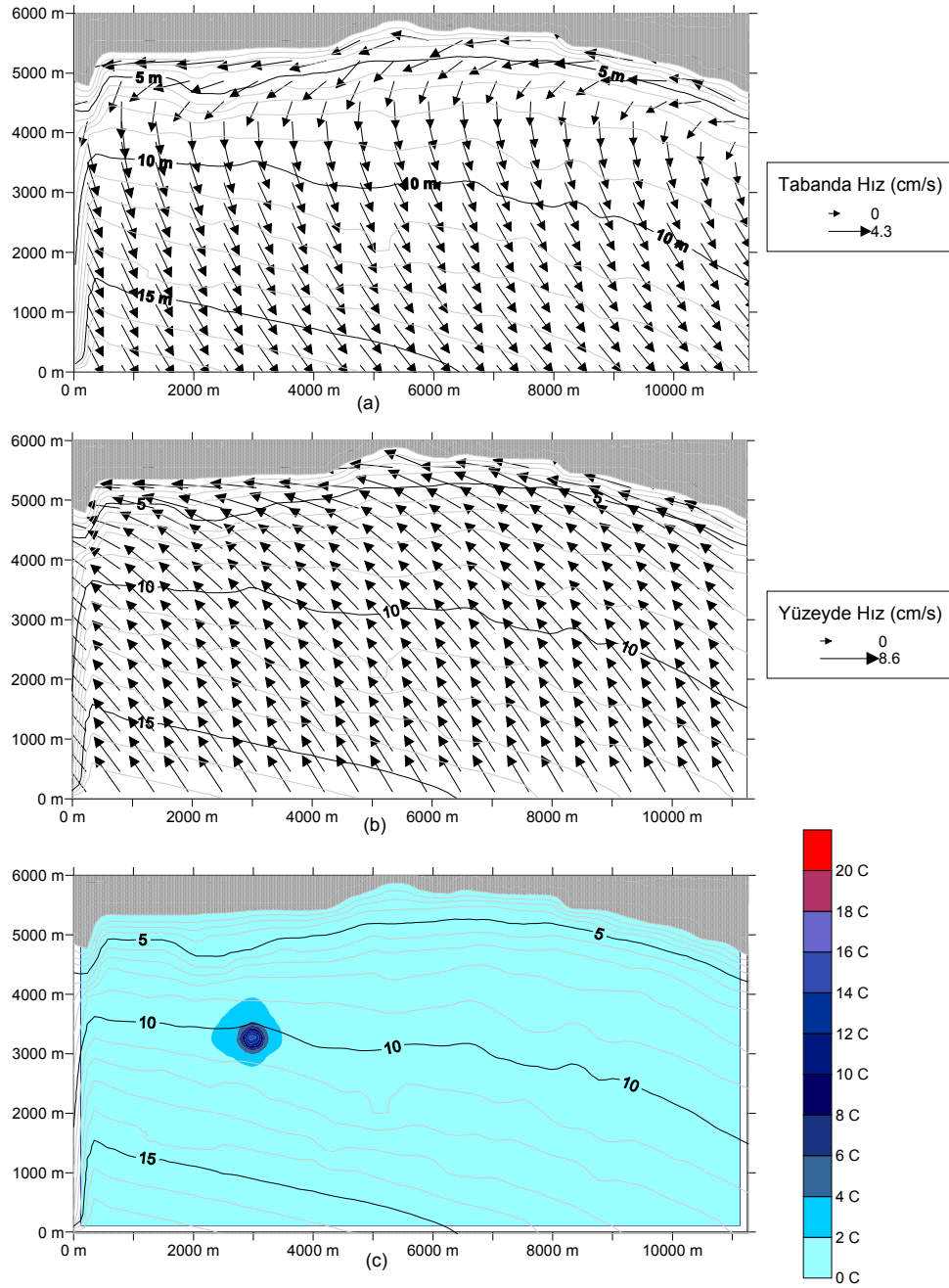
Şekil 5.18. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



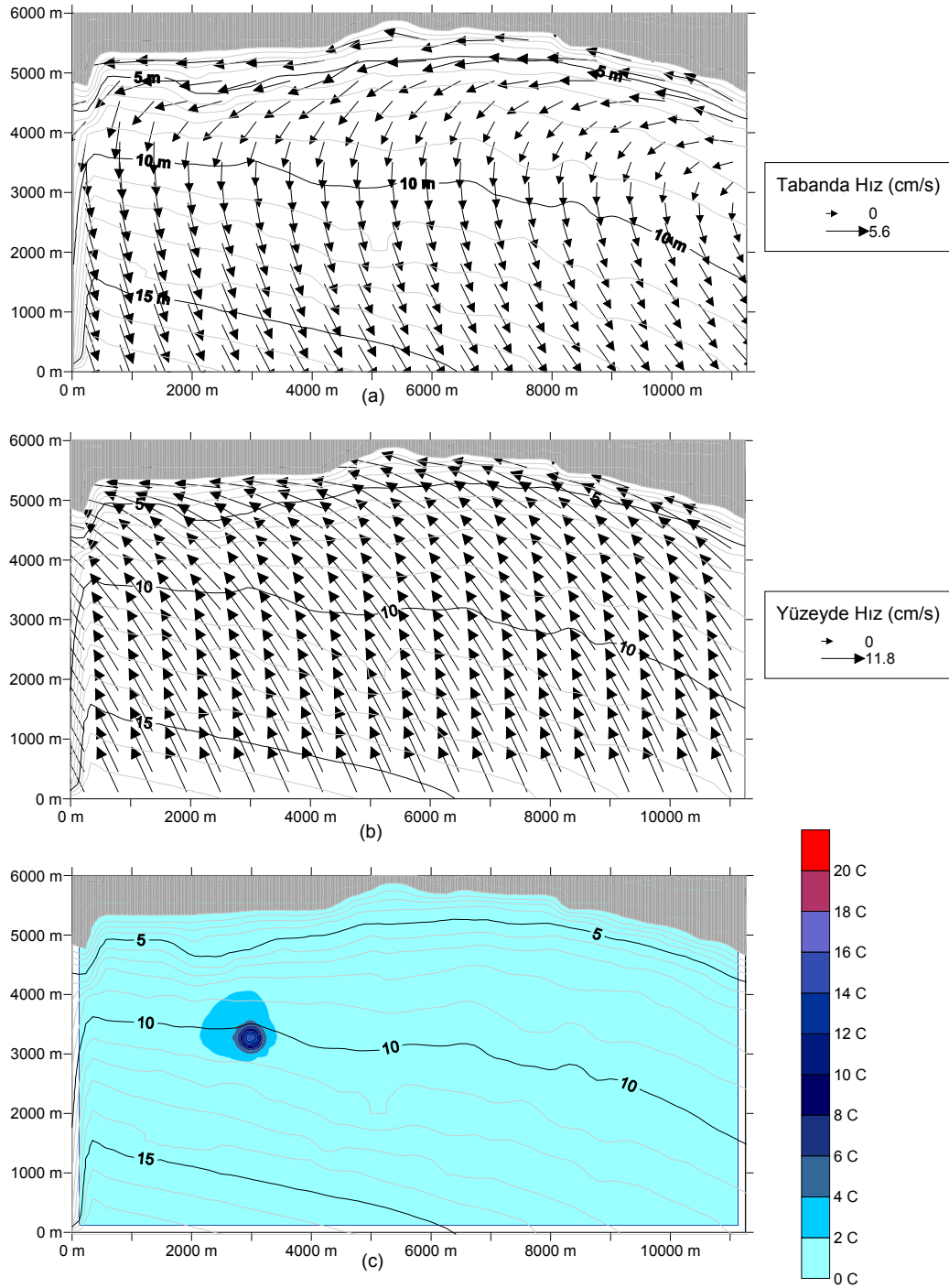
Şekil 5.19. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.6. Uygulama 6

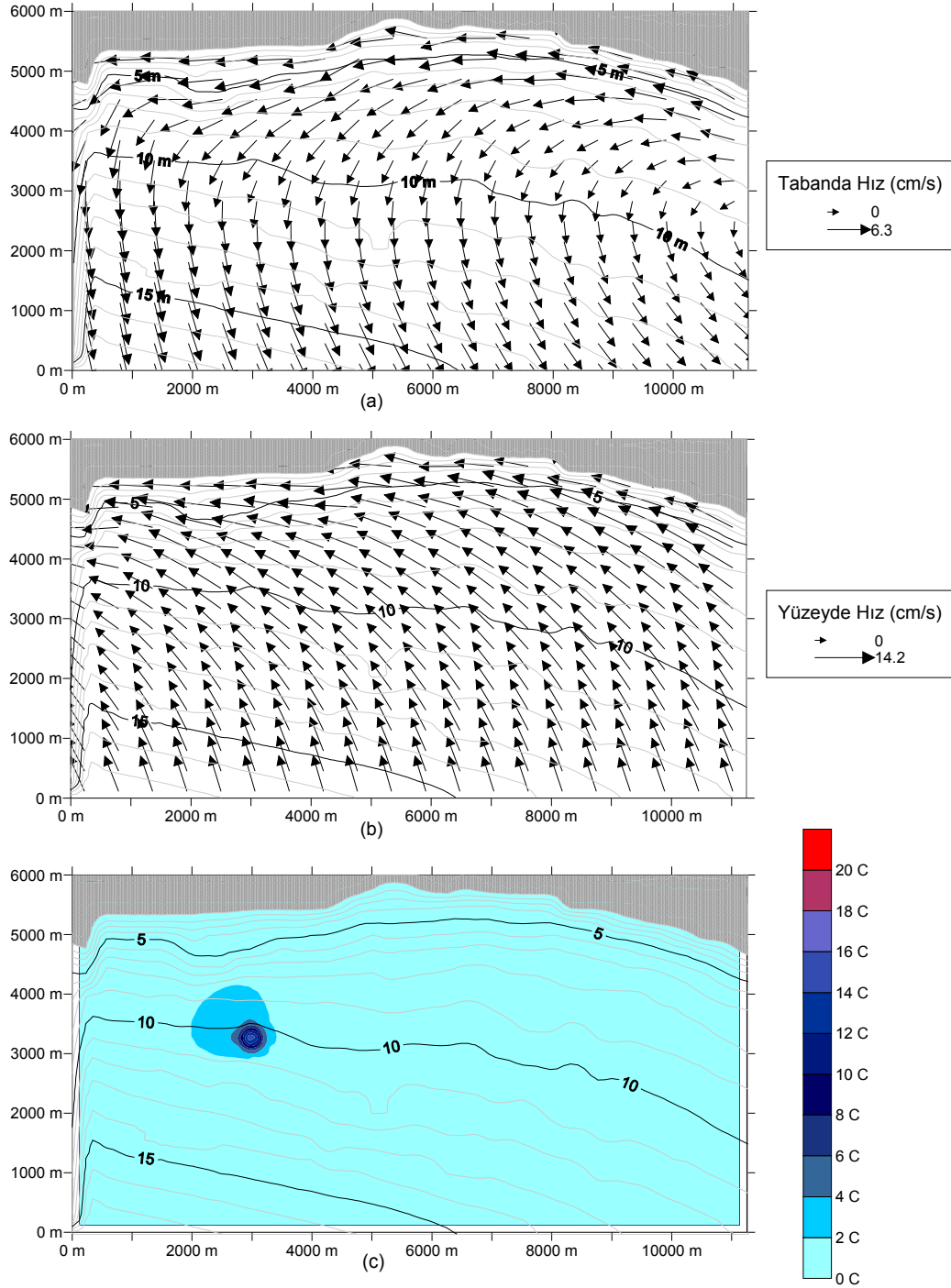
Rüzgar hızı 10 m/s, rüzgar yönü SE olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.20. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



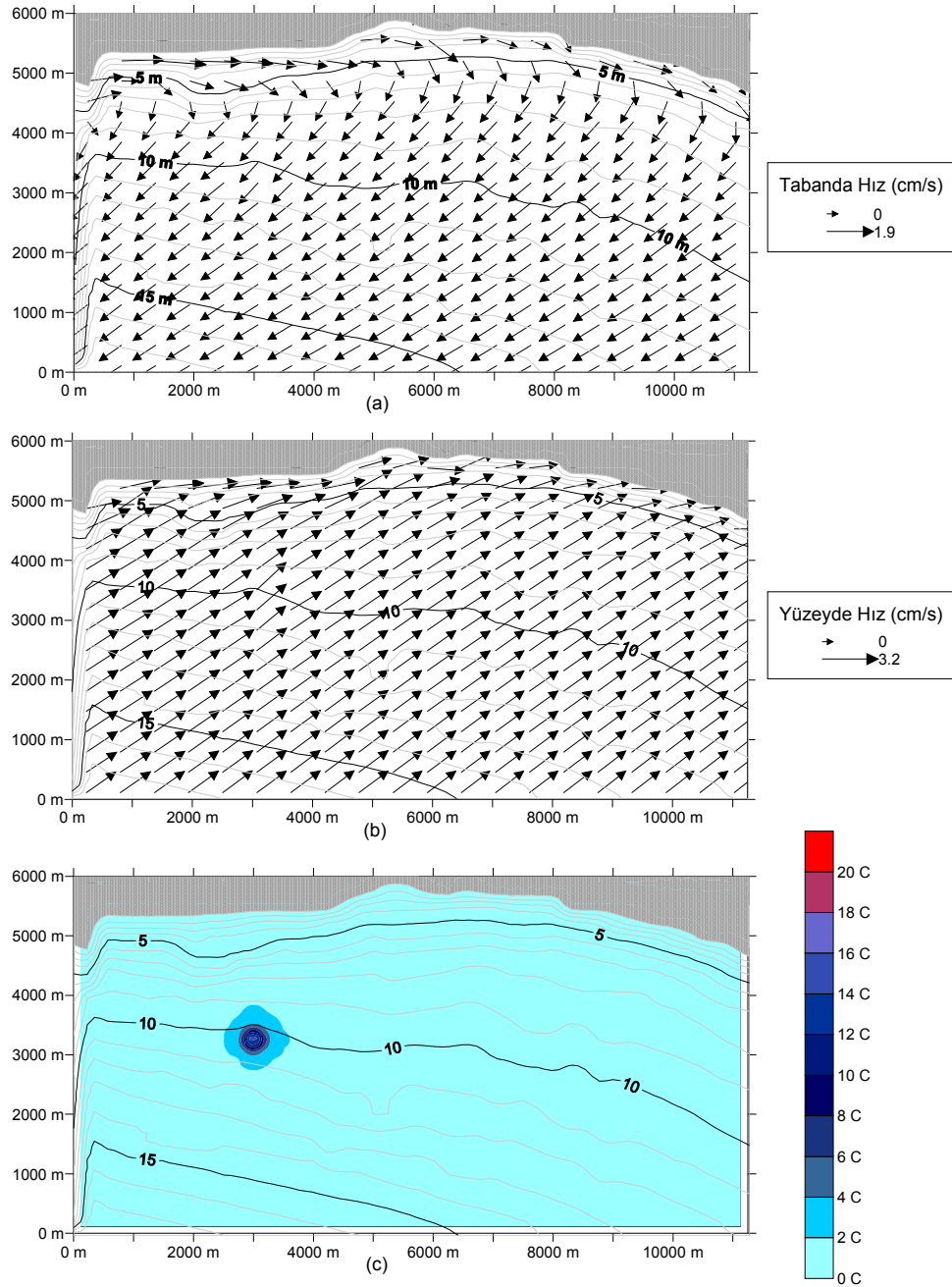
Şekil 5.21. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



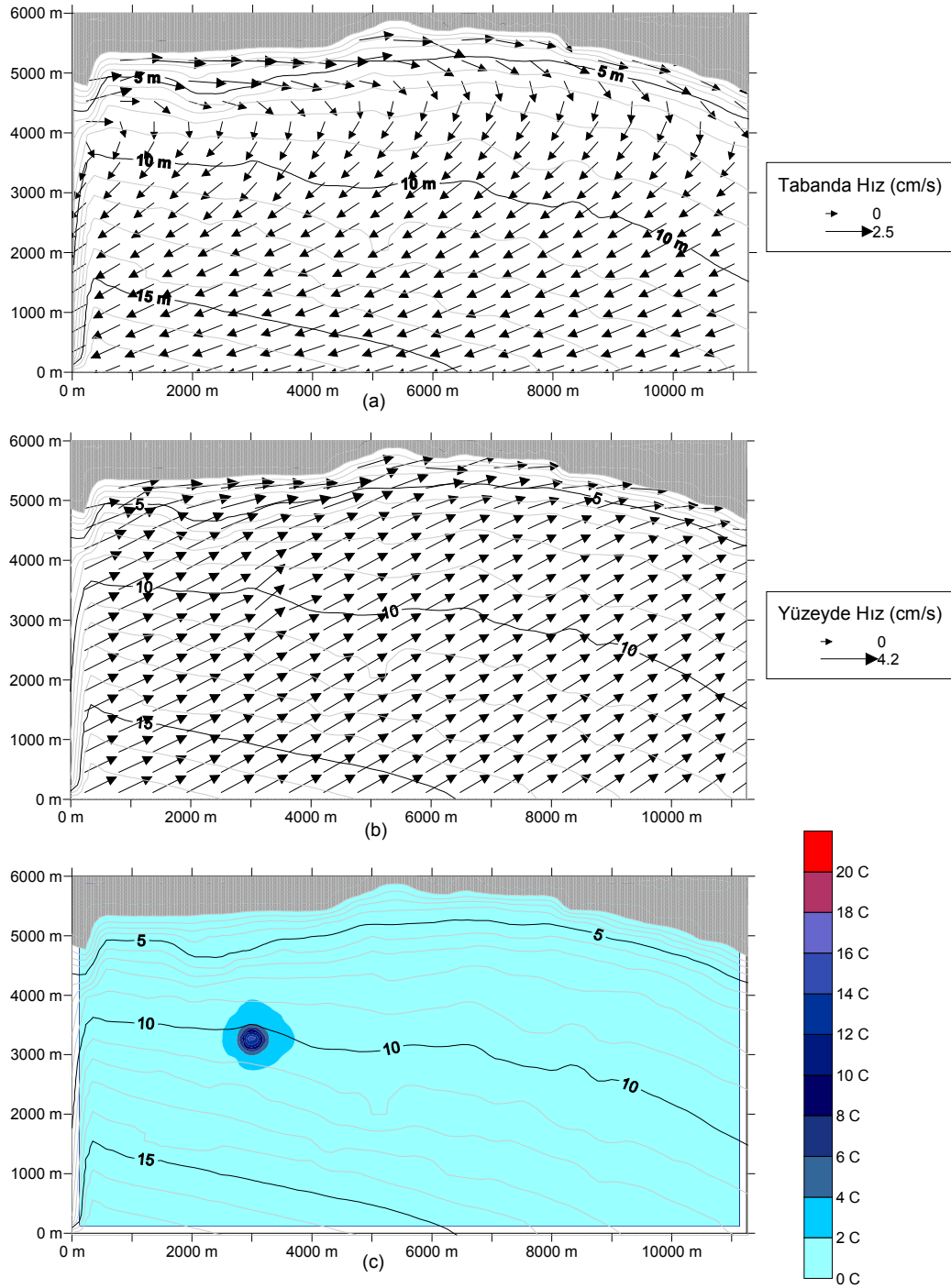
Şekil 5.22. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.7. Uygulama 7

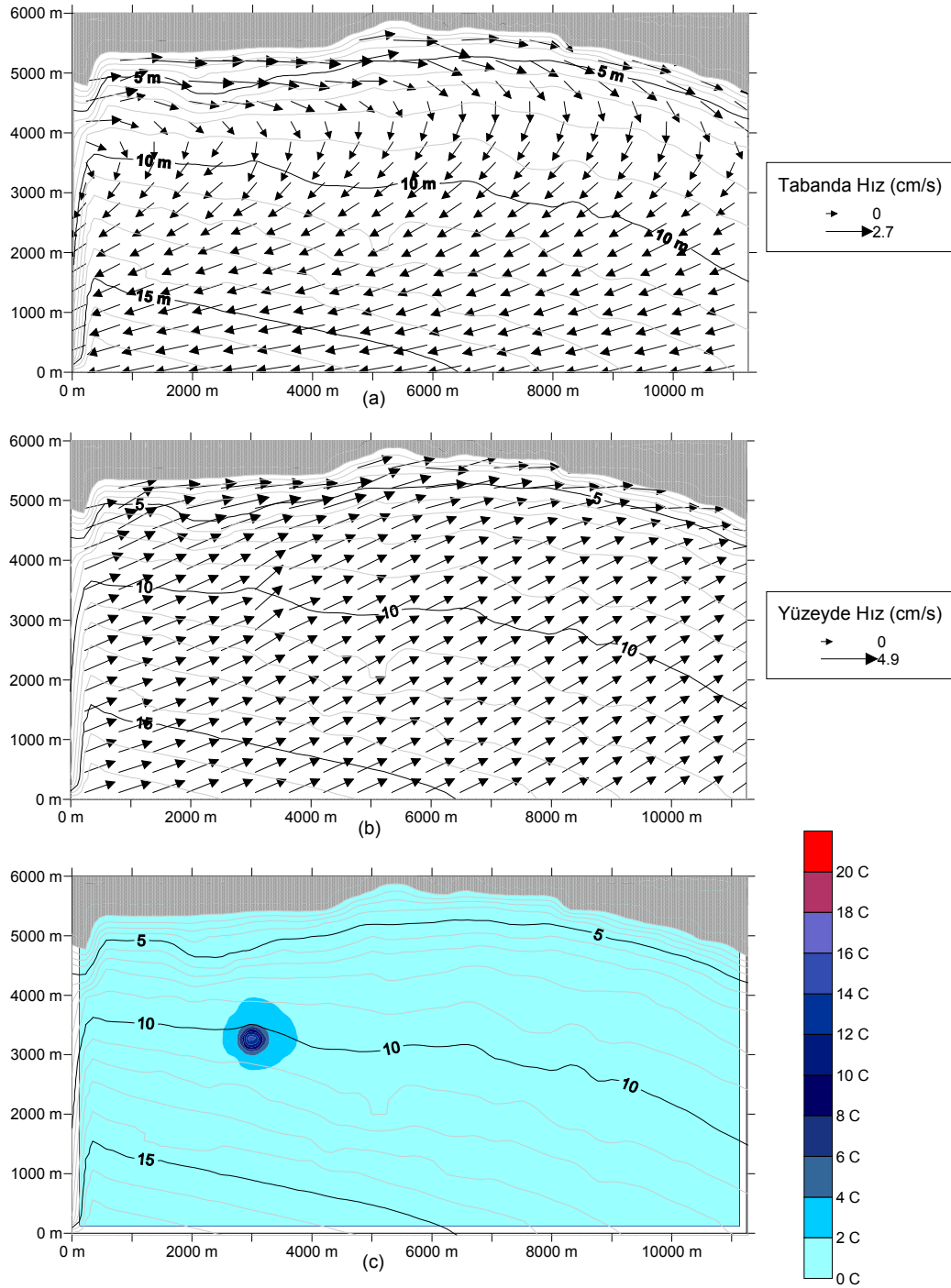
Rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü SW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2’de verilmiştir.



Şekil 5.23. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



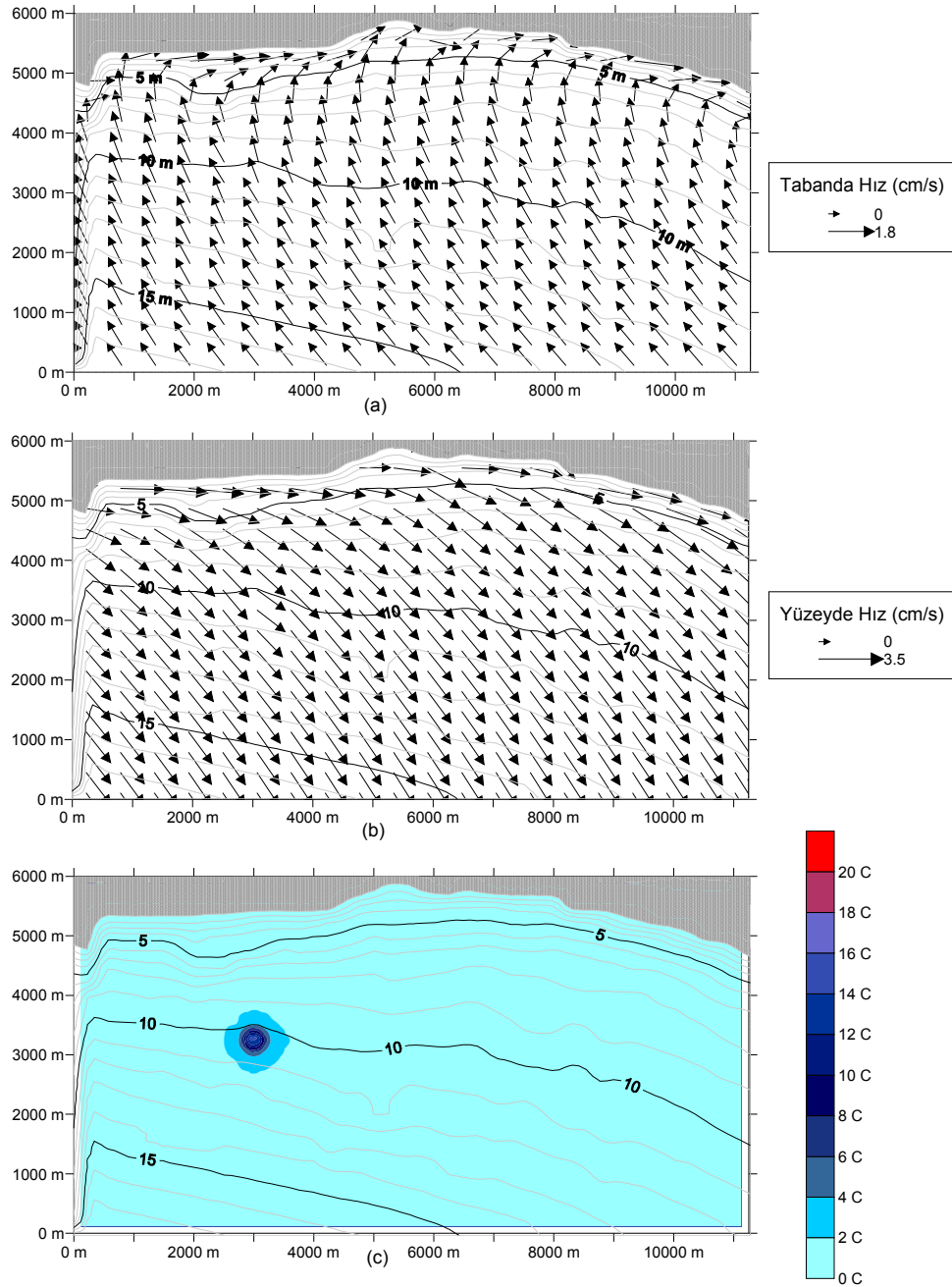
Şekil 5.24. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



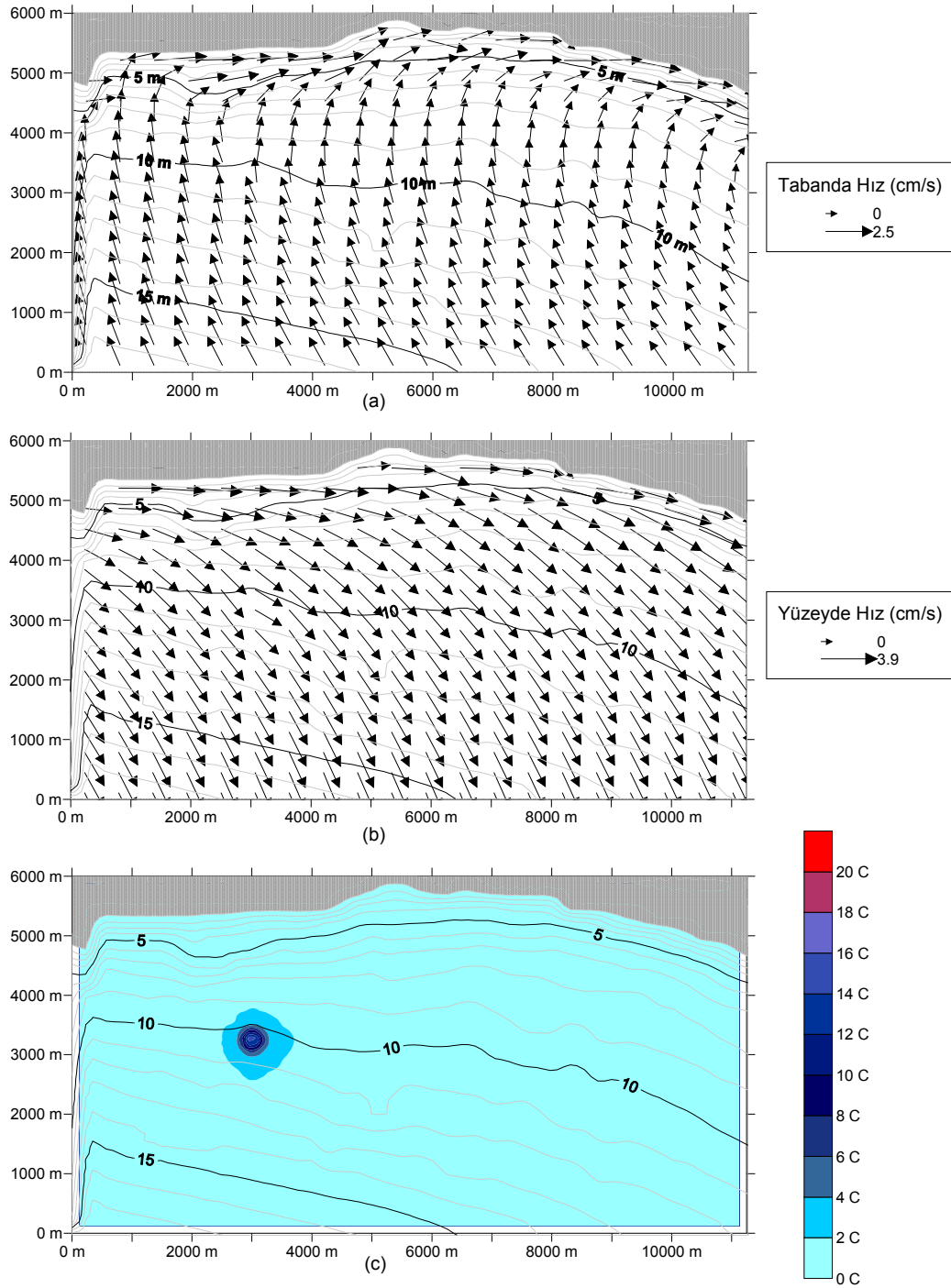
Şekil 5.25. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.8. Uygulama 8

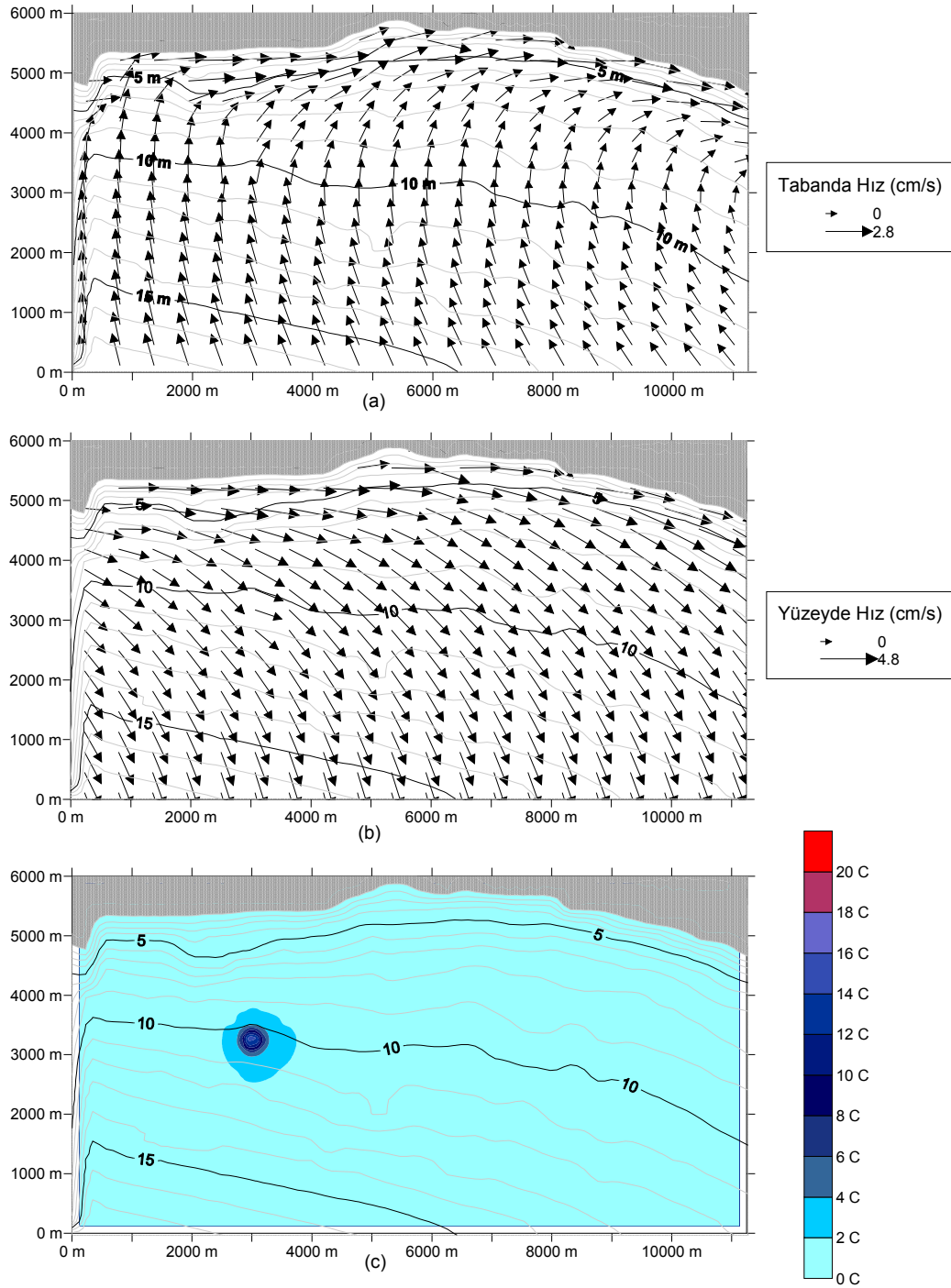
Rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü NW olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2’de verilmiştir.



Şekil 5.26. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



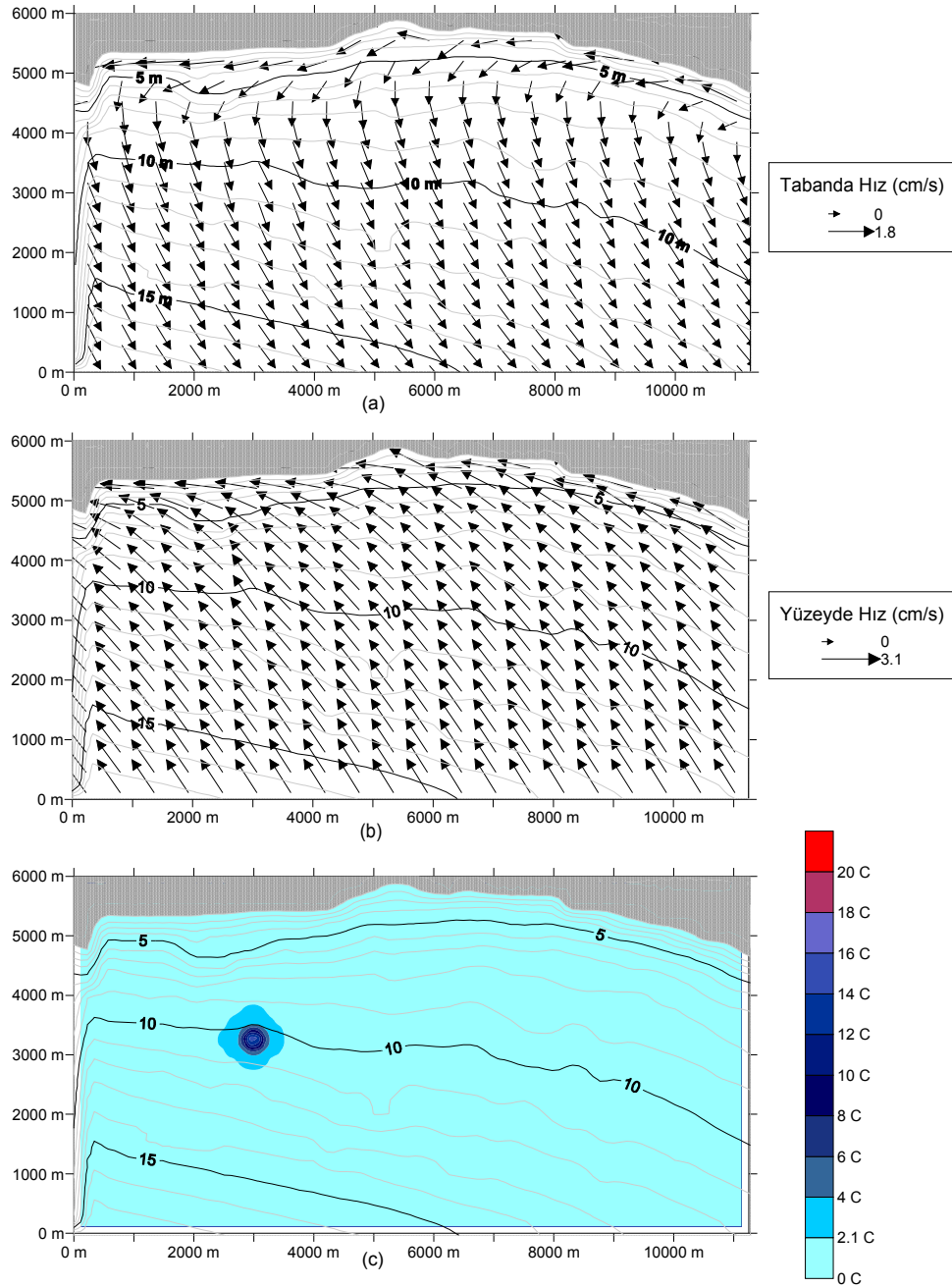
Şekil 5.27. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



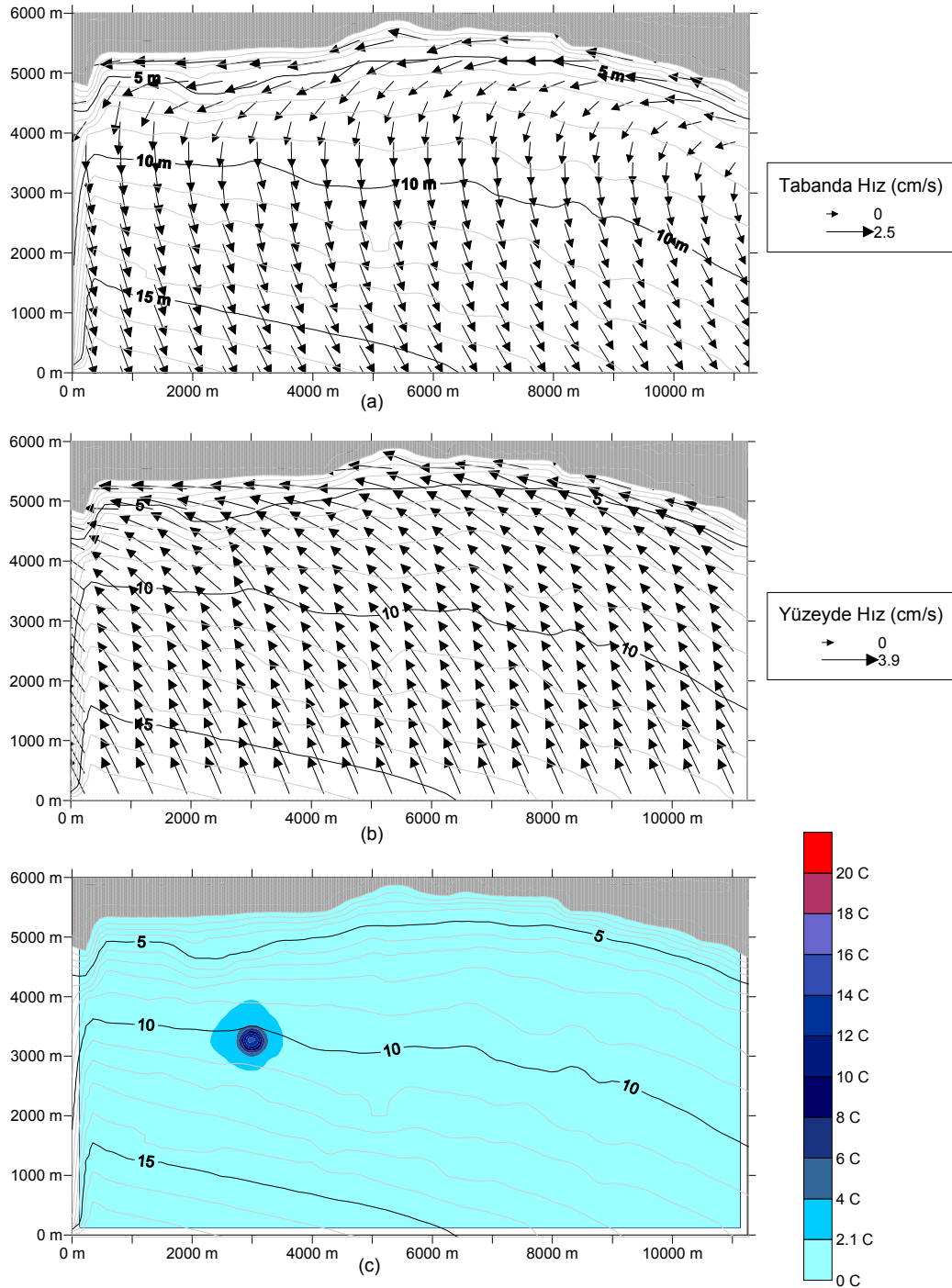
Şekil 5.28. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

5.5.9. Uygulama 9

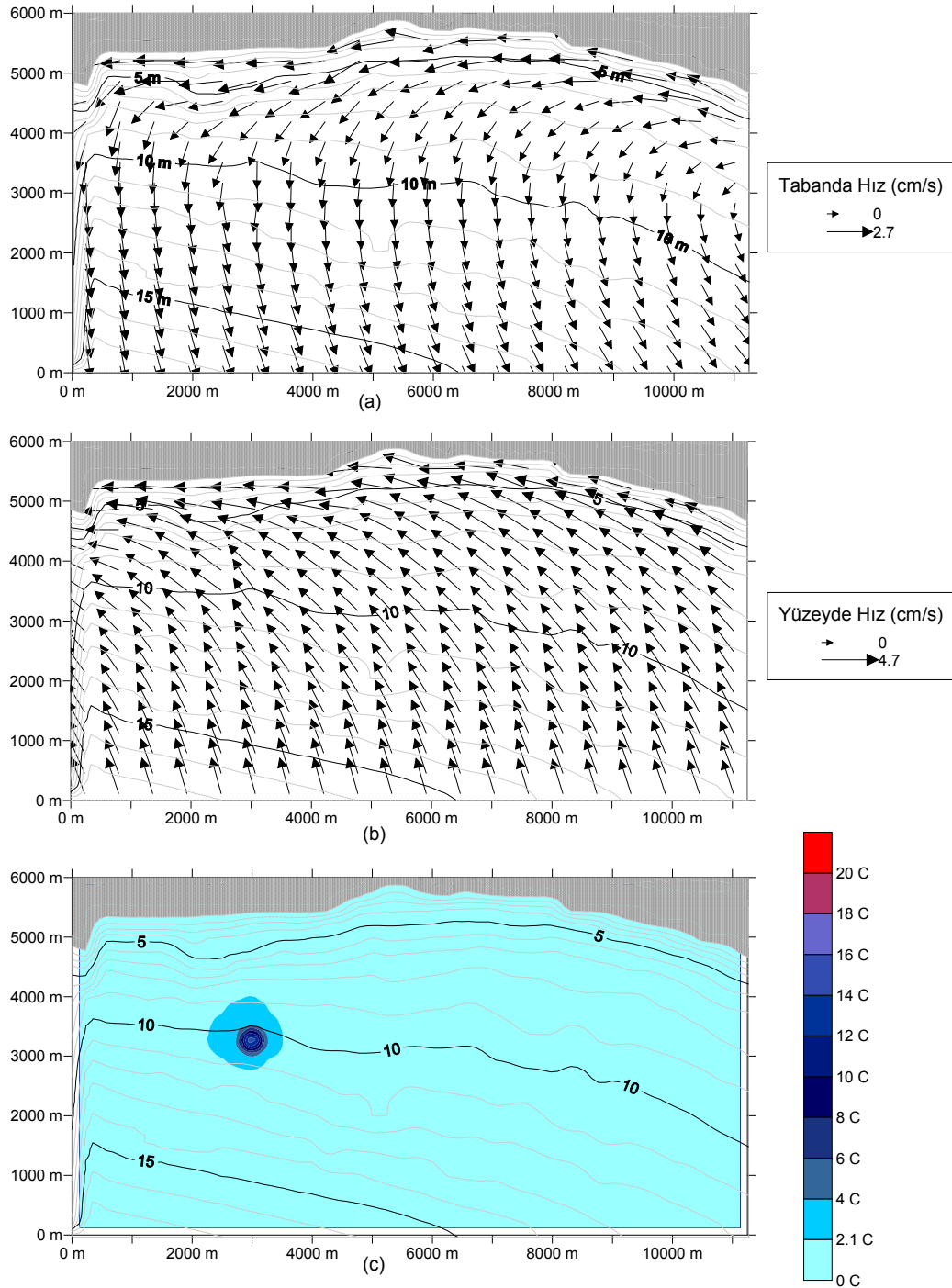
Rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü SE olarak alınmıştır. Hız profilleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.29. 1. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



Şekil 5.30. 2. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı



Şekil 5.31. 3. saat sonunda; a) Deniz tabanında çevrinti düzeni b) Deniz yüzeyinde çevrinti düzeni c) Deniz yüzeyinde sıcaklık dağılımı

Çalışmalarda kullanılan difüzyon katsayıları, yatay vizkosite katsayıları, düşey vizkosite katsayıları, rüzgar hızları ve benzeştirmeler sonucu elde edilen yüzeyde oluşan akıntı hızları ve tabanda oluşan akıntı hızları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Model girdileri ve çıktıları

Uygulama	Model Girdileri					Model Çıktıları		Baskın Olay
	Difüzyon Katsayısı (cm ² /s)	Yatay Vizkosite Katsayısı (cm ² /s)	Düşey Vizkosite Katsayısı (cm ² /s)	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü	Yüzeyde Akım Hızı (cm/s)	Tabanda Akım Hızı (cm/s)	
1	150 000	150	30	20	SW	18,02	-12,30	Taşınım
2	150 000	150	30	20	NW	19,98	-12,45	Taşınım
3	150 000	150	30	20	SE	19,70	12,27	Taşınım
4	75 000	75	25	10	SW	6,95	-2,28	
5	75 000	75	25	10	NW	7,43	-2,12	
6	75 000	75	25	10	SE	6,21	-3,23	
7	50 000	50	20	5	SW	1,93	-0,55	Dağılım
8	50 000	50	20	5	NW	1,24	-1,26	Dağılım
9	50 000	50	20	5	SE	1,89	-0,85	Dağılım

6. SONUÇ

Enerji tesislerinde soğutma amaçlı kullanılan su deniz ortamından alınır, kullanıldıktan sonra ısınmış olan su farklı bir noktadan deniz tabanına deşarj edilir. Deşarj edilen su, yoğunluğunun da hafif olması nedeniyle, sıcak su bulutu halinde yüzeye yükselir. Sıcak su bulutunun hareketi, bulunduğu derinlikteki akıntılara bağlıdır. Çok durgun ve hareketsiz bir denizde, bulut deşarj edildiği noktayı merkez alarak yukarıya doğru yayılıp seyrelir. Yakın seyrelme olarak adlandırılan bu olaydan sonra, sıcak su bulutu akıntı ile taşınım ve türbülans ile dağılım sonucu uzak alan seyrelme sürecine girer.

Seo ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada eşdeğer slot aralığı ve su derinliğini kullanarak yakın alan seyrelmesini hesaplamak için önerdikleri yöntem kullanılarak bu çalışmada yakın alan seyrelmesinin yaklaşık 2 değerine kadar düşebildiği görülmüştür. Bu sebeple, uzak alan seyrelmesi sıcak su deşarjlarında sıcaklık dağılımının belirlenmesinde yakın alan seyrelmesinden daha önemli bir süreçtir. [18]

Yakın alan seyrelmesinde en önemli parametrelerden biri derinliktir. Sığ sularda sıcak su bulutu, her ne kadar yakın alan seyrelmesi sürecinden geçse de, yüzeye yeteri kadar soğumadan çıkacağı için sıcak su deşarjının derin sularda yapılması çevresel açıdan daha uygundur.

Proje maliyeti de göz önüne alındığında, soğutma suyu deşarj borusunu, hafif eğimli deniz tabanlarında, derin sulara kadar götürmek masraflı olabileceği için delikler arası mesafenin daha uzun olduğu ve daha küçük delik alanlarına sahip bir difüzör tasarımı sıcak su bulutunun yüzeye yükselirken seyrelmesinde daha etkili olacaktır.

Bu çalışmada hâlihazırda büyük bir kirlilik sorunu yaşamakta olan Mersin Körfezi'ne yapılacak olan sürekli sıcak su deşarjının uzak alan seyrelmesinin benzeştirilmesi için 3 boyutlu taşınım-dağılım benzeştirmesi yapabilen bir model kullanılmıştır. Bu model süreklilik denklemini, momentumun korunumu denklemini

ve taşınım-dağılım denklemini kullanarak ortamda üç boyutlu akım profilini ve kirlilik seyrelmesini benzeştirir.

Model, noktasal bir kaynaktan sürekli sıcak su deşarjını üç farklı rüzgar esme yönü (SW, NW, SE) ve 3 farklı rüzgar hızı (20 m/s, 10 m/s, 5 m/s) için dokuz farklı olayı benzeştirmek için kullanılmıştır. Bu benzeştirmelerin amacı uzak alan seyrelmesinin körfezde oluşturacağı etkiyi tespit etmektir. Her bir rüzgar hızı için farklı difüzyon, düşey ve yatay vizkosite katsayıları kullanılmıştır. Benzeştirmenin başarılı kabul edilmesi için çeşitli hız ve akım koşullarının gerçekleşmesi gözlenmiştir. Bunlar yüzeyde oluşan akıntı hızının rüzgar hızının 1/30'u kadar olması, akıntının yüzeyde rüzgar yönünde, tabanda ise ters yönde oluşmasıdır. Çok sayıdaki benzeştirme çalışması içinde bu koşulları sağlamış olan çalışmalardan dokuz adet çalışmanın sonucu aşağıdaki Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çevrinti düzenleri incelendiğinde sığ yerlerde deniz tabanında yüzey akımına ters yönde akım oluşmadığı, logaritmik akım profili olduğu görülmüştür. Bölüm 5'te verilen benzeştirme sonuçları incelendiğinde, bu durumun tabanda yüksek akıntı hızları ile sonuçlandığı görülmüştür. Daha derin yerlere ilerledikçe akım profilinin logaritmik akım profilinden parabolik akım profiline dönüştüğü görülmüştür.

Çizelge 5.2'de de görüleceği üzere, modelin doğru sonuçlar vermesini sağlamak için farklı rüzgar hızlarına farklı difüzyon, yatay vizkosite ve düşey vizkosite katsayıları kullanılmıştır. Artan rüzgar hızıyla birlikte kullanılan katsayılar da artmıştır. Bu katsayılar 5 sn'lik zaman adımı ve 250x250 m'lik çözüm ağı uygulanmasında geçerlidir. Daha büyük boyutlu çözüm ağlarında doğru sonuçlar elde etmek için daha büyük katsayılar kullanmak gereklidir.

Su Kirliliğinden Korunma Yönetmeliği'nde yer alan "Derin Deniz Deşarjları için Uygulanacak Kriterler" başlıklı Tablo 23'te verilen "...Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S₁) sonucun da karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1 °C'den, diğer aylarda ise 2 °C den fazla arttıramaz. ..." hükmünde geçen 2 °C sınırlaması dikkate alınarak

sıcak su deşarjının denizde oluşturacağı sıcaklık değişiminin grafiğini oluştururken sıcaklık ölçeği 2'şer °C olarak seçilmiştir. Beşinci bölümde verilen grafikler incelendiğinde bu sınırı aşan sıcaklık değişiminin yaklaşık 0,03-0,04 km² alanda oluştuğu görülmüştür.

Rüzgar etkisi ısısız dağılımda taşınım etkisi olarak görülmüştür. Artan rüzgar hızıyla birlikte akıntı hızı, dolayısıyla taşınımında artmıştır. Yüksek rüzgar hızında artan diğer bir özellikte türbülans kaynaklı dağılımdır. Fakat yüksek hızlarda baskın olan etki taşınım etkisidir. Düşük rüzgar hızlarında ise akıntı hızı azaldığı için taşınım olayı da azalmış, dağılım olayı daha baskın hale gelmiştir.

Bu çalışmada seyrelme sürecinin ikinci adımı olan uzak alan seyrelmesi benzeştirilmiştir. Seyrelme sürecini daha iyi benzeştirebilmek için modele yakın alan seyrelmesi ile ilgili bir modülünde eklenmesi faydalı olacaktır.

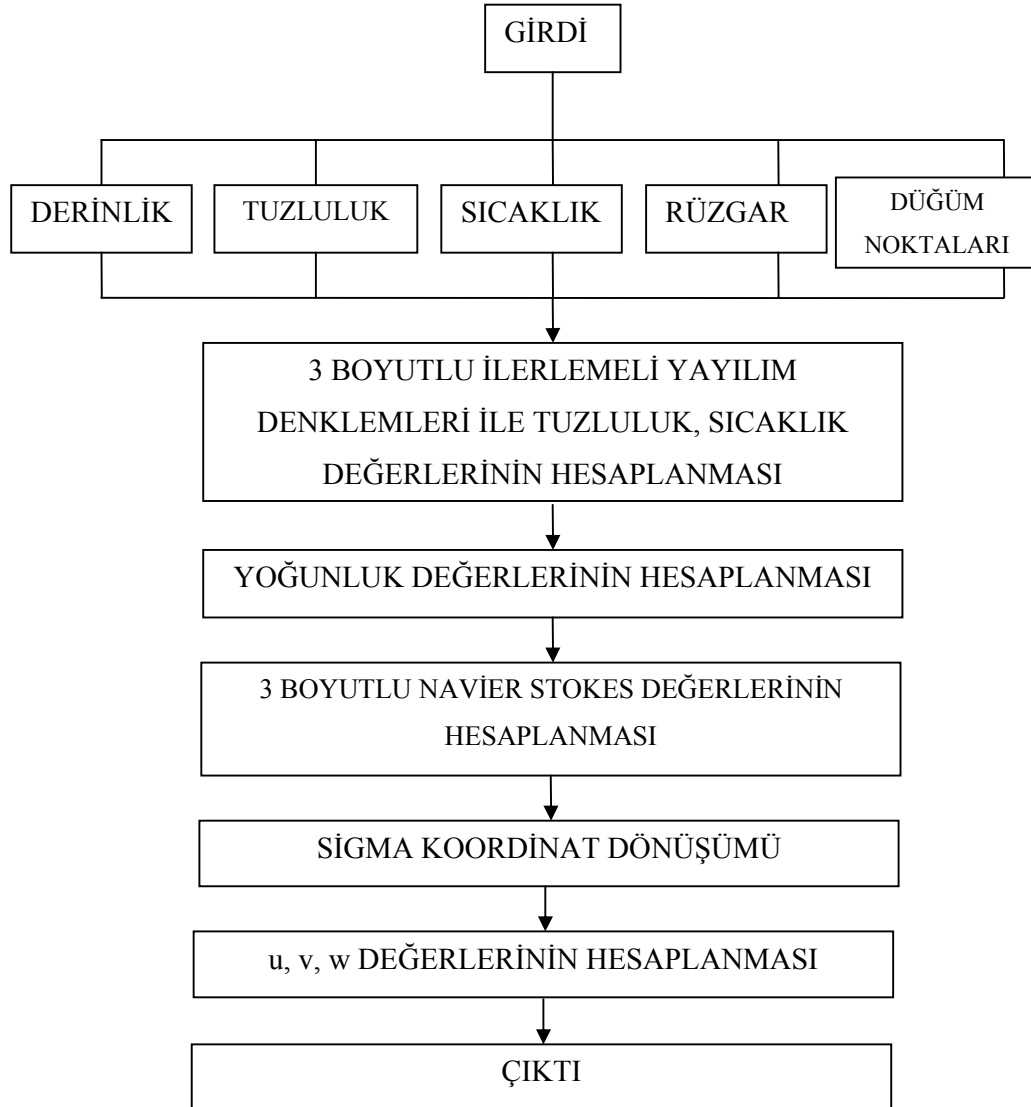
KAYNAKLAR

1. Tsai, C. F., “Three dimensional free surface model for thermal discharge study”, Doktora Tezi, *Miami University*, Florida, 1-5 (1977).
2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık, *Resmi Gazete*, (2004).
3. McGuirk J. J., Rodi W., “A depth-averaged mathematical model for the near field of side discharges into open-channel flow”, *Journal of Fluid Mechanics*, 86(4): 761-781 (1978).
4. McGuirk J. J., Rodi W., “Mathematical modelling of three-dimensional heated surface jets”, *Journal of Fluid Mechanics*, 95(4): 609-633 (1979).
5. Demuren A. O., “Prediction of the steady surface thermal plume in crossflow”, *Heat and Mass Transfer*, 19(1): 41-46 (1985).
6. Öztürk, İ., Sarıkaya, H., Aydın, A., Demir, İ., “A simplified model for thermal discharges”, *Water Science and Technology*, 2: 183-191 (1995).
7. Ahmed, M., Mahboob-ul-Kabir, M., Abdul, J., “Modelling of heat dispersion of hot water discharge of the cooling plant of the Meghnaghat Power Plant”, *Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc.*, Canberra, 257-262 (2001).
8. Jiang J., Fissel D. B., “Modeling cooling water discharges from the Burrard Generating Station, *Oceans 2002*, Biloxi, 1234-1240 (2002).
9. Bozdemir, Y., “Rüzgar kabarmasının sayısal modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2 (2007).
10. Tunaboşlu, S., “Yoğunluk kaynaklı akıntıların sayısal modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-11, 28-43 (2006).
11. Küçükosmanoğlu, A., “Kapalı su alanlarında su değişiminin modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11 (2004).
12. Large W.G., Pond S., “Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds”, *Journal of Physical Oceanography*, 11: 324-336 (1981).
13. Haney, R.L., “On the pressure gradient force over steep topography in sigma-coordinate ocean models”, *Journal of Physical Oceanography* 21, 610-619 (1991).

14. Kowalik, Z., Murty, T. S., “Numerical modeling of ocean dynamics”, *World Scientific Pte. Co. Ltd.*, USA, 130 (1995).
15. Balas, L., Özhan, E., “Three dimensional modeling of stratified coastal waters”, Estuarine, Coastal and Shelf Science, *Academic Press*, UK, 56, 75-87 (2002).
16. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Mersin Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, “*2008 Yılı Mersin İl Çevre Durum Raporu*”, Mersin, 36-37 (2008).
17. Seo, W., Yu, D., Kim, H., “Near field mixing of submerged multipoint diffusers in shallow water with strong currents”, *Proceedings of the 4th International Conference on Hydro-Science and Engineering*, Seoul, (2000).

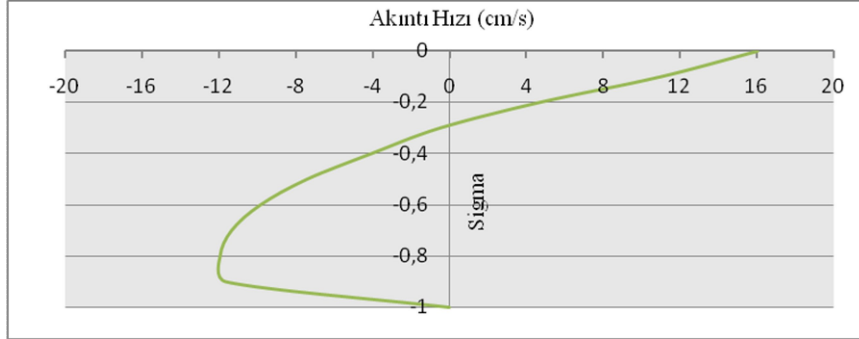
EKLER

EK-1 Modelin genel yapısı

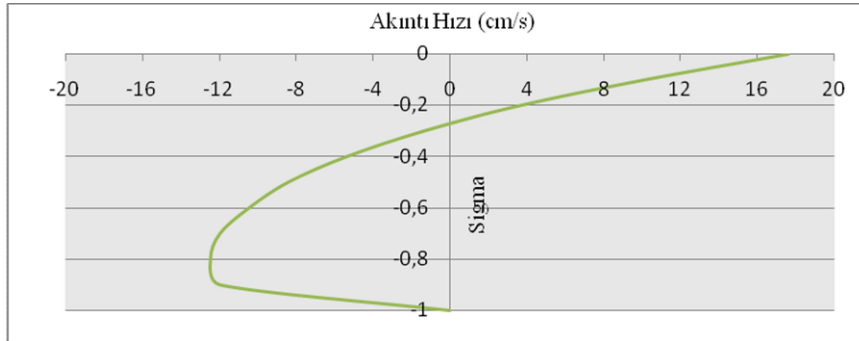


EK-2 Hız profilleri

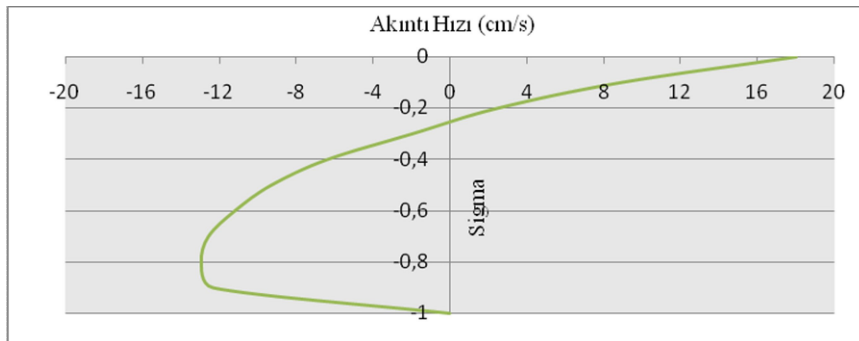
Uygulama 1: Rüzgar hızının 20 m/s ve yönünün SW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. 1. saat sonunda hız profili



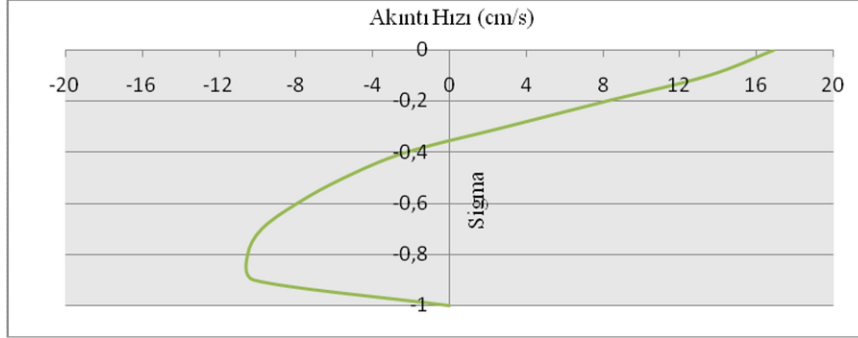
Şekil 2. 2. saat sonunda hız profili



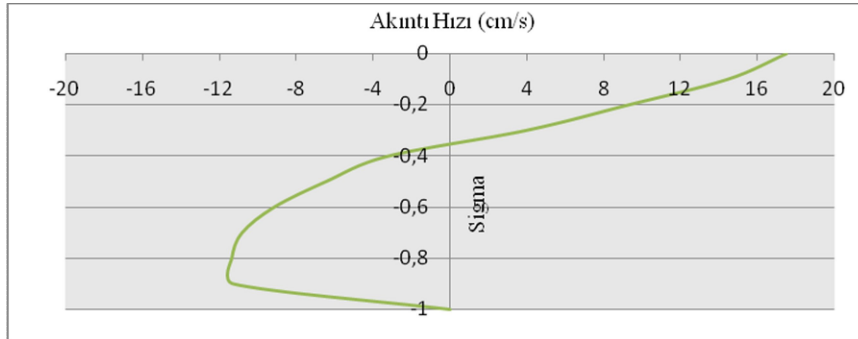
Şekil 3. 3. Saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

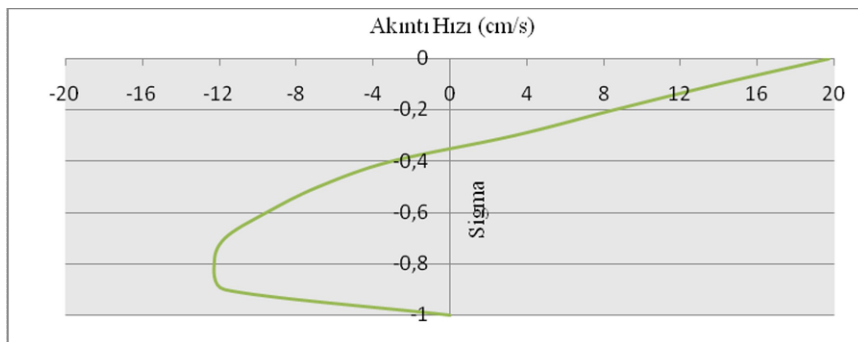
Uygulama 2: Rüzgar hızının 20 m/s ve yönünün NW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. 1. saat sonunda hız profili



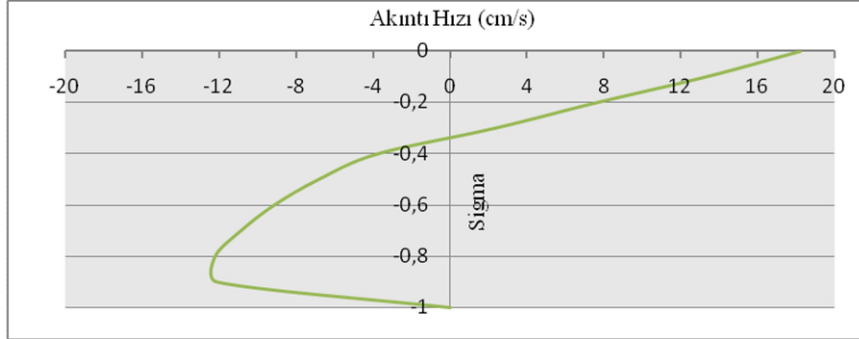
Şekil 5. 2. saat sonunda hız profili



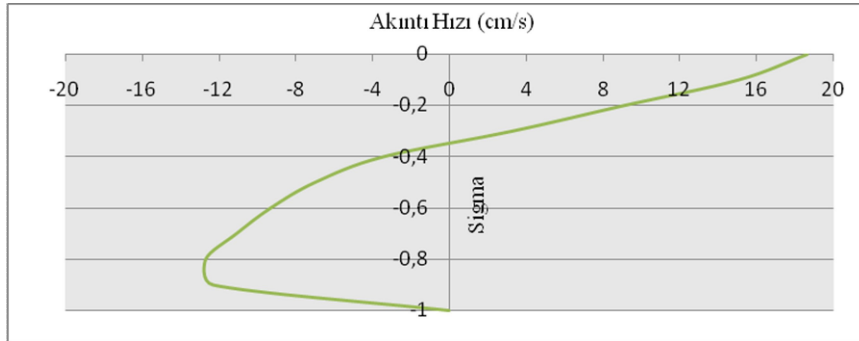
Şekil 6. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

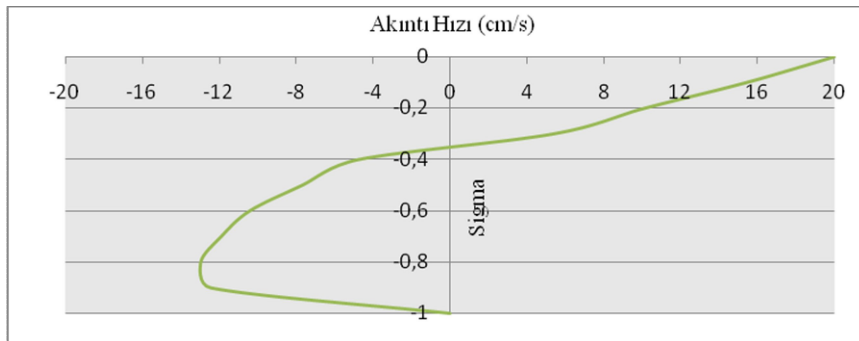
Uygulama 3: Rüzgar hızının 20 m/s ve yönünün SE olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. 1. saat sonunda hız profili



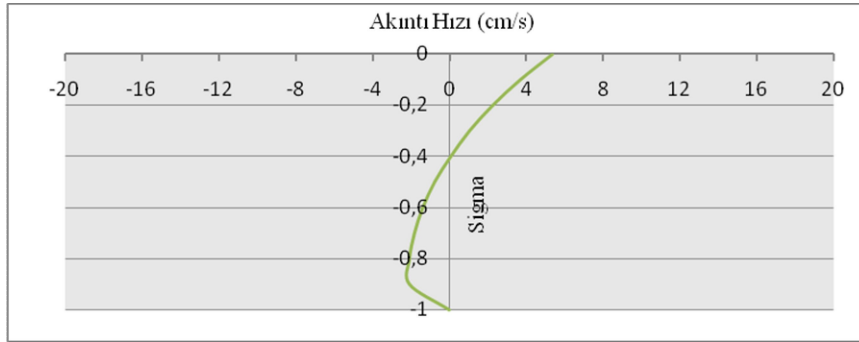
Şekil 8. 2. saat sonunda hız profili



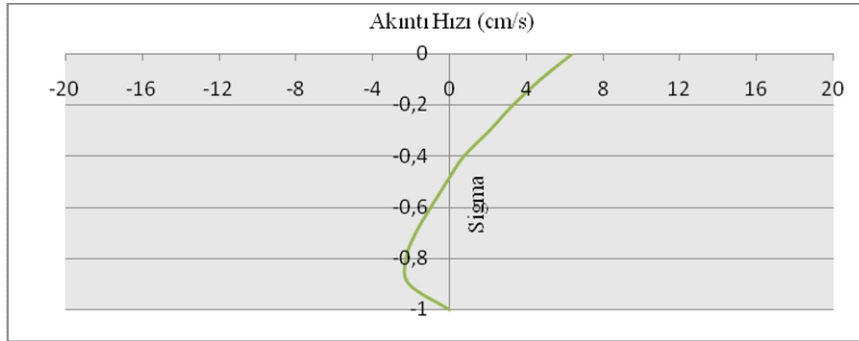
Şekil 9. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

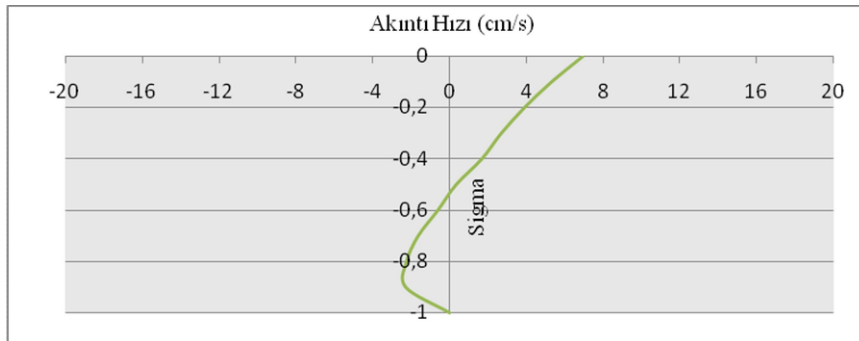
Uygulama 4: Rüzgar hızının 10 m/s ve yönünün SW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 10. 1. saat sonunda hız profili



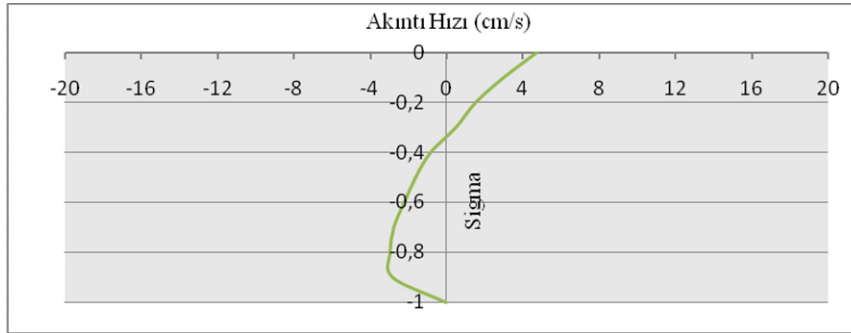
Şekil 11. 2. saat sonunda hız profili



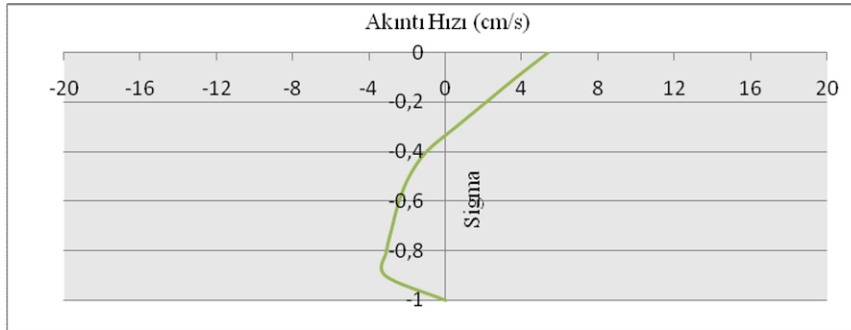
Şekil 12. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

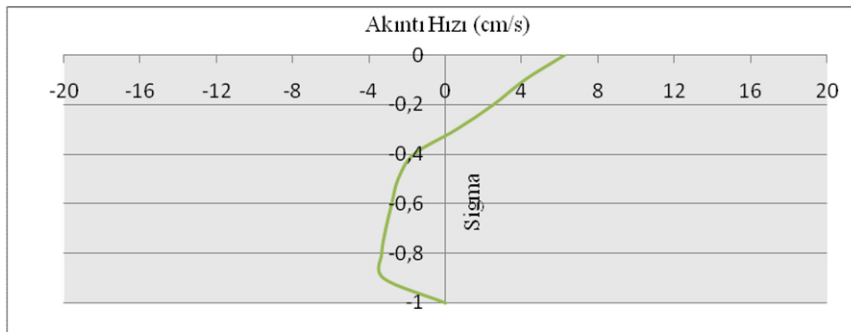
Uygulama 5: Rüzgar hızının 10 m/s ve yönünün NW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 13.1. saat sonunda hız profili



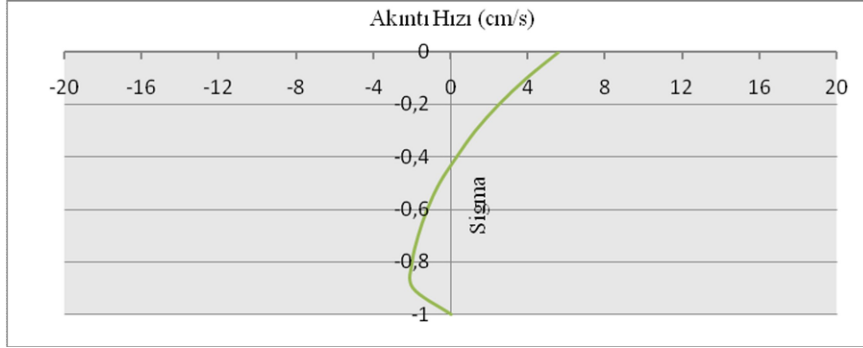
Şekil 14. 2. saat sonunda hız profili



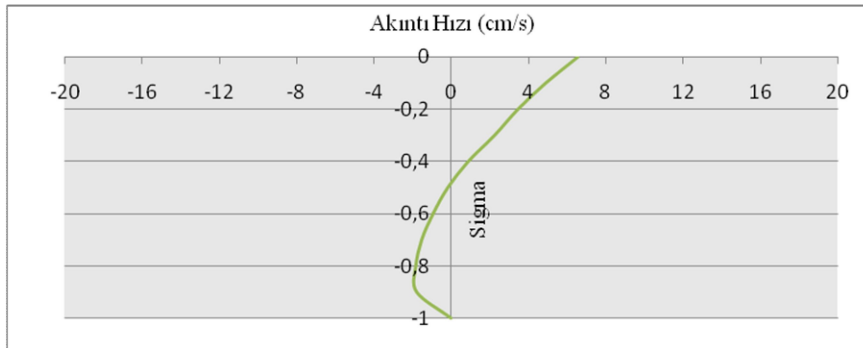
Şekil 15. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

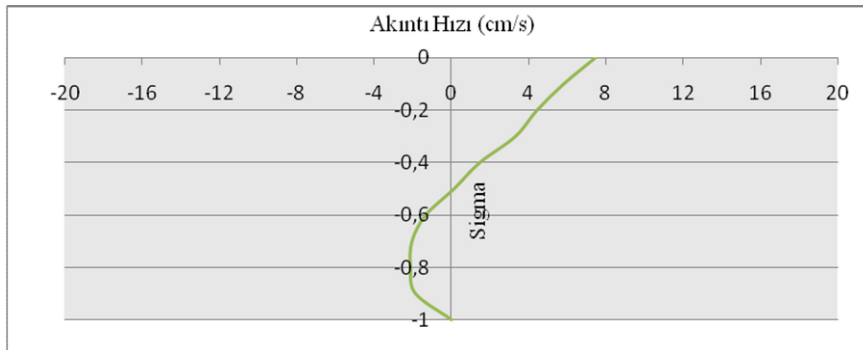
Uygulama 6: Rüzgar hızının 10 m/s ve yönünün SE olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 16. 1. saat sonunda hız profili



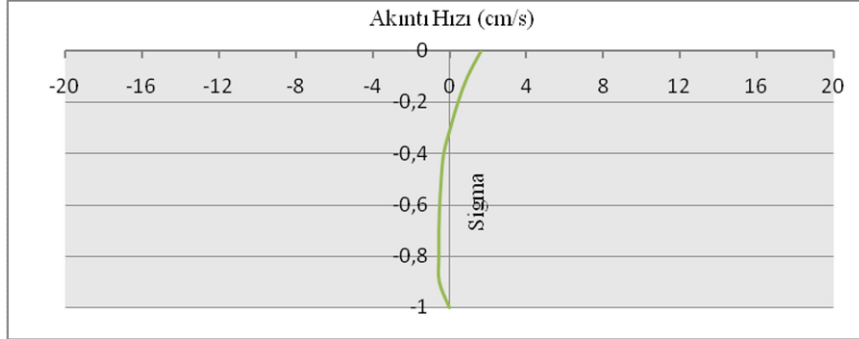
Şekil 17. 2. saat sonunda hız profili



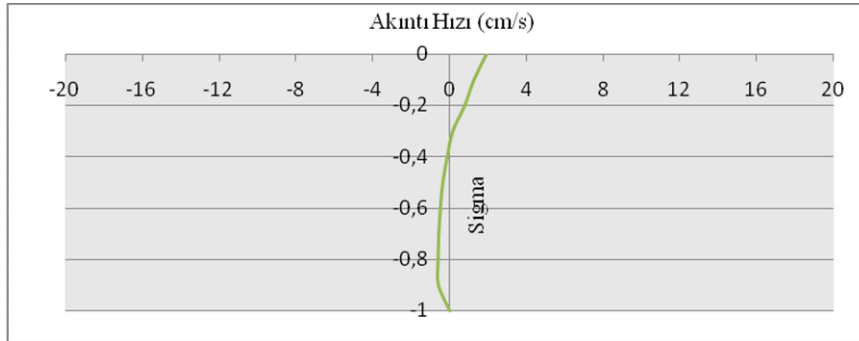
Şekil 18. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

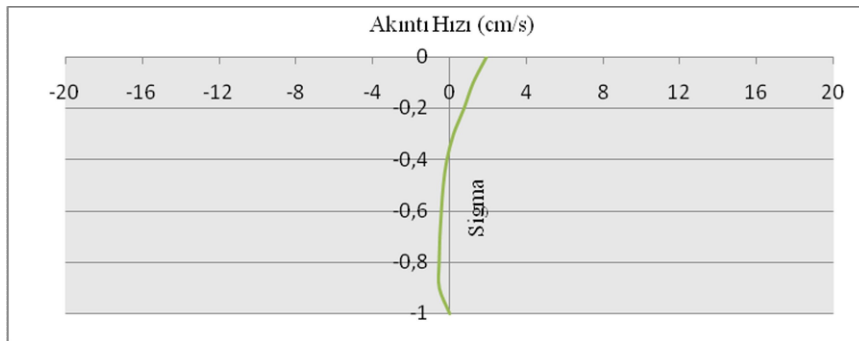
Uygulama 7: Rüzgar hızının 5 m/s ve yönünün SW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 19. 1. saat sonunda hız profili



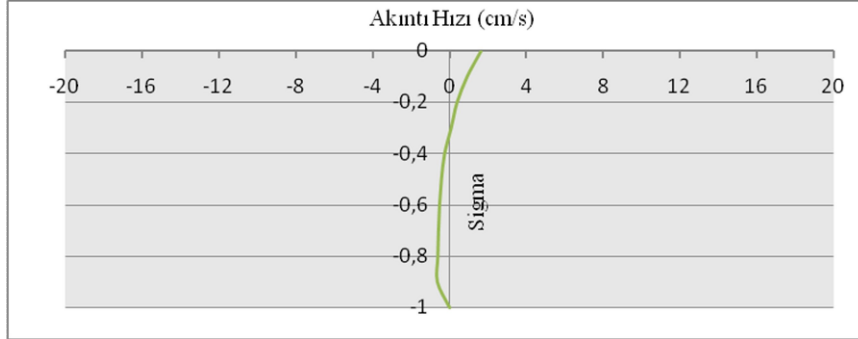
Şekil 20. 2. saat sonunda hız profili



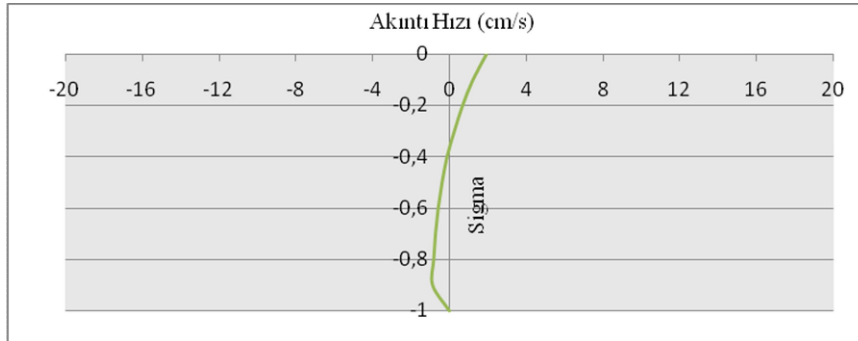
Şekil 21. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

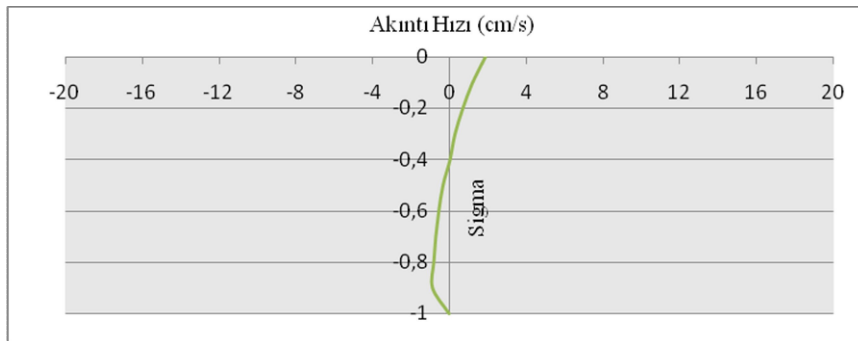
Uygulama 8: Rüzgar hızının 5 m/s ve yönünün NW olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 22. 1. saat sonunda hız profili



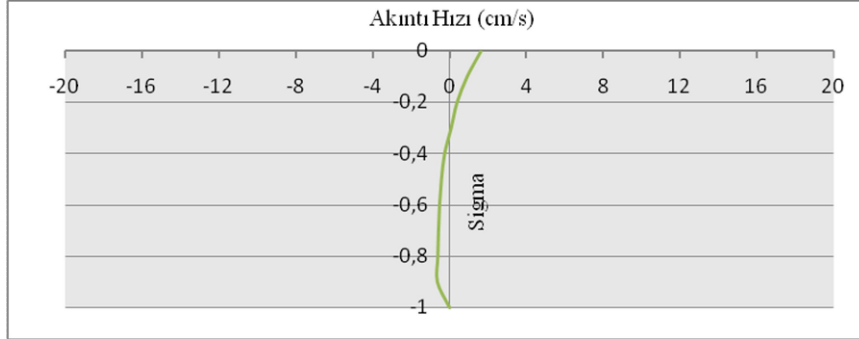
Şekil 23. 2. saat sonunda hız profili



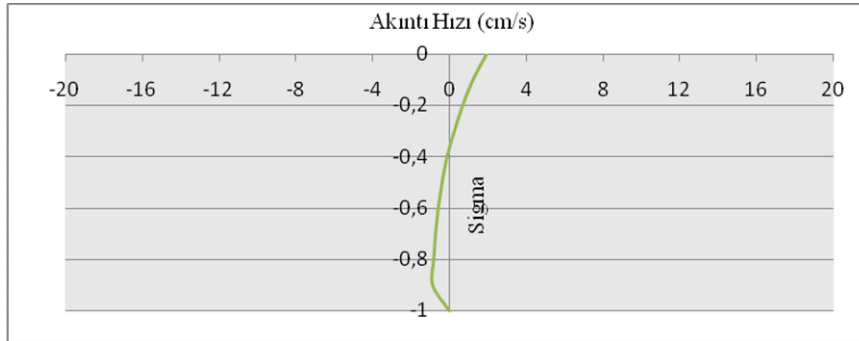
Şekil 24. 3. saat sonunda hız profili

EK-2 (Devam) Hız profilleri

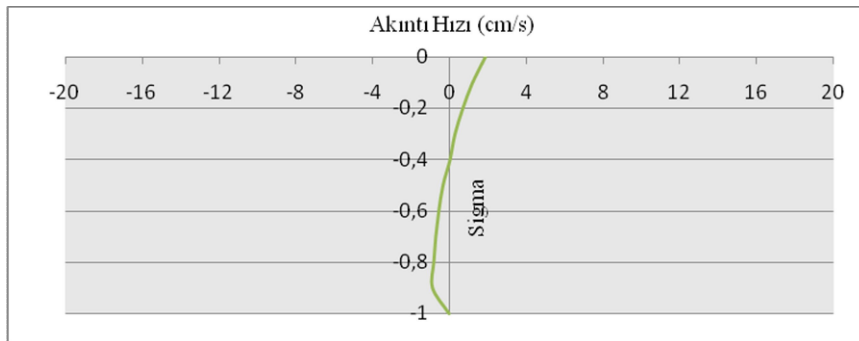
Uygulama 9: Rüzgar hızının 5 m/s ve yönünün SE olduğu durumda akım profili her bir saat için aşağıda verilmiştir.



Şekil 25. 1. saat sonunda hız profili



Şekil 26. 2. saat sonunda hız profili



Şekil 27. 3. saat sonunda hız profili

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZYÜREK, İbrahim
e-mail : iozyurek@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Müh. Bölümü	2009
Lisans	ODTÜ /İnşaat Mühendisliği Bölümü	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2008	Özel Sektör	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol