

**ULUABAT GÖLÜ'NÜN HİDRODİNAMİK  
MODELLEMESİ**

**Seher Sonay SARMAŞIK**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## **ULUABAT GÖLÜ'NÜN HİDRODİNAMİK MODELLEMESİ**

**Seher Sonay SARMAŞIK**

Doç. Dr. Feza KARAER  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Seher Sonay SARMAŞIK tarafından hazırlanan "Uluabat Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Feza KARAER

**Başkan:** Doç. Dr. Feza KARAER  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Kadir KESTİOĞLU  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY  
Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Toprak Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.  
Prof. Dr. Kadri ARSLAN  
Enstitü Müdürü  
.././....(Tarih)

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**25/09/2011**

**Seher Sonay SARMAŞIK**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ULUABAT GÖLÜ'NÜN HİDRODİNAMİK MODELLEMESİ

**Seher Sonay SARMAŞIK**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Feza KARAER

Çalışma kapsamında, Delft3-D modelinde kullanılacak hidrodinamik ve meteorolojik parametreler belirlenmiş, mevcut hidrodinamik veriler DSİ ve EİEİ'den temin edilirken, meteorolojik veriler DMİ'den alınmıştır. Gölü besleyen ve gölün boşalmasını sağlayan akarsular ve gölde belirlenen örnekleme noktalarında farklı analizler yapılmıştır. Gölün mevcut batimetrik haritasının güncellenmesi amacıyla arazi ölçümlerine çıkılmış, DSİ tarafından 1995 yılında hazırlanan batimetri haritası ile güncel ölçümler kıyaslanarak gölün alan-hacim değerlerindeki değişim belirlenmiştir. Mayıs 2008 – Mayıs 2009 tarihleri arasındaki örnekleme periyodu sonunda model çalışmaları dört dönemde incelenmiş, dönemler için hassasiyet analizi uygulanarak taban pürüzlülüğünün göldeki hidrodinamik koşullar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yapılan duyarlılık analizi sonucunda gölün taban pürüzlülüğünün vejetasyona göre göl suyunun derinliğinde bir değişime neden olmadığı, ancak akım hızı etkilediği gözlenmiştir. Çalışmada rüzgarın göl yüzeyinde oluşturduğu akıntılar ve gölde neden olduğu çevrimler görülmüştür. Bu durumun gölde tam karışım sağladığı ve sediment tabakasını süspanse hale getirerek göldeki bulanıklığa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Uluabat Gölü, Batimetri, Pürüzlülük, Hidrodinamik Modelleme

**2012, xiii + 192 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **HYDRODYNAMIC MODELLING OF LAKE ULUABAT**

**Seher Sonay SARMAŞIK**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Feza KARAER

The hydrodynamic and the meteorological parameters going to be used in Delft3D model are determined, available meteorological data was provided by DSI and EİEİ whereas DMI delivered the meteorological data. Analysis was conducted in sampling points within the lake and streams feeding and discharging the lake. In order to update the existing bathymetry map, field study was conducted and the changing in the area and volume values of the lake was determined with the comparison of existing bathymetry map prepared by DSI in 1995 and current measurements. At the end of the sampling period between May 2008 and May 2009 model studies were examined within four periods, the hydrodynamic conditions in the lake was investigated by applying the sensitivity analysis on the effect of roughness in these periods.

As a result of the sensitivity analysis according to vegetation on the lake roughness change is not caused by changes in the depth of the lake water, but the flow rate was affected. In addition circulations and currents caused by the effect of the wind on the lake surface were observed. Further this situation, provide complete mixture for the lake and cause the turbidity in lake by resuspension of sediment layer.

**Key words:** Lake Uluabat, Bathymetry, Roughness, Hydrodynamic Modelling

**2012, xiii + 192 pages.**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“Uluabat Gölü’nün Hidrodinamik Modellemesi” çalışmam, TÜBİTAK-ÇAYDAG 107Y278 nolu “Uluabat Gölü Su Kalitesinin Modellenmesinde Ağır Metal ve Bazı İz Elementlerin Değerlendirilmesi” isimli proje ve Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı M-2007/27 nolu “Ağır Metal ve İz Element Kirliliğinin Sığ Göllerde Modellenmesi ve Ekolojik Etkisi” isimli projeden edinilen maddi destek sayesinde bölümümüze kazandırılan yazılım ile tamamlanmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli fikirlerinden ve yardımlarından faydalandığım ve bu projelere beni dahil ederek, farklı bir çalışma alanının önemde açılmasını sağlayan, her zaman maddi ve manevi olarak yanımda olan ve bana karşı gösterdiği sabrından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Feza KARAER’e,

Özellikle CBS konusunda beni yönlendiren ve kendimi geliştirmemi sağlayan, bir hocadan çok bir ağabey gibi davranarak gerek arazi çalışmalarında gerekse çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında zamanını esirgmeden yardımcı olan Sevgili Hocam Ertuğrul AKSOY’a ve onun sevgili asistanı Araş. Gör. Dr. Gökhan ÖZSOY’a,

Modelleme çalışmasını beraber yürüttüğüm ve adım adım ilerleyip sonuçlanmasında büyük emeği olan Sevgili Hocam Selçuk SOYUPAK’a, arazi çalışmalarında önemli desteğini gördüğüm hocam Arş. Gör. Dr. Aslıhan KATİP’e,

Tüm çalışma süresince benden yardımını esirgemeyen, manevi desteği sayesinde bu çalışmayı bitirdiğime inandığım sevgili proje arkadaşım Saadet İLERİ’ye ve verdiği moralle yanımda olan, ilgisi olmamasına rağmen bizimle beraber projeyi bitiren canım arkadaşım sevgili Efsun DİNDAR’a,

Son olarak da benden tüm hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen, her koşulda kendilerini yanımda hissettiğim sevgili annem, ağabeyim ve özlemi hiç dinmeyen sevgili babama,

Bundan sonraki yaşantımda da hep yanımda olup, zorlukları beraber atlatacağım müstakbel eşim Sevgili Cengiz ONUR’a

Çok ama çok teşekkür ederim.

Seher Sonay Sarmaşık  
25/09/2011

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
Özet .....	i
Abstract .....	ii
Önsöz ve Teşekkür .....	iii
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini .....	vi
Şekiller Dizini .....	vii
Grafikler Dizini .....	xi
Çizelgeler Dizini .....	xiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç .....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Hidrodinamik Modelleme .....	4
2.2. Gölde Zonlar ve Vejetasyon .....	7
2.3. Örnek Çalışmalar .....	9
<b>3. ÇALIŞMA ALANI .....</b>	<b>14</b>
3.1. Gölün Genel Özellikleri .....	14
3.2. Arazi Çalışmaları .....	17
3.2.1. Hidrodinamik Veri Toplanması .....	17
3.2.2. Batimetrik Ölçüm Çalışmaları .....	19
3.3. Kullanılan Veriler .....	23
3.3.1. Su Bütçesi .....	23
3.3.2. Batimetri .....	29
3.3.3. Su Seviyesi .....	33
3.3.4. Su Sıcaklığı .....	34
3.3.5. Nisbi Nem .....	35
3.3.6. Hava Sıcaklığı .....	36
3.3.7. Toplam Radyasyon .....	37
3.3.8. Bulutluluk .....	38
3.3.9. Rüzgar Hızı ve Yönü .....	38
3.3.10. Buharlaşma .....	40
3.3.11. Yağış .....	41
<b>4. METOD .....</b>	<b>42</b>
4.1. Delft3D-FLOW .....	42
4.2. Temel Denklemler .....	44
4.3. Zaman Aralığı .....	46
<b>5. BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>48</b>
5.1. Duyarlılık Analizi .....	49

5.2. Dönemsel Çalışmalar .....	52
5.2.1. Dönem-1 .....	52
5.2.2. Dönem-2 .....	83
5.2.3. Dönem-3 .....	115
5.2.4. Dönem-4 .....	140
5.3. Çınarcık Barajının Etkisi .....	171
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>176</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>179</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>189</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>192</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$F_x$	x doğrultusundaki Reynolds gerilmesi
$F_y$	y doğrultusundaki Reynolds gerilmesi
$h$	Toplam su derinliğini,
$M_x$	x doğrultusundaki çökme ya da dış kaynaklara bağlı momentum
$M_y$	y doğrultusundaki çökme ya da dış kaynaklara bağlı momentum
$P_x$	x doğrultusundaki basınç bileşeni
$P_y$	y doğrultusundaki basınç bileşeni
$S$	Deşarja ya da su çekilmesine, yağışa ve buharlaşmaya bağlı birim alan başına katkı
$u$	x doğrultularında derinlik ortalamalı hız bileşeni
$v$	y doğrultularında derinlik ortalamalı hız bileşeni
$\zeta$	Su yüzeyi kotunu,
$\nu_v$	Dikey Eddy viskozite katsayısını,
$\omega$	Sigma koordinat sisteminde dikey hız bileşenini
$h$	Toplam su derinliği
$n$	Manning katsayısı
$k_s$	Nikuradse pürüzlülük uzunluğu
$CFL_{wave}$	Courant sayısı
$\Delta t$	Zaman aralığı
$G$	Yerçekimi ivmesi
$H$	Yerel su derinliği
$\Delta x$	x doğrultusundaki grid ağı boyutu
$\Delta y$	y doğrultusundaki grid ağı boyutu
$\rho$	su yoğunluğu
$\zeta$	su seviyesi

### Kısaltmalar

### Açıklama

<b>DEM</b>	Sayısal Yükseklik Modeli
<b>DHI</b>	Danimarka Hidrolik Enstitüsü
<b>DMİ</b>	Devlet Meteoroloji İşleri
<b>DSİ</b>	Devlet Su İşleri
<b>EİEİ</b>	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>GPS</b>	Küresel Konumlama Sistemi
<b>MKP</b>	Mustafakemalpaşa
<b>NOAA</b>	Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
<b>USACE</b>	Amerikan Askeri Mühendisleri Birliği
<b>USEPA</b>	Amerikan Çevre Koruma Ajansı
<b>USGS</b>	Amerikan Jeolojik İnceleme Kurumu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1</b> Göllerde Zonasyon .....	7
<b>Şekil 3.1.</b> Uluabat Gölü Yer Bulduru Haritası .....	16
<b>Şekil 3.2</b> Uluabat Gölü Örnekleme Noktaları .....	18
<b>Şekil 3.3</b> Ölçüm Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Bağlantıları .....	19
<b>Şekil 3.4</b> MacroMap Yazılımına Altlık Olarak Getirilen Ölçüm Hatları .....	20
<b>Şekil 3.5</b> Uluabat Gölü Echo-Sounder Ölçüm Nokta Veri Tabanı ve Haritası (shapefile) .....	21
<b>Şekil 3.6</b> Uluabat Gölü Zenginleştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli ve Eşyükselti Eğrileri .....	22
<b>Şekil 3.7</b> Göllerde Su Bütçesi .....	23
<b>Şekil 3.8</b> 3 Numaralı Susurluk Havzası Açık ve Kapalı Akım Gözlem İstasyonları .....	24
<b>Şekil 3.9</b> 1995 Yılına Ait Uluabat Gölü Batimetri Haritası .....	30
<b>Şekil 3.10</b> 2010 Yılına Ait Uluabat Gölü Batimetri Haritası .....	31
<b>Şekil 3.11</b> Maksimum Su Kotu 3,73m için QUICKIN Modülünde Hazırlanmış Uluabat Gölü Batimetrisi .....	32
<b>Şekil 3.12</b> Maksimum Su Kotu 5,84m için QUICKIN Modülünde Hazırlanmış Uluabat Gölü Batimetrisi .....	32
<b>Şekil 4.1</b> Delft3D Yazılımının Modülleri .....	42
<b>Şekil 4.2</b> Delft3D-FLOW Modülünün Kullanımı .....	44
<b>Şekil 5.1</b> Uluabat Gölü Vejetasyon Durumu .....	50
<b>Şekil 5.2</b> Dönem-1 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı İlişkisi .....	52
<b>Şekil 5.3</b> 23 Mayıs 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	54
<b>Şekil 5.4</b> 23 Mayıs 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	55
<b>Şekil 5.5</b> 23 Mayıs 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	56
<b>Şekil 5.6</b> 2 Temmuz 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	58
<b>Şekil 5.7</b> 2 Temmuz 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	59
<b>Şekil 5.8</b> 2 Temmuz 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	60
<b>Şekil 5.9</b> 2 Temmuz 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	61
<b>Şekil 5.10</b> 14 Temmuz 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	63
<b>Şekil 5.11</b> 14 Temmuz 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	64
<b>Şekil 5.12</b> 14 Temmuz 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	65
<b>Şekil 5.13</b> 14 Temmuz 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı .....	65
<b>Şekil 5.14</b> Dönem-1 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı .....	68
<b>Şekil 5.15</b> 23 Mayıs 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı .....	70
<b>Şekil 5.16</b> 23 Mayıs 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı .....	71

<b>Şekil 5.17</b>	23 Mayıs 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	72
<b>Şekil 5.18</b>	2 Temmuz 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	73
<b>Şekil 5.19</b>	2 Temmuz 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	74
<b>Şekil 5.20</b>	2 Temmuz 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	75
<b>Şekil 5.21</b>	2 Temmuz 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	76
<b>Şekil 5.22</b>	14 Temmuz 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	78
<b>Şekil 5.23</b>	14 Temmuz 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	79
<b>Şekil 5.24</b>	14 Temmuz 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	80
<b>Şekil 5.25</b>	14 Temmuz 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	81
<b>Şekil 5.26</b>	Dönem-1 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı	82
<b>Şekil 5.27</b>	Dönem-2 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı Arasındaki İlişki	84
<b>Şekil 5.28</b>	20 Ağustos 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	86
<b>Şekil 5.29</b>	20 Ağustos 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	87
<b>Şekil 5.30</b>	20 Ağustos 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	88
<b>Şekil 5.31</b>	16 Eylül 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	90
<b>Şekil 5.32</b>	16 Eylül 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	91
<b>Şekil 5.33</b>	16 Eylül 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	92
<b>Şekil 5.34</b>	16 Eylül 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	93
<b>Şekil 5.35</b>	30 Ekim 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	95
<b>Şekil 5.36</b>	30 Ekim 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	96
<b>Şekil 5.37</b>	30 Ekim 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	97
<b>Şekil 5.38</b>	30 Ekim 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	98
<b>Şekil 5.39</b>	Dönem-2 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı	100
<b>Şekil 5.40</b>	20 Ağustos 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	102
<b>Şekil 5.41</b>	20 Ağustos 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	103
<b>Şekil 5.42</b>	20 Ağustos 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	104
<b>Şekil 5.43</b>	16 Eylül 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	105
<b>Şekil 5.44</b>	16 Eylül 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	106
<b>Şekil 5.45</b>	16 Eylül 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	107
<b>Şekil 5.46</b>	16 Eylül 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	108
<b>Şekil 5.47</b>	30 Ekim 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	110
<b>Şekil 5.48</b>	30 Ekim 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	111
<b>Şekil 5.49</b>	30 Ekim 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	112
<b>Şekil 5.50</b>	30 Ekim 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	113
<b>Şekil 5.51</b>	Dönem-2 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı	114
<b>Şekil 5.52</b>	15 Ocak 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	117
<b>Şekil 5.53</b>	15 Ocak 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	118
<b>Şekil 5.54</b>	15 Ocak 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	119
<b>Şekil 5.55</b>	6 Şubat 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	121



<b>Şekil 5.56</b>	6 Şubat 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	122
<b>Şekil 5.57</b>	6 Şubat 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	123
<b>Şekil 5.58</b>	6 Şubat 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	124
<b>Şekil 5.59</b>	Dönem-3 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı	126
<b>Şekil 5.60</b>	15 Ocak 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	128
<b>Şekil 5.61</b>	15 Ocak 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	129
<b>Şekil 5.62</b>	15 Ocak 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	130
<b>Şekil 5.63</b>	6 Şubat 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	131
<b>Şekil 5.64</b>	6 Şubat 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	132
<b>Şekil 5.65</b>	6 Şubat 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	133
<b>Şekil 5.66</b>	6 Şubat 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	134
<b>Şekil 5.67</b>	Dönem-3 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı	135
<b>Şekil 5.68</b>	8 Şubat Tarihinde Kocasu Çayı'ndan Başlayan Geri Besleme	137
<b>Şekil 5.69</b>	10 Şubat Tarihinde Kocasu Çayı Geri Beslemesinin Akım Hızı	138
<b>Şekil 5.70</b>	10 Şubat Tarihinde Kocasu Çayı'nda Geri Beslemenin Bitişi	139
<b>Şekil 5.71</b>	Dönem-4 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı Arasındaki İlişki	140
<b>Şekil 5.72</b>	4 Mart 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	142
<b>Şekil 5.73</b>	4 Mart 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	143
<b>Şekil 5.74</b>	4 Mart 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	144
<b>Şekil 5.75</b>	1 Nisan 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	146
<b>Şekil 5.76</b>	1 Nisan 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	147
<b>Şekil 5.77</b>	1 Nisan 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	148
<b>Şekil 5.78</b>	1 Nisan 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	149
<b>Şekil 5.79</b>	21 Nisan 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	151
<b>Şekil 5.80</b>	21 Nisan 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	152
<b>Şekil 5.81</b>	21 Nisan 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	153
<b>Şekil 5.82</b>	21 Nisan 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı	154
<b>Şekil 5.83</b>	Dönem-4 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı	156
<b>Şekil 5.84</b>	4 Mart 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	158
<b>Şekil 5.85</b>	4 Mart 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	159
<b>Şekil 5.86</b>	4 Mart 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	160
<b>Şekil 5.87</b>	1 Nisan 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	161
<b>Şekil 5.88</b>	1 Nisan 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	162
<b>Şekil 5.89</b>	1 Nisan 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	163
<b>Şekil 5.90</b>	1 Nisan 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	164
<b>Şekil 5.91</b>	21 Nisan 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	165
<b>Şekil 5.92</b>	21 Nisan 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	166
<b>Şekil 5.93</b>	21 Nisan 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	167
<b>Şekil 5.94</b>	21 Nisan 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı	168

<b>Şekil 5.95</b> Dönem-4 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı .....	170
<b>Şekil 5.96</b> a)Uluabat Kuvvet Tüneli Güzergahı b) Emet-Orhaneli Projesi Yapı Yerleri ve Genel Kesiti .....	172
<b>Şekil 5.97</b> Delft3D Grid Yapısı ve Hız Bileşenleri .....	174

## GRAFİKLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Grafik 3.1</b> Eylül-Ekim Ayları Günlük Su Kotu ve Yağış Yüksekliği İlişkisi ...	25
<b>Grafik 3.2</b> Su Bütçesindeki Aylık Hata Değerleri .....	29
<b>Grafik 3.3</b> Gölyazı Eşelinde Günlük Su Seviyesi Değişimi .....	33
<b>Grafik 3.4</b> Göliçi Örnekleme Noktalarında Derinlik Değişimleri .....	34
<b>Grafik 3.5</b> Göliçi Örnekleme Noktalarında Bölgesel Sıcaklık Değişimleri ...	35
<b>Grafik 3.6</b> DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Nisbi Nem Değişimi .....	36
<b>Grafik 3.7</b> DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Hava Sıcaklığı Değişimi .....	37
<b>Grafik 3.8</b> DMİ Bursa İstasyonu Saatlik Toplam Radyasyon Değişimi .....	38
<b>Grafik 3.9</b> DMİ Bursa İstasyonu Saatlik Bulutluluk Değişimi .....	39
<b>Grafik 3.10</b> DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızı Değişimi .....	40
<b>Grafik 3.11</b> DMİ Bursa İstasyonu Günlük Toplam Buharlaştırma .....	41
<b>Grafik 3.12</b> DMİ Bursa İstasyonu Günlük Yağış Yüksekliği .....	41
<b>Grafik 5.1</b> 23 Mayıs -20 Ağustos Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması .....	53
<b>Grafik 5.2</b> 23 Mayıs 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	57
<b>Grafik 5.3</b> 23 Mayıs 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	57
<b>Grafik 5.4</b> 2 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	62
<b>Grafik 5.5</b> 2 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	62
<b>Grafik 5.6</b> 14 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	67
<b>Grafik 5.7</b> 14 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	67
<b>Grafik 5.8</b> Dönem-1'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi .....	69
<b>Grafik 5.9</b> 20 Ağustos – 28 Kasım Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması .....	85
<b>Grafik 5.10</b> 20 Ağustos 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	89
<b>Grafik 5.11</b> 20 Ağustos 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	89
<b>Grafik 5.12</b> 16 Eylül 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	94
<b>Grafik 5.13</b> 16 Eylül 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	94
<b>Grafik 5.14</b> 30 Ekim 2008 Günü Rüzgar Hızı .....	99
<b>Grafik 5.15</b> 30 Ekim 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	99
<b>Grafik 5.16</b> Dönem-2'ye Ait Hava Sıcaklığı Değişimi .....	101
<b>Grafik 5.17</b> 15 Ocak – 4 Mart Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması .....	115
<b>Grafik 5.18</b> 15 Ocak 2009 Günü Rüzgar Hızı .....	120
<b>Grafik 5.19</b> 15 Ocak 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	120
<b>Grafik 5.20</b> 6 Şubat 2009 Günü Rüzgar Hızı .....	125
<b>Grafik 5.21</b> 6 Şubat 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü) .....	125

<b>Grafik 5.22</b> Dönem-3'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi .....	127
<b>Grafik 5.23</b> 4 Mart – 15 Mayıs Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması .....	141
<b>Grafik 5.24</b> 4 Mart 2009 Günü Rüzgar Hızı .....	145
<b>Grafik 5.25</b> 4 Mart 2009 Günü Rüzgar Gücü (Akım Yönü) .....	145
<b>Grafik 5.26</b> 1 Nisan 2009 Günü Rüzgar Hızı .....	150
<b>Grafik 5.27</b> 1 Nisan 2009 Günü Rüzgar Gücü (Akım Yönü) .....	150
<b>Grafik 5.28</b> 21 Nisan 2009 Günü Rüzgar Hızı .....	155
<b>Grafik 5.29</b> 21 Nisan 2009 Günü Rüzgar Gücü (Akım Yönü) .....	155
<b>Grafik 5.30</b> Dönem-4'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi .....	157

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Hidrolik ve Hidrodinamik Model Örnekleri .....	6
<b>Çizelge 3.1</b> Uluabat Gölü'ne Giren Sular .....	14
<b>Çizelge 3.2</b> Uluabat Gölü'den Çıkan Sular .....	15
<b>Çizelge 3.3</b> Uluabat Gölü Gölüçü Örnekleme Noktaları Koordinatları .....	17
<b>Çizelge 3.4</b> Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'nden Çıkan Aylık Su Miktarı..	26
<b>Çizelge 3.5</b> Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'ne Gelen Aylık Su Miktarı ....	27
<b>Çizelge 3.6</b> Çalışma Döneminde Uluabat Gölü Genel Su Bütçesi .....	28
<b>Çizelge 5.1</b> Model Senaryoları .....	51

## 1. GİRİŞ

Türkiye'nin de taraf olduğu Ramsar Sözleşmesinde sulak alanlar "*Doğal ya da yapay, sürekli ya da mevsimsel, tatlı, acı ya da tuzlu, durgun ya da akan su kütleleri, bataklıklar, turbalıklar ve gelgitin çekilmiş anında derinliği altı metreyi aşmayan deniz suları.*" olarak tanımlanmıştır (Semiz ve ark. 2011).

Cirik (1993) ise sulak alanların, derinliği 6 metreden az, bazı ortak özelliklere sahip; sulan tatlı, tuzlu ve acı olabilen gölleri, bataklıkları, akarsuların durgun kısımlarını, taşkın alanlarını ve ayrıca alçak deniz kıyılarını, haliçleri, nehir ağzının genişleyerek deniz ekosistemlerine dönüştüğü sahaları, lagünleri kapsamına aldığını ifade etmiştir.

İnsanlara birçok faydalar sağlayan sulak alanlar, tropikal ormanlardan sonra birim alanda en yüksek organik madde üreten ekosistemlerdir. Suları tatlı, tuzlu ve acı olabilen sulak alanları, haliçler, açık kıyılar, taşkın ovaları, tatlı su bataklıkları, göller, turba alanları ve bataklık ormanları vb. gibi ekosistemler teşkil etmektedir. Sulak alanların büyük ekonomik öneme sahip olmaları ve su kuşlarına yaşama ortamı olmalarının yanında, su taşkınlarını önleme, kıyı şeridi stabilizasyonu, tarım için gerekli su seviyesini koruma, suyun depolanmasını sağlama, suyu temizleme ve rekreasyon imkanları sağlama vb. gibi birçok işlevi de yerine getiren doğal bir zenginliktir (Dugan 1990).

Ayrıca nadir görülen veya endemik olan çok sayıda bitki ve hayvan türlerinin barınmasına imkan sağlayan yeryüzünü önemli genetik rezervuarlarıdır. Özellikle kıtalar arası göç yolları üzerinde bulunan sulak alanlar, kuşların uğrak yerleri olup su kuşları açısından hayati önem taşırlar (Kaya 1998).

Ancak hızlı nüfus artışı, yanlış alan kullanımları, sanayileşme, kentsel büyümeler gibi daha birçok unsurun sonucu olarak pek çok sulak alan doğal olarak yok olma ya da doğal özelliğini ve işlevini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Sulak alan ekosistemlerinin ekolojik dengenin sağlanmasında, barındırdığı biyolojik çeşitliliğin korunmasında ve ekonomik gelir kapısı olmaları bakımından büyük önem taşıdıkları

ancak çoğu ülkelerde olduğu gibi yurdumuzda da birçok tehlikelerle karşı karşıya buldukları bilinmektedir. Sulak alanların korunması ve geliştirilmesi ile ilgili gerekli önlemler ve tedbirler alınmadığı sürece telafisi mümkün olmayan bozulmalara ve dolayısıyla yok olmaya doğru gidecektir (Demir ve ark. 2011).

Türkiye'deki sulak alanların %77'sinde avcılık, %65'inde balıkçılık, %40'ında otlatma, %25'inde saz kesimi ve %35'inde rekreasyon ve spor yapılırken, %20'sinden ise tarımsal sulama için yararlanır. Ekonomik alanda yararlanılamayan tek bir tane bile sulak alan bulunmamaktadır (Eken ve ark. 2006).

Ülkemizde Kars ili sınırlarında kalan Kuyucuk Gölü'nün de dahil olmasıyla birlikte Ramsar statüsündeki toplam 13 gölden biri olan Uluabat Gölü, listeye 15.02.1985 yılında girmiştir (<http://www.ramsar.org/pdf/sitelist.pdf>, 2011). Ayrıca korunması gereken ekolojik önemi nedeniyle 2000 yılında Yaşayan Göller Ağı'na dahil edilerek Uluslar arası platformda önemi bir kez daha vurgulanmıştır.

Ancak, günümüze kadar yapılan bir çok çalışma gölün gerek antropojenik gerekse doğal yapısı kaynaklı stres unsurları tarafından baskı altında olduğunu göstermiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı ile Doğal Hayatı Koruma Derneği tarafından ortaklaşa hazırlanıp, Sulakalanlar Komisyonunca 2002 yılında onaylanan Uluabat Gölü Yönetim planında tanımlanan sorunların başında göle yapılan hidrolojik müdahaleler gelirken bunlar; gölün seddelenmesi, havzadaki baraj yapımı, sulama suyu alımı, göl çıkışındaki seviye kontrolü şeklinde ayrıntılandırılmıştır.

### 1.1. Amaç

Uluabat Gölü'nü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı üzerinde yapılmış olan Çınarcık Barajı su tutmaya başlamasıyla, göle gelen su miktarı azalmıştır. Ancak 2010 yılının Kasım ayından itibaren, barajdan kuvvet tüneli vasıtasıyla Akçalar mevkiinden göle su boşaltımı başlamıştır. Bununla beraber özellikle son aylarda Büyükşehir Belediyesi tarafından gündeme getirilen rekreasyonel amaçlı olarak Uluabat Gölü'nün bir kanal

vasıtasıyla Marmara Denizi'ne bağlanması projesi gölün hidrodinamik ve ekolojik yapısını doğrudan etkileyecek antropojenik bir unsurdur.

Mevcut ve gündemde olan bu yapısal değişiklikler, Uluabat Gölü'nün hidrodinamik yapısının değerlendirilmesini gerekli hale getirmiştir. Çalışma kapsamında, modellemede kullanılacak hidrodinamik ve meteorolojik parametreler belirlenmiş, mevcut hidrodinamik veriler DSİ ve EİEİ'den temin edilirken, meteorolojik veriler DMI'den alınmıştır. Gölü besleyen ve gölün boşalmasını sağlayan akarsular ile gölde belirlenen örnekleme noktalarında analizler yapılmıştır. Gölün mevcut batimetrik haritasının güncellenmesi amacıyla arazide ölçümlerine çıkılmış, DSİ tarafından 1995 yılında hazırlanan batimetri haritası ile güncel ölçümler kıyaslanarak gölün derinlik, alan ve hacminde ne kadar değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Mayıs 2008 – Mayıs 2009 tarihleri arasındaki örnekleme periyodu sonunda model çalışmaları dört dönemde incelenmiş, dönemler için hassasiyet analizi uygulanarak taban pürüzlülüğünün göldeki hidrodinamik koşullar üzerine etkisi belirlenmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Hidrodinamik Modelleme

Modelleme, belirli hedeflere ulaşmak için gerçek bir sistemin simülasyonu veya performansını değerlendiren temel bilgi ve deneyimin uygulanması prosesidir. Modelleme farklı iki amaca yönelik yapılabilir: araştırma amaçlı ve yönetim amaçlı. Daha spesifik olarak, modellemenin amacı, sistemi yorumlamak, davranışlarını analiz etmek, yönetmek, işletmek, kontrol etmek veya istenen sonuçları sağlamak, yeni metotlar tasarlamak, geliştirmek veya uyarlamak, sistem hakkındaki hipotezleri test etmek veya çeşitli koşullar altında çıkabilecek sonuçları önceden kestirebilmektir (Khandan 2002).

Su kaynakları yönetiminde karar verme sürecinin bir bileşeni olarak yer olan matematik modelleme, 1960'ların sonlarından bu yana çevre bilimlerinde bir araç olarak kullanılmaktadır. Modeller, kirliliğin nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. (Ekdal ve Tanık 2008; Nijboer ve Verdonschot 2004). Modellerin en büyük avantajları ise gelecek için senaryolar oluşturulmasına izin vermeleridir (Ertürk 2005). Ayrıca, modeller daha objektif ve güvenilir değerlendirmeler yapma ve öngörülerde bulunma seçeneği sunduklarından dolayı da oldukça yararlıdırlar (Yenilmez ve ark. 2007; Gertsev ve Gertseva 2004).

Modelleme çalışmalarının temelini hidrodinamik modeller oluşturur. Çünkü bu modeller, çalışmanın diğer kısımlarına temel oluşturacak, akıntı hızı, seviye yüksekliği, taban kayma gerilimi gibi pek çok parametre ile ilgili bilgi verirler. Çizelge 1'de kullanılan hidrolik ve hidrodinamik modellerden bazıları verilmiştir;

Temel olarak hidrodinamik modeller, akışkan hareketlerine yönelik denklemleri kullanarak yüzey suyu akışını modellemektedirler. Bu denklemleri çözmek için kullanılan ayrıntı düzeyi, bilgisayar teknolojisi ve gerekli hesaplamaları gerçekleştirmek için sayısal yöntemlerin kullanılabilirliği tarafından yönlendirilmektedir. Bütün akış modelleri, en azından, momentumun korunumu ve hidrolik veya hidrodinamik model

temeline dayanmaktadır. Hidrolik modeller genellikle hareket denklemlerinin çok basitleştiren yaklaşımlarını gerektirir (Anonim 2004a).

Hidrodinamik modeller ise hareket denklemleri için daha az yaklaşım kullanmaları nedeniyle hidrolik modellerden daha karmaşık bir yapıya sahiplerdir. İki ve üç boyutlu grid yapısı ile kıyıların ve batimetrisinin gerçekçi geometrisini göstermek amacıyla oluşturulan hidrodinamik modellerin, su seviyesinin, tuzluluğun, su sıcaklığının ve hızın yatayda ve dikeydeki dağılımlarının zamana bağlı eşitliklerinin çözülebilmesi için gelişmiş nümerik metotlara ihtiyacı vardır (Anonim 2004a).

### ***Tek Boyutlu Modeller (1D)***

Kararlı durum, düzgün akış koşulları için, Chezy ve / veya Manning denklemleri, mekansal olarak homojen bir alan içerisinde akış, kesit alanı, taban sürtünmesi, su seviyesi ve hız arasındaki, etkileşimleri açıklamak için kullanılırlar. Örneğin, Manning eşitliği EPA tarafından desteklenen tek boyutlu (1D) kararlı hal su kalitesi modeli QUAL2E'de su derinliği ve hızın belirlenmesinde kullanılmaktadır (Brown ve Barnwell 1987). Akarsu yatağı boyunca akım derinliğinin değiştiği sürekli akış koşulları için, uniform olmayan hidrolik denklemler geliştirilmiştir. Buna örnek olarak US Army Corps of Engineers tarafından geliştirilen su yüzey profil modeli HEC-2, Hosseinipour ve Martin (1990) tarafından EPA için geliştirilen RIVMOD modeli ve Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen MIKE11 modeli verilebilir.

### ***İki Boyutlu Modeller (2D)***

İki boyutlu, derinlik ortalamalı hidrodinamik modeller akarsulara, haliçlere, kıyı sularına ve sığ göllere ve rezervuarlara uygulanması için sonlu farklar ve sonlu elemanlar çözüm teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir. Literatürde iki boyutlu model uygulamalarına birçok örnek bulunmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılan modellerden bazıları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Hidrolik ve Hidrodinamik Model Örnekleri

Model	Model Tipi	Kaynak
HEC-2	1D	USACE Hydrologic Engineering Center; HEC (1982)
CE-QUAL-RIV-1	1D	USACE/WES; ERL (1995)
FLDWAV2.0	1D	NOAA; NWS (2001)
RIVMOD	1D	EPA CEAM; Hosseinipour & Martin (1993)
MIKE11	1D	DHI Water & Environment
EFDC-1D	1D	EPA Region IV; Tetra Tech (2001)
MIKE21	2D	DHI Water & Environment; <www.dhisoftware.com>
MODFLOW-HMS	2D	Hydro Geologic; Huyakorn (2000)
TABS-2	2D	USACE / WES; Thomas & Mac Nally (1985)
HSCTM-2D	2D	EPA CEAM; Hayter ve ark. (1999)
RMA-2	2D	Resource Management Assoc.
FESWMS-2D	2D	USGS; Froelich (1989)
BFHYDRO	3D	Applied Science Assoc; <www.Appsci.com>
POM	3D	NOAA Geophysical; Blumberg & Mellor (1987)
ECOM-3D	3D	HydroQual; Blumberg & Mellor (1987)
CH3D-WES	3D	USACE / WES; Johnson ve ark. (1991, 1993)
EFDC	3D	EOA OS & T / Tetra Tech; Harmrick (1992,1996)
FLOW-DELFT3D	3D	Delft Hydraulics; <delftsoftware.wldelft.nl>
MIKE3	3D	DHI Water & Environment
RMA-10	3D	Resource Management; King & DeGeorge (1996)
TRIM3D	3D	USGS; Cheng ve ark. (1993)

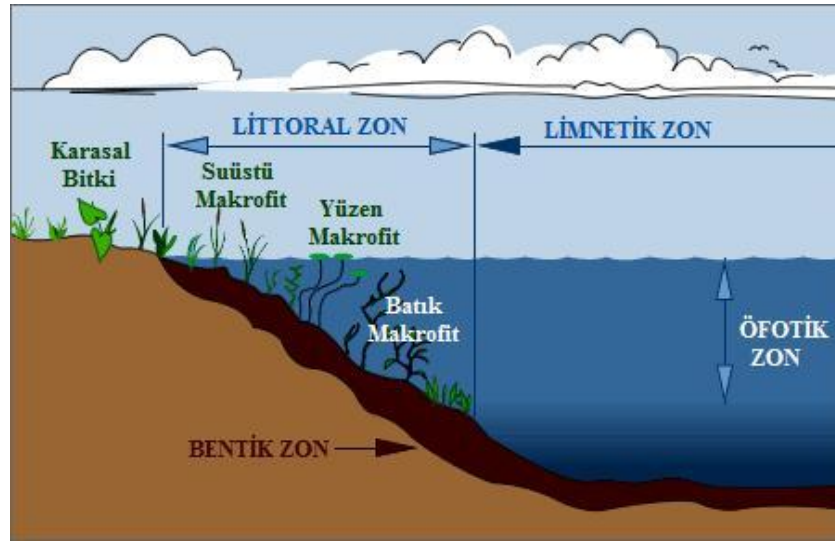
### ***Üç Boyutlu Modeller (3D)***

Tek boyutlu ve iki boyutlu problemlerde de uygulanabilen üç boyutlu hidrodinamik modeller, 1980’li yılların ortasından beri, ileri sediment taşınımı, su kalitesi, ötrofikasyon ve kirletici taşınımı-davranış modellemesi çalışmaları için kaçınılmaz bir araç haline gelmiştir.

Haliçler ve okyanus kıyısı uygulamaları için geliştirilmiş olmasına rağmen, üç boyutlu modeller nehir, rezervuar, göl ve sulaklanan su kalitesi çalışmalarının hidrodinamiğini simüle etmek için günümüzde artarak kullanılmaktadır (Anonim 2004a).

## 2.2. Gölde Zonlar ve Vejetasyon

Bir göl ekosistemi ekolojik özellikleri yönünden Bentik ve Limnetik Zon olmak üzere iki büyük bölüme ayrılır. Göllerde bulunan zon ve alt zonlara ait şematik gösterim Şekil 2.1'de verilmiştir. Bentik zon kıyı çizgisinden başlayarak gölün en derin bölgesine kadar olan tüm dipleri içerir. Limnetik zon ise göl çukurunu dolduran ve bentik zon örten su kütesinden oluşmuştur (Kocataş 2003).



Şekil 2.1 Göllerde Zonasyon (<http://www.lakeaccess.org>)

Sıcaklığın su kolunu boyunca tabakalaşmasının gerçekleştiği limnetik zon, tabakalaşmaya bağlı olarak Epilimnion, Termoklin ve Hipolimnion olmak üzere üç tabakaya ayrılabilir. Her tabaka kendine özgü fiziksel ve kimyasal koşullara sahiptir. Ayrıca bu bölgede tabana kadar ışık penetrasyonu genellikle gerçekleşmez (<http://www.lakeaccess.org>).

Bentik zon derinliğe ve içerdiği bitki türlerine göre Supralittoral Zon, Littoral Zon, Sublittoral Zon ve Derin Zon olmak üzere dört bölümde incelenmektedir. Su dışında kalan göl sahili Supralittoral zon, zaman zaman dalgalarla ıslanmaktadır. Littoral Zonda, zengin bitki örtüsü içeriği derinliğe göre farklılık göstermektedir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi kıyı kesiminde saz, kamış gibi su üstü makrofitler, daha sonra nilüfer

gibi yaprağı su üstünde bulunan yüzen makrofitler, en son olarak da su sümbülü, su şamdanı gibi batık makrofitler bir gölün Littoral zonunu oluşturmaktadır (Peter ve Lodge 2009). Eğimin oldukça fazla olduğu Sublittoral zonda ise ölmüş bitki ve hayvan artıkları depolanmaktadır. Derin zon ise ancak derin göllerde bulunmaktadır (Kocataş 2003).

Bir göl ekosisteminde littoral zon, yapısal ve işlevsellik açısından birçok gölün önemli bir bölümüdür. Dünyadaki birçok gölün küçük olması nedeniyle, toplam göl alanında büyük bir miktarını littoral zon oluşturur. Ayrıca littoral zon karasal yüzeysel akış, yeraltısu veya akarsu bağlantılarında göle gelen materyallerin taşınımını etkilemekte, bu durum ise littoral zondaki ve diğer göl ekosistemindeki biyolojik ve fiziksel prosesleri etkilemektedir. Makrofitler ve omurgasızlar açısından en üretken alan littoral zondur (Peter ve Lodge 2009). Göllerin yapısına göre değişiklik gösteren littoral zon derin göllerde çok dar iken, özellikle sığ göllerde oldukça geniştir (Kocataş 2003, Lewis 2009).

Sığ göllerin durumunu açıklayan alternatif kararlı durumlar teorisine göre, göller iki kararlı durumda bulunmaktadır; baskın su üstü ve batık makrofitlerin söz konusu olduğu berrak su durumu ve alglerin sucül bitkilere nazaran daha baskın olduğu bulanık su durumu (Sheffer 2004, Akdeniz 2005). Yararlı ve dengeleyici mekanizma sağladıklarından batık makrofitler sığ göllerde berrak su durumunun korunmasında kritik bir rol oynamaktadırlar.

Sedimentin tekrar askıya geçişinin azalmasına, alglerin nütrient sınırlanmasına, alglerin büyümesini sağlayan allelopatik bileşiklerin salgılanmasına neden olmaktadır. Bu özellikleri makrofit açısından zengin olan littoral zonun özellikle sığ göller için önemini vurgulamaktadır (Özen 2006).

Bunların yanında makrofitlerin akış direncini arttırdığı ve iletim kapasitesinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir (Nepf 2009). Özellikle sığ göllerde hidrodinamik davranış genelde gölde su yüzüne çıkan makrofit, batık makrofit ve

makrofit bulunmayan alanların toplam göl alanı içerisinde dağılımına ve kapladıkları alana bağlı olmaktadır.

Literatürde yapılmış birçok çalışma ile desteklenen (Cardoso 2005, Larmaei ve ark. 2009, Madsen ve ark. 2001, Kees ve ark. 2010, Ebrahimi ve ark. 2008) makrofitlerin akış direncini etkileyişi Uluabat Gölü için de önem oluşturmaktadır. Alternatif kararlı durumlar teorisinin geçerli olduğu gölde, bulunduğu durumu koruma eğilimi bulunmasına karşın su rejimindeki değişim, azot ve fosfor gibi besin yükleri ile askıda katı madde miktarının artması veya azalması (Akdeniz 2005) gibi nedenlerle kararlı durumlar arasında geçiş yapması söz konusudur.

Özellikle su yüzüne çıkan makrofitlerden sazlık ve yüzen makrofitlerden nilüfer yatakları Uluabat Gölü'nün ekolojik özelliklerinin bir parçasıdır. Bunlar mevsimsel olarak değişiklik göstererek göldeki akışa karşı direnç oluşturmakta ve akış hızını düşürmektedir.

### 2.3. Örnek Çalışmalar

Kullanılabilir su kaynaklarının giderek azalması, yatırımların su kalitesi üzerindeki etkilerinin önceden tahmin edilerek olumsuz çevresel etkiler oluşmadan önce gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda matematiksel modelleme, henüz gerçekleşmemiş bir yatırımın çevresel etkilerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilir güçlü bir araçtır (Özçoban, 1998).

Gelecekteki olası ekstrem yıllık su seviyelerinin tahmin edinilmeye çalışıldığı araştırmalarında Batur ve ark. (2008), çoklu regresyon analizi yöntemiyle su seviyesini modellemiştir. Geçmişte gözlenmiş yüksek yağış düşük buharlaşma periyotları dikkate alınarak gelecek için oluşturulan 4 yıllık yağış-buharlaşma senaryoları kullanılan çalışma sonucunda, gölün kotu 2007 su yılı kotuna yakın kotlarda iken 1988 yılında gözlenmiş 775 mm'lik alansal yağış düşmesi durumunda 1 yılda 1996'daki seviyesine yükselebileceği görülmüştür.

Çalışma alanı olarak, İzmir ilinin % 40'ının içme suyunun karşılayan Tahtalı Baraj Gölü seçilen araştırmada, nümerik model olarak, 3 boyutlu bir program olan EFDC (Çevresel Akışkanlar Dinamiği Kodu) kullanılmış ve Su çekilme etkileri ve beklenen iklim değişikliklerinin tabakalaşma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 2006-2007 yıllarında yürütülen çalışma sonucunda, akım hızlarının rüzgâr şiddetinden önemli ölçüde etkilendiği ve hassas rüzgar ölçümlerinin model sonuçlarını çok daha doğru bir noktaya taşıyacağı vurgulanmıştır (Çalışkan, 2008).

Mercan (2006), çalışmasında değişik uzunluktaki süreler için nümerik modelleme yaparak göl yönetimine yeni bir bakış açısı getirmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, Beyşehir Gölü'nün hidrodinamik modeli, ısı ve su dengesini kurmuştur. Kurulan üç boyutlu hidrodinamik model; i) on yıllık kesintisiz bir dönem (1992-2001 su yılı), ii) en kurak bir yıllık dönem (2001 su yılı), iii) en çok yağış alan bir yıllık dönem (1996 su yılı), iv) ortalama bir yıllık dönem (1998 su yılı) olmak üzere dört ayrı durum için Elcom 3D programını kullanarak çalışmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, uzun dönem modelleme yardımı ile kısa dönem modellemeden elde edilen bilgiden daha fazla bilgi elde edildiğini ve bu bilgilerin gölün yönetimi için hayati öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Karahan ve Dikbaş (1999), Uluabat Gölü'nün hidrolojik dengesini, değişik rüzgar yön ve hızlarında oluşacak akıntı dokusunu ve bunun su kalitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 2-boyutlu matematiksel model çalışmışlardır. Meteorolojik veriler, göle en yakın istasyon olan Mustafakemalpaşa Meteoroloji İstasyonundan temin edilirken; x ve y yönlerindeki  $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$  aralıkla gölü, 48x28 elemana ayrılmıştır. Çalışmayla, gölün sığ olması nedeniyle rüzgarın akıntı hareketleri üzerinde önemli etkisini ortaya koymuştur.

Kanada'nın kuzey iklim sistemindeki büyük göllerden biri olan Büyük Slave Gölü'nün hidrodinamik koşullarının modellendiği çalışmada 3 boyutlu ELCOM modeli uygulanmıştır. Su yüzeyinde ve su kolunu boyunca ölçülen sıcaklık verileri, simüle edilen değerler ile kıyaslanmış, sıcaklık ve yüzey ısı akımlarının hangi meteorolojik parametrelerden etkilendiğinin belirlenmesi için hassasiyet analizi uygulanmıştır. Leon

ve ark. (2006) hava sıcaklığı ve güneş radyasyonu verilerindeki %10'luk artışın yüzey suyu sıcaklığındaki %3,1'lik ve %8,3'lük artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında çalışma sonucunda, bölgesel iklim modeline göl bileşenlerinin dahil edilmemesi durumunda büyük hatalı sonuçların beklenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Winnipeg Gölü ve Hecla Adası geçitinde yapılan çalışmada, bölgedeki değişen akım koşullarının temel nedenlerini araştırmak amacıyla MIKE21 modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda gölde birincil olarak rüzgar kaynaklı akım ve dalgalanmalar meydana geldiği tespit edilmiş, ancak geçitin hidrodinamik koşullar üzerine etkisinin düşük miktarda olduğu vurgulanmıştır (Dupont, 2010).

Makrofitler özellikle haliç ve nehirlerde, yatak sabitleyici, filtre, besin kaynağı ve bakım alanı olarak önemli rol oynamaktadır. Ancak dünya çapında, makrofit popülasyonları giderek artan antropojenik baskı altında kalmaktadır. Bu nedenle Dijkstra ve Uittenbogaard (2010) sucul bitki örtüsü ile akım arasındaki dinamik etkileşimi açıklayacak sayısal bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu tarz modelleme çalışmaları, koruma ve restorasyon çalışmaları, bitki örtüsü, dalgalar, akıntılar ve sediment taşınımı arasındaki etkileşim hakkında daha fazla bilgi elde etmemize yarar sağlayacaktır. Makrofitlerin şekillenmesi, belirli bir bölgede yer alması türbülans ve akış koşullarına bağlıdır. Modellemede *Zostera Marina*'daki deniz otları kullanılmıştır. Model iki kısımdan oluşur, türbülans modeli ve akım ile birleştirilmiş, güç dengesine dayalı, bitki konumu ve kaldırma kuvvetini dikkate alan, bitki büküm simülasyonudur. Model, bitkiler üzerinde önemli etkileri olan akım hızı profilleri ve türbülans karakterlerini tahmin eder. Çeşitli kütle dengesi, hız profilleri ve akış denklemleri yardımı ile model çalıştırılmıştır. Beş farklı senaryo farklı Chezy ve Reynolds sayıları ile derinlik ve akış hızına bağlı olarak modellenmiştir. Sonuçta, doğrulama verilerinin sınırlı olmasına rağmen, bölgede giderek artan akım hızının, yatak kayma gerilmesinin artmasına ve makrofitlerin giderek artacağına dikkat çekmişlerdir.

Lindim ve ark. (2011), Portekiz'de bulunan Alqueva adlı büyük su rezervinde su kalitesi ve hidrodinamik modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Bölge özellikle



antropojenik etkiler ile yüksek nutrient yüküne maruz kalmaktadır. Bu nedenle üç boyutlu sonlu elemanlar hidrodinamik modeli RM10 ile ötrofikasyon modülü birlikte çalıştırılmıştır. Nutrient zenginliği ve ötrofikasyon parametreleri su kalitesinde özellikle insan kaynaklı, dikkate değer parametrelerdir. Çalışmada, toplam fosfor ve azot yüklerinin hesaplanması, rezervuara noktasal ve yaygın kaynaklardan gelen girdiler ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Su sıcaklığı, rüzgar, su kotu, klorofil a, besin maddeleri, çözülmüş oksijene ait yükler ile de simülasyon gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışması sonucunda, su sıcaklığı, klorofil a, çözülmüş oksijen ve nutrientlerin zamana ve mekana bağlı gerçek (sahada ölçülen) sonuçları ile model sonuçlarının birbirleri ile tutarlılığı ispatlanmıştır, ilgili parametrelerin su kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ayrıca, yerel iklim özellikleri ile birlikte, özellikle rezervuarın jeomorfolojik ve hidrolojik özelliklerinin rezervuarda farklı ekolojik bölgelerin oluşmasına sebep oldukları tespit edilmiştir.

Dargahi ve Setegn (2011), Etiyopya’da Tana Gölü’nde üç boyutlu hidrodinamik model ile havza modellenen kombinasyonunu uygulamışlardır. Bölgede giderek artan su ihtiyacının zamanla ihtiyacı karşılayamayacağı endişeleri, su seviyesinde yaşanan düşüşler, gölde bu çalışmanın uygulanmasına ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönlendirmiştir. GEMSS (Yüzey suları için genelleştirilmiş çevre modelleme sistemi) adlı üç boyutlu hidrodinamik model ile fiziksel tabanlı hidrolojik havza modeli olan SWAT modellerini kullanmışlardır. Göle ait batimetri çıkarılmıştır. Üç boyutlu hidrodinamik model, havza modeli ile kombinlenerek, çalışma başarı ile sonuçlandırılmıştır. Gölde akış yapısı, büyük bir sirkülasyon ve ikincil akış bölgeleri ile karakterize edilmiştir. Çalışmada, su yüzeyindeki geniş akım sirkülasyonunun, hakim rüzgar ve kıyı etkileşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. İkincil akışların hız farklılıkları ve katmanlaşma etkisi ile gölde hidrodinamik kararsızlıklara sebep oldukları görülmüştür. Bu yüzden planlanmış süreçteki su çekiminin akış rejimi üzerinde önemli değişikliklere sebep olmayacağı vurgulanmıştır.

Borgne Gölü ve Biloxi Sazlığı’nın hidrodinamik ve tuzluluk modellenmesi çalışmalarına bir başlangıç yapılması amacıyla yaptığı çalışmada Heuvel (2010), hidrodinamik bir model (Delft3D- FLOW) kullanarak dinamik dengeyi simüle etmiştir.

Modeli gel-git yayılımına göre kalibre eden Heuvel, çalışma sonucunda ileri modelleme çalışmalarına öneri olarak gel-git yayılımından olmayan su seviyeleri ve akımlarının mevcut alanın sınır koşullarına eklenmesini ve bu nedenle çalışma alanının tüm Misisippi Nehri'ni kapsayacak şekilde genişletilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Mengoni ve Mosselman (2006) yaptıkları çalışmada, akarsu erozyonunun, akarsularda kıyı kenar çizgisinin geri çekilmesindeki rolünü araştırmışlar ve bu amaçla Cecina Nehri'ndeki (Central Italy) aktif çekilmeyi analiz etmişlerdir. Nehir yatağındaki morfolodinamik süreçleri modellemek amacıyla Delft3D-FLOW modülü kullanılmış, sayısal simülasyonlardan elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi sonucunda, az akışın en yüksek taban kayma gerilimini oluşturduğu, fazla akışın ise daha az taban kayma gerilimi oluşturduğu gözlenilmiştir.

Diğer bir çalışmada, Bielecka ve Kazmierski (2003), Vistula Gölü'nde tuzluluk ve akım alanını belirlemek amacıyla, Delft3D-FLOW hidrodinamik modelini kullanarak, genel varsayımlar ve ön sonuçlar elde etmişlerdir. Model, eğrisel ortogonal gridler kullanılmaktadır ve grid hücrelerinin boyutları değişkendir (200 m'den 1300 m'ye kadar). Dikey doğrultuda 11 katman mevcuttur. Baltiysk Boğazı'ndan su geçişi, açık sınır şartları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca farklı iki durum için, 10 adet açık sınır şartı tanımlanmıştır: Baltık Boğazı'nda su seviyesi değişimleri ve Vistula Gölü'ne akışlar. Rüzgar etkisi de modelin çalıştırılmasında önemlidir. Model, 1998 yılı tuzluluk verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Delft3D modeli yılın büyük bölümünde, uygun şekilde su seviyesi ve tuzluluk değişimlerini modellemiştir.

### 3. ÇALIŞMA ALANI

#### 3.1. Gölün Genel Özellikleri

Uluabat Gölü 622000 – 648000 m doğu boylamları ile 445400 – 4440000 m kuzey enlemleri arasında uzanmaktadır (UTM – ED50, Zone 35).

Doğu-batı yönündeki uzunluğu yaklaşık olarak 22 km, kuzey-güney yönündeki genişliği ise 10,5 km kadardır. Alanları 0,25 ha (Heybeli Adası) ile 190 ha (Halilbey Adası) arasında değişen büyüklüklerde sekiz adayı içeren, büyük ve sığ bir tatlı su gölüdür. Gölün denizden yüksekliği yaklaşık olarak 9 m'dir (Çelik 2000, Karacaoğlu 2000). Türkiye'de büyüklü küçüklü toplam 200 kadar göl vardır. Bu göllerin toplam yüzölçümü 9.000 km<sup>2</sup>'yi geçer. Bu göller içerisindeki en sığ göller arasında yer alan Uluabat Gölü dışarıya akışlı olup tatlı su gölüdür (Anonim, 2004a).

Göl ortalama 2,5 m derinliğe sahiptir. Ancak bu derinlik yıldan yıla ve yaz ile kış mevsimleri arasında önemli miktarlarda değişmektedir. Öyle ki, yaz aylarında bu derinlik 0,5-1 m kadar gerilerken, kış aylarında maksimum 4,5 m derinlik ölçülmüştür. İleri (2010) çalışmasında ortalama derinliğin kurak ve yağışlı aylarda 1,5 ile 3,47 m arasında değiştiğini tespit etmiştir.

Su seviyesi genellikle kış mevsiminde yüksek ve yazları (su girdisinin az oluşu, buharlaşma ve gölden yapılan tarım amaçlı su çekimlerinin etkisiyle) düşüktür. Su seviyesinin düşmesinde siltasyonla göl tabanının yükselmesinin de etkisi önemli boyutlardadır. Uluabat Gölü'ndeki Su seviyesindeki bu mevsimsel değişiklikler Uluabat Gölü'ndeki ekolojik işleyişi idare eden unsurlardan biridir (Anonim, 2002a).

**Çizelge 3.1.** Uluabat Gölü'ne Giren Sular (Anonim, 2002a)

	Minimum hm <sup>3</sup> /yıl	Maksimum hm <sup>3</sup> /yıl	Ortalama hm <sup>3</sup> /yıl	Yaklaşık Payı %
Mustafakemalpaşa Çayı	25,14	2413,45	1550,68	89
Göl aynasına düşen yağış	71,65	120,32	92,72	5
Göl ayağından gelen	25,14	227,31	97,58	5

**Çizelge 3.2** Uluabat Gölü’den Çıkan Sular (Anonim, 2002a)

	Minimum hm <sup>3</sup> /yıl	Maksimum hm <sup>3</sup> /yıl	Ortalama hm <sup>3</sup> /yıl	Yaklaşık Payı %
Göl Ayağı	392,37	2531,8	1553,2	89
Buharlaştırma	162,56	195,48	176,2	10
Uluabat Sulaması	6,5	17,78	11,53	0,5

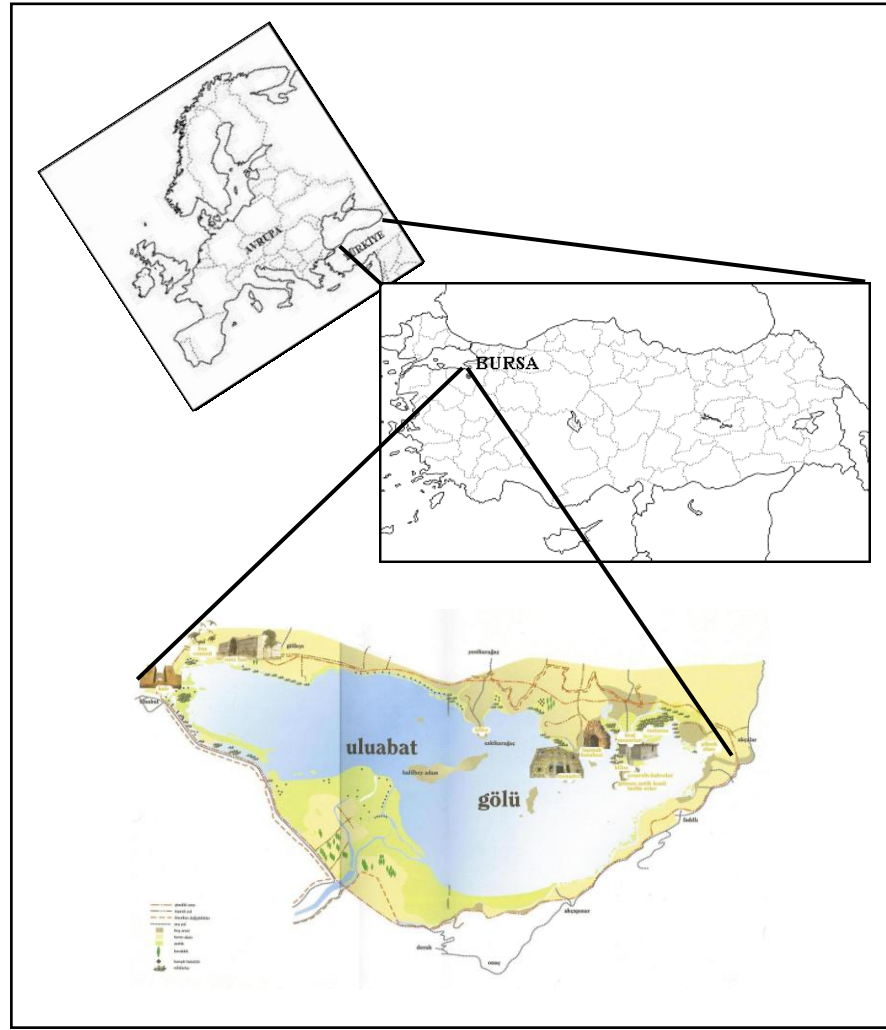
Daha önce göl ile ilgili olarak hazırlanan raporlarda ve gölü tanıtan verilerde normal su seviyesinde göl yüzey alanı 160 km<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Ancak U.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama Merkezi’nin 1984-1993 yıllarının Haziran aylarına ait Landsat-5 TM uydusundan alınan görüntüleri üzerinde yapılan çalışma ile göl alanının 1984 yılında % 2 oranında küçülerek 133,1 km<sup>2</sup> olduğu, 1984 yılından sonra ise Uluabat Gölü’nün yakın çevresindeki yan derelerin ve en önemlisi Mustafakemalpaşa Çayı’nın besleme havzasını oluşturan yörelerdeki yüksek arazilerden taşıyarak getirdiği sedimentlerle hızla dolması sonucu Uluabat Gölü alanının 1993 yılında % 10 oranında azalarak 120 km<sup>2</sup>’ye kadar küçüldüğü belirlenmiştir. 1998 yılında yapılan son çalışmada ise Uluabat Gölü alanının 116 km<sup>2</sup>’ye gerilediği belirlenmiştir (Karacaoğlu 2000, Aksoy ve Özsoy 2002).

Mustafakemalpaşa Çayı, gölü besleyen en önemli akarsudur. Çayın debisi ve su kalitesi iklimsel koşullara (yağış miktarı) bağlı olarak değişiklik göstermekte, 1939 ile 1969 yılları arasında 30 yıllık ortalamaya göre taşıdığı su miktarı 500 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ile 4000 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir (Dalkıran ve ark. 2006)

Gölün boşalımı, batıda, Uluabat Köyü yöresindeki, nihayetinde Marmara Denizi’ne dökülen Kocasu vasıtasıyladır. Gölde ve Kocasu Çayının göl tarafında su seviyesi düşük olduğunda çoğunlukla ilkbahar, bazen de sonbahar mevsimlerinde yüksek seviyeli su geldiği zaman Kocasu Çayı’nda akış Marmara Denizine değil, tersine dönerek Uluabat Gölü yönüne olur (Anonim 2002, Salihoğlu ve Karaer 2005, Anonim 2008).

Uluabat Gölü tipik bir sığ göldür. Sığ göllerin tipik özelliği olarak rüzgarın etkisiyle tam karışıma uğrar, ışık erişilebilirliğinin belirlendiği littoral bölgesi geniştir. Uluabat Gölü

sucul bitkiler yönünden de ülkemizin en zengin sulak alanlarından biridir. Gölün hemen hemen bütün kıyıları geniş sazlıklarla, sığ kesimleri ise su içi bitkileri ile kaplıdır. Gölde görülen en yaygın bitki grubu kamış ve sazdır. Uluabat Gölü, Türkiye'nin en geniş nilüfer yataklarına sahiptir. Beyaz nilüfer, gölün kuzeydoğu kıyılarında ve Mustafakemalpaşa Çayı'nın göle giriş ağzında çok geniş alanları kaplamaktadır (Kurtoğlu 2006). Ancak, Uluabat Gölü'ndeki ekolojik ilişkiler son birkaç yıl içerisinde değişmiş, su altı bitkileri gölde hızla yok denecek kadar azalmış, bulanıklık tekrar artmış, gölün yeşile çalan rengi oluşmuş, durgun noktalarında yeşil alg tabakaları oluşmaya başlamıştır. Akdeniz (2005), uzmanlarca göle verilen atık su deşarjları ve yoğun gübre kullanımına bağlı olarak artan besin yükü (azot ve fosfor) ve etçil (turna, alabalık v.b.) balıkların aşırı avlanmasına bağlanan değişimlerin bir diğer nedeninin de gölün hidrolojisindeki değişimler olduğunu belirtmiştir.



**Şekil 3.1.** Uluabat Gölü Yer Bulduru Haritası

## 3.2. Arazi Çalışmaları

### 3.2.1. Hidrodinamik Veri Toplanması

Ölçüm sıklığı belirlenirken, laboratuvar imkanları, örnek alma yeri ve sayısı, laboratuvarla numune alma noktaları arasındaki uzaklık ve mevcut bütçe imkanları göz önüne alınmıştır. Ayrıca, ölçüm sıklığının yılda en az altı olması gerektiği bilinmektedir (Akdeniz 2005).

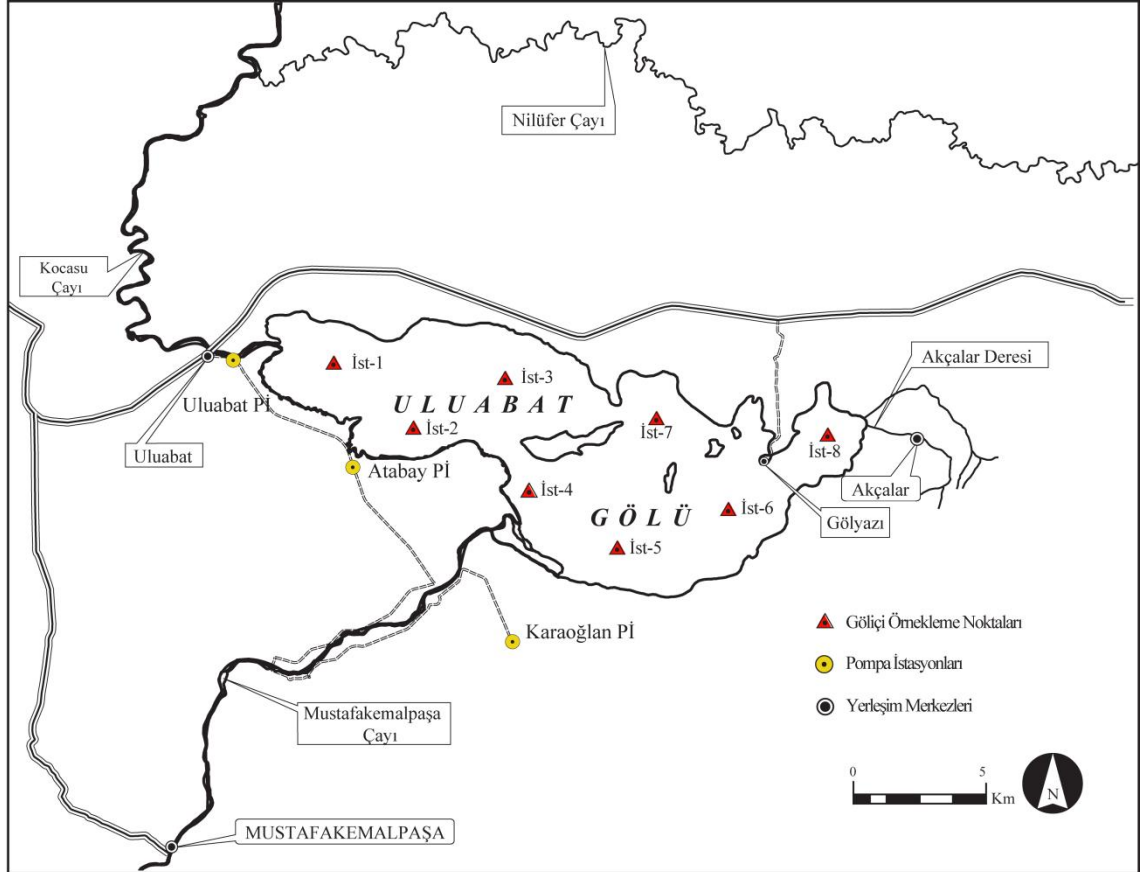
Yukarıdaki gereklilikler de göz önüne alınarak çalışmamız için en uygun ölçüm alma sıklığının ayda bir olacağı kararına varılmıştır. Alınan karar doğrultusunda, çalışmanın temel amacı olan hidrodinamik modelleme için gerekli ölçümler Mayıs 2008 – Mayıs 2009 tarihleri arasında yapılmıştır.

Hidrodinamik modelleme çalışmasında duyarlılık analizi amacıyla göl içerisinde, gölü en iyi şekilde temsil edecek 8 adet nokta belirlenmiş ve bu noktalarda sıcaklık (T) ile derinlik (d) ölçümleri yapılmıştır. Örnek alma istasyonlarının koordinatları GPS ile tespit edilmiş ve Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama Merkezi'nin yardımlarıyla haritalandırılmıştır. Bu noktalara ait koordinat bilgileri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Uluabat Gölü Gölüçü Örnekleme Noktaları Koordinatları

İstasyon No	X (Doğu) m	Y (Kuzey) m
1	626865	4451240
2	629634	4448777
3	633217	4450699
4	633953	4446460
5	637299	4444284
6	641498	4445781
7	638853	4449214
8	645313	4448410

Bu noktaların yanı sıra gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı, Akçalar Deresi, Karaoğlan Pompa İstasyonu, Atabay Pompa İstasyonunda ve göl boşalımını sağlayan Kocasu Çayı'nda sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarına ait harita Şekil 3.2'de verilmiştir.



**Şekil 3.2** Uluabat Gölü Örnekleme Noktaları

Örnekleme noktalarında, HACH marka Sension 156 model cihaz kullanılarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Akarsu Debisi, DSİ I. Bölge Müdürlüğüne belirlenmiş olan istasyonlara yerleştirilmiş daimi eşellerle veya eşel olmayan istasyonlarda AOTT marka Muline ile doğrudan ölçüm ile tespit edilmiştir. DSİ'ye ait sulama amaçlı çalışan Atabay ve Karaoğlan Pompa İstasyonlarına ait debiler DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan aylık desarj edilen su hacmi kullanılarak hesaplanmıştır (Anonim, 2010b). Su seviyesi belirli aralıklarla işaretlenmiş uzatma ipi yardımıyla ölçülmüş olup, Gölyazı'da bulunan EİE'ye (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ait eşel ile yapılmış aylık ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Anonim, 2010c).

### 3.2.2. Batimetrik Ölçüm Çalışmaları

Batimetri haritasının hazırlanması için gerekli olan derinlik ölçümleri tek frekanslı dijital SOUTH SDE-28 Echo-Sounder ile gerçekleştirilmiştir. Echo-Sounder cihazının coğrafi konumlandırılması, 30-60 cm hassasiyetle ölçüm yapan Magellan MobileMapper CX serisi Küresel Konumlama Sistemi (GPS) Aleti ile gerçekleştirilmiştir. GPS aletinin uydu görüşünün artırılması amacıyla anten bağlantısı sağlanmıştır. Göl içerisindeki dalgalanmayı tolere edebilecek seviyedeki derinliğe Echo-Sounder cihazının dönüştürücüsü yerleştirildikten sonra cihaz ölçüm yapılabilir konuma getirilmiştir. Ölçüm sırasında kullanılan cihazların bağlantıları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3** Ölçüm Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Bağlantıları

Gerekli ekipmanlar balıkçı kayığına monte edildikten sonra Echo-Sounder ünitesi ile birlikte gelen MacroMap yazılımına, EİE'ne ait olan Uluabat Gölü Eskikaraağaç ölçüm istasyonundan alınan eşel kotu, dönüştürücünün su altında kalan mesafesi, GPS aletinin anteninin su üzerinde kalan mesafesi ve koordinat bilgileri girilmiştir. Sonrasında GPS aleti ile Echo-Sounder cihazının bağlantıları yapıлып, derinlik ölçümüne başlanılmıştır.



Değerlendirme aşamasında kolaylık olması amacıyla ArcGIS 9.1 yazılımı ile gölün uydu fotoğrafı üzerinde 1 km aralıklı ölçüm hatları çizilmiş ve bu hatlar altlık olarak MacroMap yazılımına çağırılmıştır (Şekil 3.4).

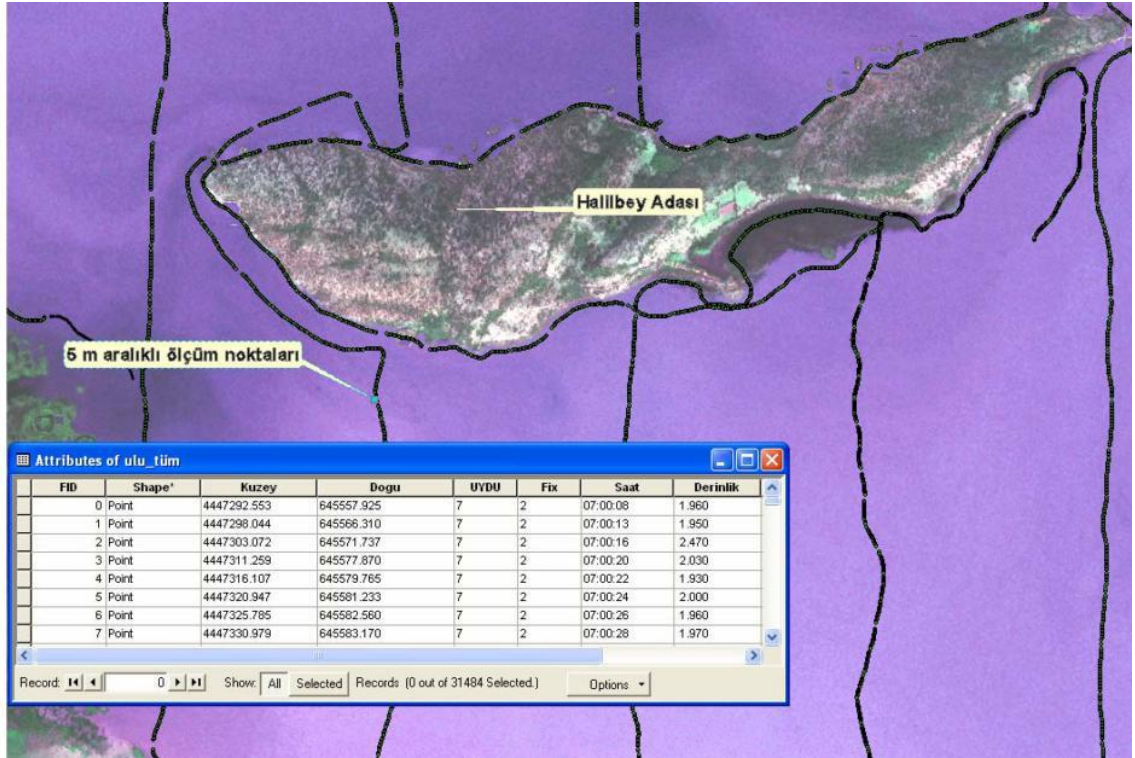


Şekil 3.4 MacroMap Yazılımına Altlık Olarak Getirilen Ölçüm Hatları

Echo-Sounder ünitesinin monte edildiği kayığın, hızda yaşanan bir artışla birlikte oluşan dalgalanmalar ölçüm hassaslığını etkilediğinden 10 km/sa'lık sabit hızlı sürülmesine özen gösterilmiştir. Ölçüm alma sıklığı olarak belirlenen 5 m aralıklarla derinlik bilgileri MacroMap yazılımına kaydedilmiştir.

Meteorolojik şartların elverdiği süreçte, planlanan hatlar üzerindeki derinlik ölçümleri tamamlanmış, arazi çalışmaları sonuçlandırılmıştır. Sonraki aşamada ArcGIS 9.1 yazılımı ile verilerin değerlendirilip batimetri haritasının oluşturulması gerçekleştirilmiştir.

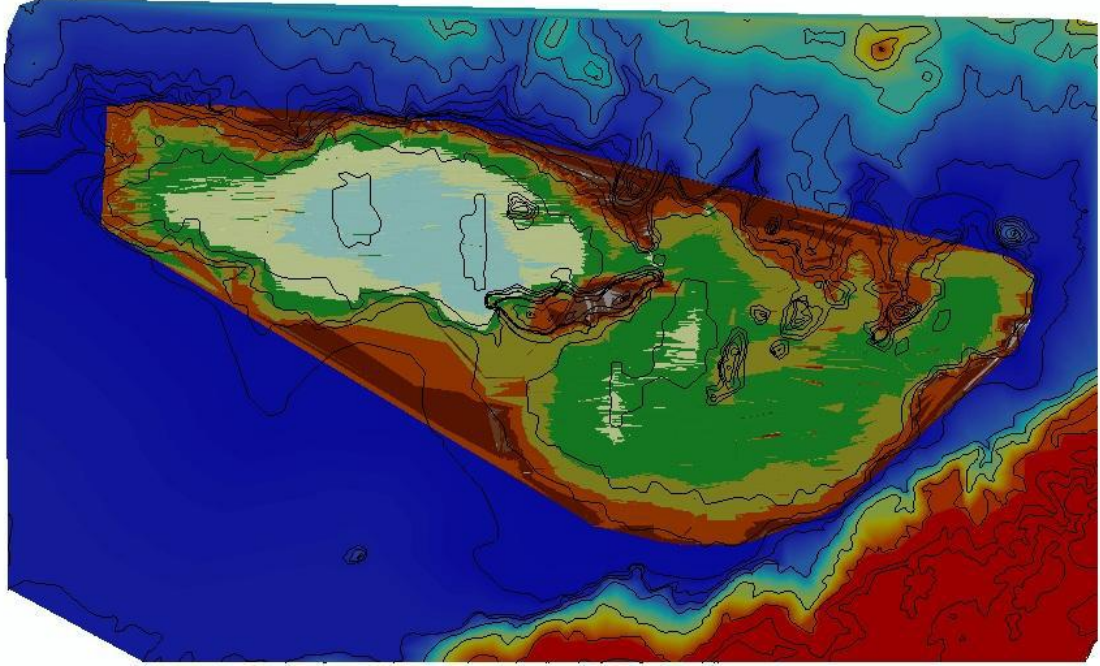
Toplanan veriler ArcGIS programında kullanılacak formata (shape) dönüştürülerek Şekil 5'te de verilen hatlar boyunca (balık ağlarının ve yüzey çıkan su otlarının ve yosunlarının izin verdiği ölçüde doğrusal) ve hatların kıyı kesim boşluklarını kapsayacak biçimde ölçülen noktalara ait nokta haritası ve veri tabanları oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Ulubat Gölü Echo-Sounder Ölçüm Nokta Veri Tabanı ve Haritası (shapefile)

Bir kilometre aralıklı hatlar üzerindeki ölçümler sırasında yazılım konum bilgisinin GPS tarafından alınmadığı veya alınamadığı durumlarda göl tabanının deniz seviyesinden olan yüksekliğini veren Echo-Sounder derinlik ölçüm kayıtlarının yapılmadığı koşullarda toplam 38758 adet nokta verisi elde edilmiştir. Bu üretilen verilerden Echo-Sounder cihazının hatalı ölçüm sonucu okuduğu negatif derinlik değerli 366 adet nokta çıkarıldıktan sonra toplam 38392 adet noktada Uluabat Gölü'ne ait deniz seviyesine göre yükseklikleri gösteren derinlik ölçüm verileri, nokta haritası ve ilişkili öznitelik tablosu oluşturulmuştur.

ArcGIS programının 3D analiz araç kutusu kullanılarak Uluabat Gölü Eco-GPS derinlik-konum nokta haritası derinlik sütunu değerlerine göre TIN düzensiz bağlantılı üçgen oluşturma yöntemi ile 2010 yılı Uluabat Gölü batimetri yüzeyi oluşturulmuştur. DSİ ölçümlerine ait 1995 yılı sayısal yüksekli eğri haritalarından Uluabat Gölü'nün 3'den daha az yükseklik verileri ile 2010 yılı batimetri haritası birleştirilmiştir. Böylelikle güncel 2010 batimetri haritası, su seviyesi ve Echo-Sounder aletinin çalışma derinliği nedeniyle ölçülemeyen deniz seviyesinden 3 m ve daha yüksek yükseklikleri de içerecek şekilde zenginleştirilmiştir. Zenginleştirilmiş 2010 yılı batimetri haritasının 5m x 5m boyutlu raster grid sayısal yükseklik modeli (DEM) haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.6).



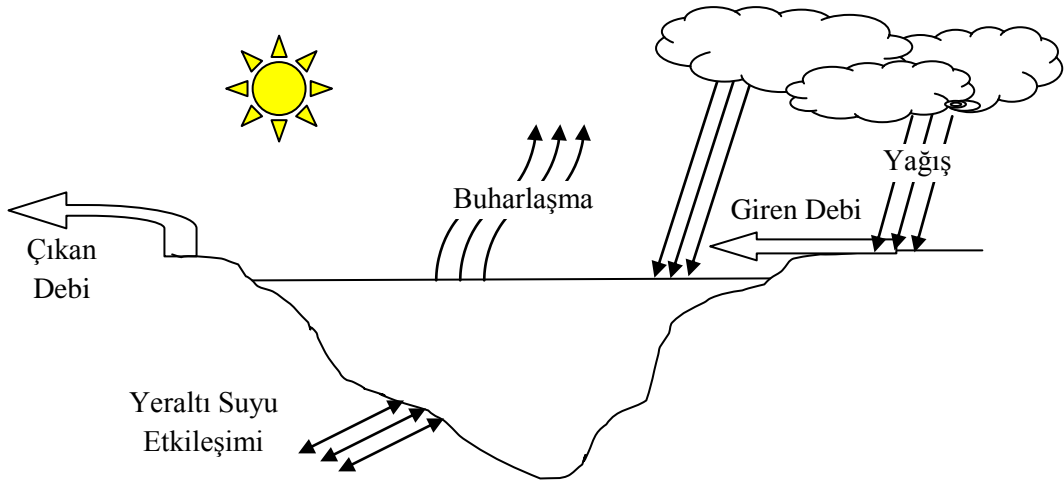
**Şekil 3.6** Uluabat Gölü Zenginleştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli ve Eşyüksekti Eğrileri

Uluabat gölü raster grid DEM haritaları 0,5 m yükseklik aralıklarına göre yeniden sınıflandırılarak 0-1; 1-1,5; 1,5-2; 2-2,5; 2,5-3; 3-5; 5-10; 10-20; 20-50; 50-500 olmak üzere Uluabat Gölü 2010 yılı eş yükseklik haritası elde edilmiştir. Elde edilen eş yükseklik haritalarından istenen hücre büyüklüğünde 2010 yılı yüzey, hacim ve batimetri haritalarının oluşturulması gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Kullanılan Veriler

#### 3.3.1. Su Bütçesi

Su ve su kaynakları ile ilgili sorunların çözümünde su bütçesinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Farklı amaçlarla su bütçesini ortaya koymak için, ele alınan havzanın ya da alanın büyüklüğüne ve elde edilecek verilere göre temelde aynı olmasına karşın içerdiği öğeler bakımından farklı birçok su bütçesi denklemi mevcuttur (Baumgartner ve Reichel, 1975; Hyfield ve ark., 2008; Lawrie ve Stretch, 2011).



Şekil 3.7 Göllerde Su Bütçesi

Su bütçesi, bir ekosistemde belirli bir süre içinde sisteme giren su ile çıkan ve depolanan suyun denge durumunda bulunması şeklinde tanımlanabilir. Denklem 1’de temel su bütçesi eşitliği görülmektedir. Su bütçesini oluşturan parametreler; yağış, buharlaşma, yeraltı suyu beslemeleri, dereler ve çekilen su miktarları olarak kabul edilen girdi ve çıktılardır. Bu parametreler Denklem 1’e yerleştirildiğinde temel denklem (2)’deki hale gelmektedir.

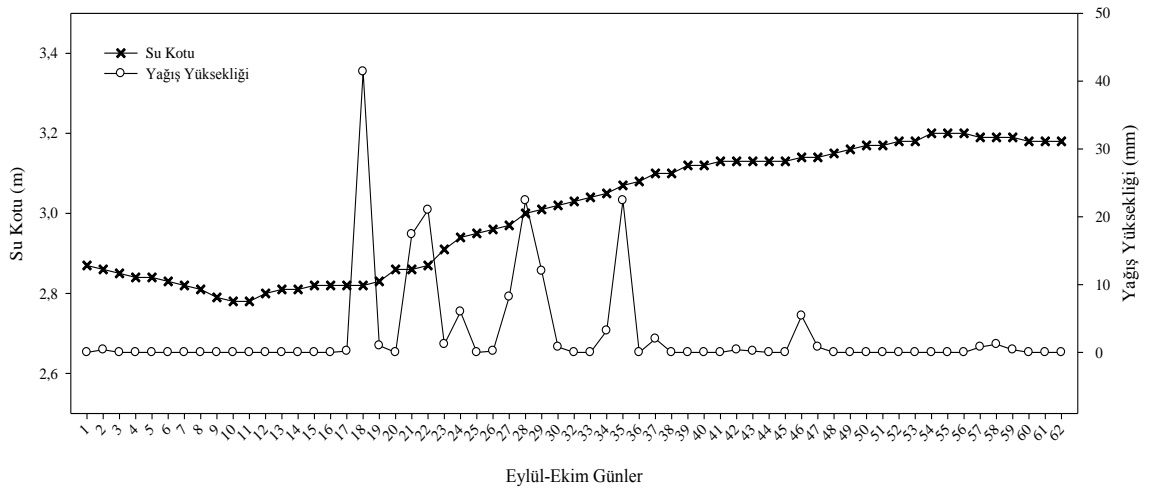
$$\frac{dV}{dt} = Q_{giren} - Q_{çıkan} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dV}{dt} = Q_{dereler} + Yağış - Q_{dereler} - Q_{sulama} - Buharlaşma \pm Yeraltı suyu \dots \dots (2)$$





Ampirik formülden elde edilen göl çıkışına ait debi değerleri incelendiğinde Ocak ve Şubat aylarında göle geri beslemeler olduğu gözlemlenmiştir. Ocak ve Şubat aylarına ek olarak, Ekim ayında da toplam gelen ve toplam çıkan değerleri farkının (gelen-çıkan) pozitif olduğu genel bütçe tablosunda görülmektedir. Bunun nedeni olarak göl çanağına düşen, kurak geçen Temmuz ve Ağustos ayları sonrası özellikle Eylül ayı sonunda artan yağış miktarı olduğu düşünülmektedir. Yağış miktarının artması ile birlikte göle gelen su miktarı artmış dolayısıyla göl su kotunun yükseldiği görülmüştür (Grafik 3.11). Buna bağlı olarak genel bütçe tablosunda (Çizelge 3.6) Ekim ayı farkının da pozitif olmasının makul olduğu tespit edilmiştir.



**Çizelge 3.4** Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'nden Çıkan Aylık Su Miktarı

ÇIKAN							
	Kocasu Çayı (m <sup>3</sup> )	Sulama (m <sup>3</sup> )	Buharlaştırma (mm)	Katsayı	Göl Sahası (m <sup>2</sup> )	Toplam Buharlaştırma (m <sup>3</sup> )	Toplam Çıkan Su (m <sup>3</sup> )
Haziran 08	48.789.216,00	3.538.800,00	243,40	0,70	147.500.000,00	25.131.050,00	77.459.066,00
Temmuz 08	54.650.229,68	6.113.124,00	367,50	0,70	141.800.000,00	36.478.050,00	97.241.403,68
Ağustos 08	33.523.200,00	4.927.716,00	342,00	0,70	153.200.000,00	36.676.080,00	75.126.996,00
Eylül 08	23.626.944,00	1.548.540,00	167,40	0,70	134.600.000,00	15.772.428,00	40.947.912,00
Ekim 08	25.321.248,00	0,00	51,20	0,70	139.900.000,00	5.014.016,00	30.335.264,00
Kasım 08	36.926.496,00	0,00	58,90	0,70	139.900.000,00	5.768.077,00	42.694.573,00
Aralık 08	42.759.360,00	0,00	31,70	0,70	138.000.000,00	3.062.220,00	45.821.580,00
Ocak09	35.346.240,00	0,00	25,50	0,70	153.200.000,00	2.734.620,00	38.080.860,00
Şubat 09	220.985.280,00	0,00	27,30	0,70	166.900.000,00	3.189.459,00	224.174.739,00
Mart 09	604.713.600,00	0,00	29,70	0,70	173.600.000,00	3.609.144,00	608.322.744,00
Nisan 09	617.448.960,00	0,00	94,40	0,70	171.500.000,00	11.332.720,00	628.781.680,00
Mayıs 09	323.118.720,00	1.167.930,00	115,30	0,70	163.600.000,00	13.204.156,00	337.490.806,00

**Çizelge 3.5** Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'ne Gelen Aylık Su Miktarı

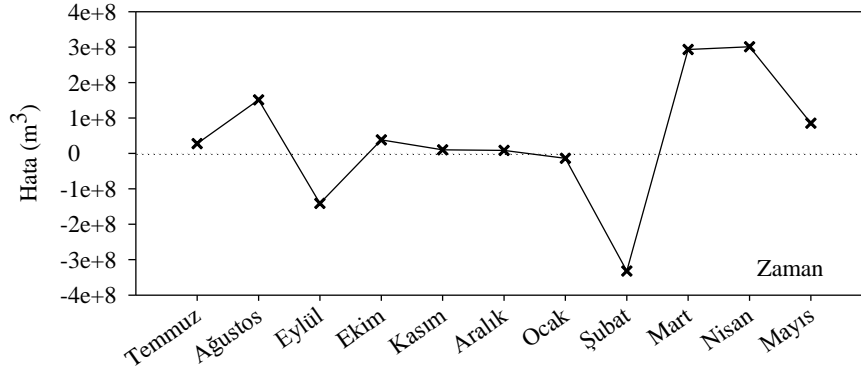
GELEN								
	Atabay Pİ (m <sup>3</sup> )	Karaoğlan Pİ (m <sup>3</sup> )	Akçalar (m <sup>3</sup> )	MKP Çayı (m <sup>3</sup> )	Yağış (mm)	Göl Sahası (m <sup>2</sup> )	Toplam Yağış (m <sup>3</sup> )	Toplam Gelen Su (m <sup>3</sup> )
Haziran 08	1.711.584,00	464.332,00	26.179,20	31.161.888,00	35,90	147.500.000,00	5.295.250,00	38.659.233,20
Temmuz 08	112.392,00	35.611,00	104.457,60	18.560.392,26	0,00	141.800.000,00	0,00	18.812.852,86
Ağustos 08	42.804,00	34.621,00	96.422,40	15.369.696,00	0,00	153.200.000,00	0,00	15.543.543,40
Eylül 08	689.400,00	34.621,00	10.368,00	22.636.800,00	100,40	134.600.000,00	13.513.840,00	36.885.029,00
Ekim 08	337.932,00	256.457,00	29.462,40	26.329.536,00	38,20	139.900.000,00	5.344.180,00	32.297.567,40
Kasım 08	241.632,00	257.389,00	38.880,00	22.498.560,00	55,90	139.900.000,00	7.820.410,00	30.856.871,00
Aralık 08	386.532,00	377.629,00	69.638,40	16.164.576,00	91,70	138.000.000,00	12.654.600,00	29.652.975,40
Ocak09	1.083.669,83	966.757,15	42.854,40	148.464.576,00	100,50	153.200.000,00	15.396.600,00	165.954.457,38
Şubat 09	2.013.431,58	1.828.881,59	319.334,40	699.174.720,00	188,30	166.900.000,00	31.427.270,00	734.763.637,56
Mart 09	2.500.920,00	3.020.504,00	1.007.078,40	426.816.000,00	138,70	173.600.000,00	24.078.320,00	457.422.822,40
Nisan 09	1.523.736,00	2.001.467,00	108.864,00	270.198.720,00	12,90	171.500.000,00	2.212.350,00	276.045.137,00
Mayıs 09	1.845.756,00	1.194.466,00	64.281,60	95.713.920,00	33,80	163.600.000,00	5.529.680,00	104.348.103,60



**Çizelge 3.6** Çalışma Döneminde Uluabat Gölü Genel Su Bütçesi

	Su Kotu (m)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Toplam Çıkan Su (m <sup>3</sup> )	Toplam Gelen Su (m <sup>3</sup> )	Gelen-Çıkan
Haziran 08	3,57	285.500.000,00	77.459.066,00	38.659.233,20	-38.799.832,80
Temmuz 08	3,23	234.500.000,00	97.241.403,68	18.812.852,86	-78.428.550,82
Ağustos 08	3,84	326.000.000,00	75.126.996,00	15.543.543,40	-59.583.452,60
Eylül 08	2,86	180.960.000,00	40.947.912,00	36.885.029,00	-4.062.883,00
Ekim 08	3,14	221.000.000,00	30.335.264,00	32.297.567,40	1.962.303,40
Kasım 08	3,13	219.500.000,00	42.694.573,00	30.856.871,00	-11.837.702,00
Aralık 08	3,08	212.000.000,00	45.821.580,00	29.652.975,40	-16.168.604,60
Ocak09	3,84	326.000.000,00	38.080.860,00	165.954.457,38	127.873.597,38
Şubat 09	4,98	504.840.000,00	224.174.739,00	734.763.637,56	510.588.898,56
Mart 09	5,81	647.320.000,00	608.322.744,00	457.422.822,40	-150.899.921,60
Nisan 09	5,51	595.720.000,00	628.781.680,00	276.045.137,00	-352.736.543,00
Mayıs 09	4,62	447.960.000,00	337.490.806,00	104.348.103,60	-233.142.702,40

Uluabat Gölü'nün su bütçesi de gerek eksik veriler ve gerekse hassas yapılamayan ölçümler nedeniyle belirli bir hata yüzdesi ile hesaplanabilmiştir. Bu hata yüzdesinin içerisinde, MKP Çayı'nın topladığı akışlar hariç havzadan gelen yüzeysel akışlar, ölçüm eksikliğinden kaynaklanan hatalar ve yeraltı suyunun göl ile olan etkileşimi bulunmaktadır.

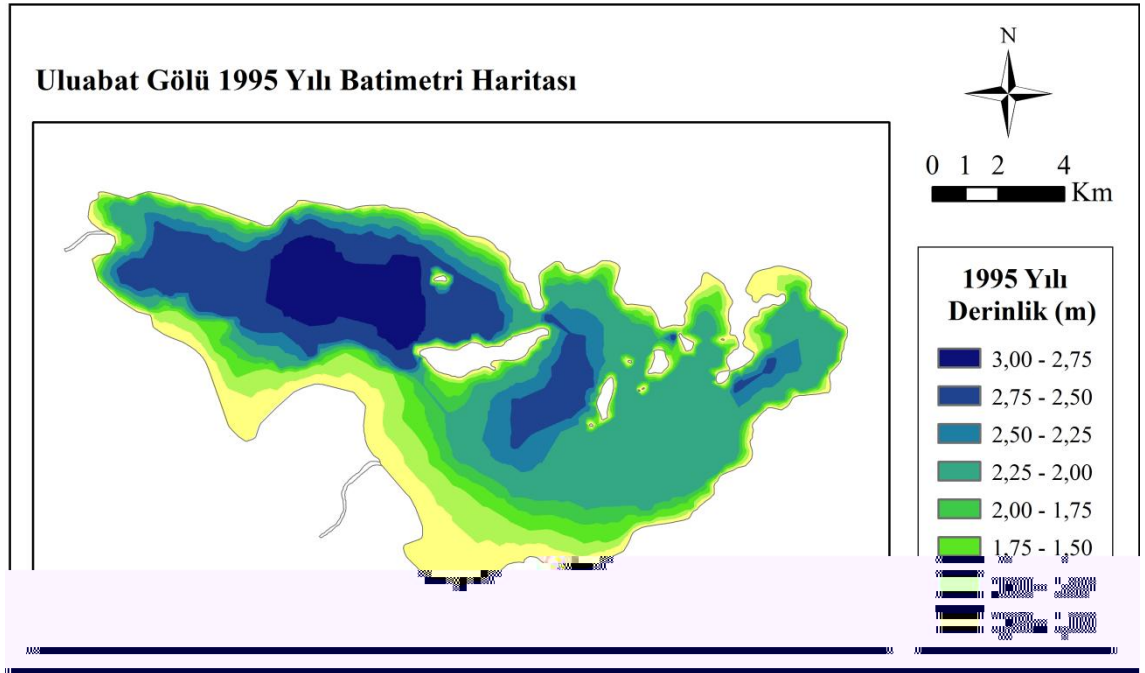


**Grafik 3.2** Su Bütçesindeki Aylık Hata Değerleri

Hesaplanan su bütçesi doğrultusunda ortaya çıkan aylık hata değişimleri Grafik 3.2'de görülmektedir. Hata; negatif olduğunda gölün beslendiğini, pozitif olduğunda ise gölden kaçak olduğunu göstermektedir. Hatanın maksimum değeri Nisan ayında +301.136.543,00 m<sup>3</sup>, minimum değeri ise Şubat ayında -331.748.898,56 m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Ortalama hata değeri ise 38.990.505,52 m<sup>3</sup> hesaplanmıştır. Bu durum genel olarak gölden kaçığın olduğunu göstermektedir.

### 3.3.2. Batimetri

Gölün mevcut batimetri haritası, 1995 yılında DSİ tarafından hazırlanmıştır (Şekil 10). Ancak geçen süreçte gerek MKP Çayı'nın taşıdığı askıda katı yükü ve göldeki sedimentasyon nedeniyle gölün taban yapısı değişmiş ve yüzey alanı %12 düzeyinde bir azalma tespit edilmiştir (Aksoy ve Özsoy, 2002). Bu durum, gölde güncel batimetri haritası hazırlanmasını kaçınılmaz hale getirmiştir.



**Şekil 3.9** 1995 Yılına Ait Uluabat Gölü Batimetri Haritası

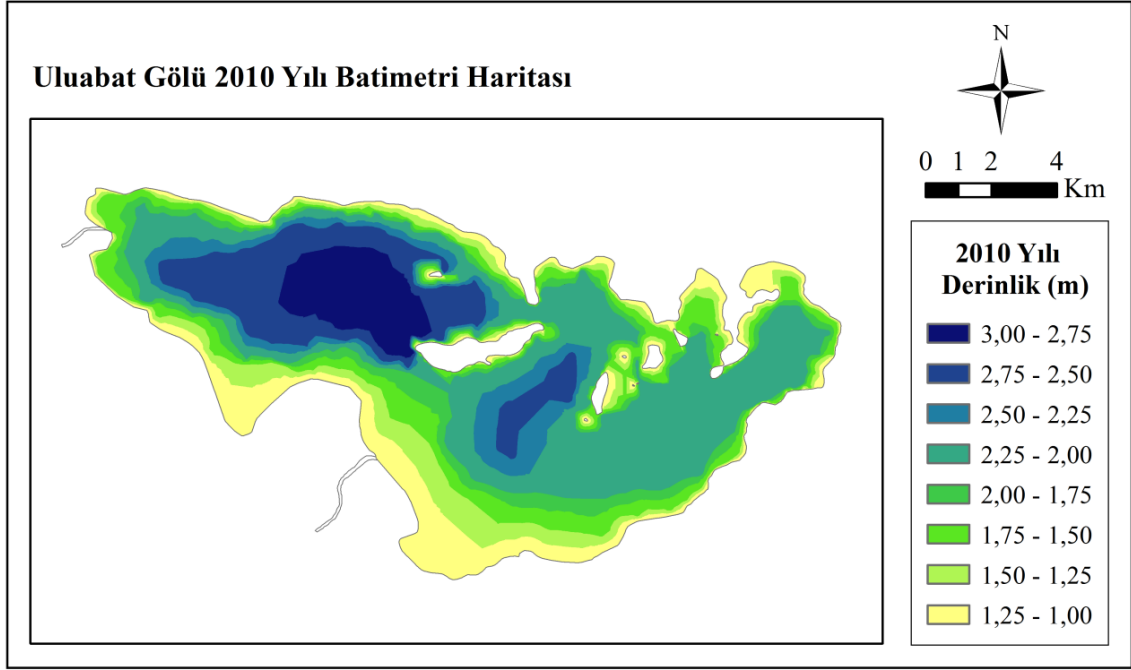
Bu doğrultuda, hazırlanma aşamalarına ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 3.2.2’de verilen güncel batimetri haritası hazırlanmıştır.

Göl alansal ve hacimsel değişim açısından değerlendirildiğinde 1995 yılında 3m işletme kotuna göre, gölün 2boyutlu alanı 149.881.534,32 m<sup>2</sup>, 3boyutlu alanı 149.881.785,97 m<sup>2</sup> iken hacmi 140.193.686,30 m<sup>3</sup> idi. Ancak 2010 yılında güncellenen batimetrik ölçümlerde 3m işletme kotuna göre gölün 2boyutlu alanı 145.999.913,46 m<sup>2</sup>, 3boyutlu alanı 146.000.201,90 m<sup>2</sup> iken hacmi 133.212.447,70 m<sup>3</sup> olarak tespit edildi.

1995 yılından 2010 yılına kadar geçen 15 yıllık süreçte gölün 2boyutlu alanında 3.881.620,86 m<sup>2</sup> ile %2,59’lik, 3boyutlu alanında 3.881.584,07 m<sup>2</sup> ile %2,59’luk hacminde ise 6.981.238,6 m<sup>3</sup> ile %4,98’lik küçülme gerçekleşmiştir.

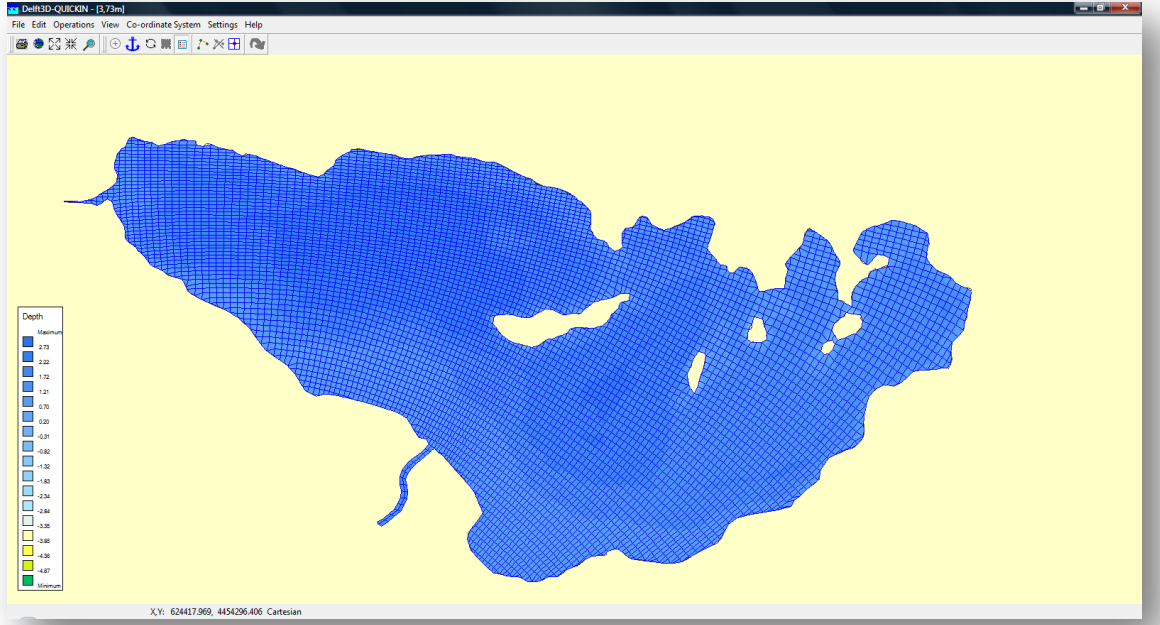
Batimetri haritaları incelendiğinde, 1995 yılına ait haritada gölün çanağının doğusunda kalan Akçalar mevkiindeki 2,75-2,50 m derinliğe sahip bölgenin, geçen süreçte dolduğu 2010 yılındaki ölçümlerle görülmüştür. Ayrıca, Kocasu Çayı’na doğru olan gölün çıkış ağzı bölgesinde, muhtemel sedimantasyona bağlı birikim ve derinlikte azalma

görülmektedir. Buna karşın, bu süreçte gölün en derin bölgesinin yüzey alanı 3.477.000,00 m<sup>2</sup>'den 4.353.925,00 m<sup>2</sup>'ye %25'lik artış tespit edilmiştir.

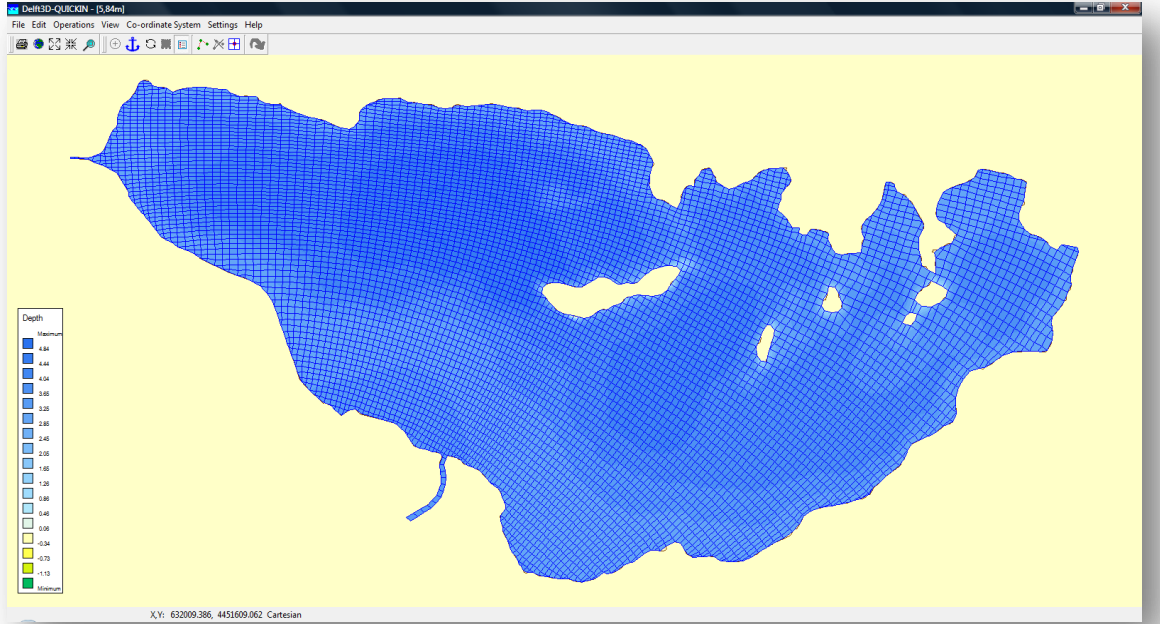


**Şekil 3.10** 2010 Yılına Ait Uluabat Gölü Batimetri Haritası

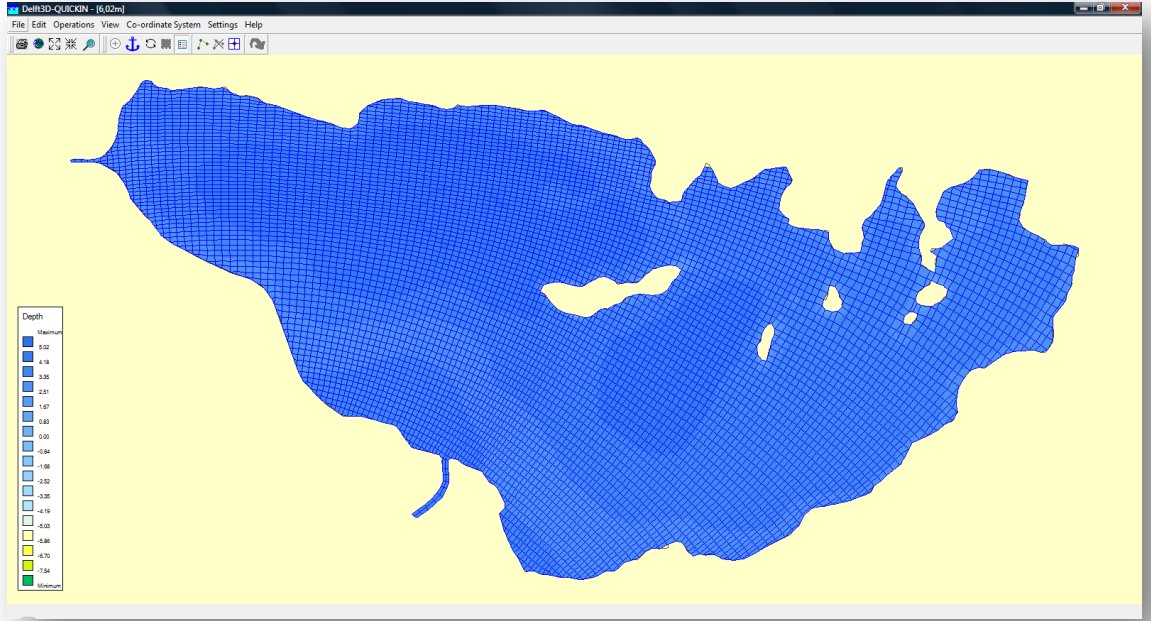
ArcGIS programında hazırlanan batimetri haritasından, noktasal derinlik bilgileri alınarak Delft3D programında kullanılacak formata (.xyz) uygun olacak şekilde QUICKIN modülünde yapılan olan dönemsel değerlendirmeye göre maksimum su seviyeleri doğrultusunda farklı batimetri haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.11-3.12-3.13).



**Şekil 3.11** Maksimum Su Kotu 3,73m için QUICKIN Modülünde Hazırlanmış Uluabat Gölü Batimetrisi



**Şekil 3.12** Maksimum Su Kotu 5,84m için QUICKIN Modülünde Hazırlanmış Uluabat Gölü Batimetrisi



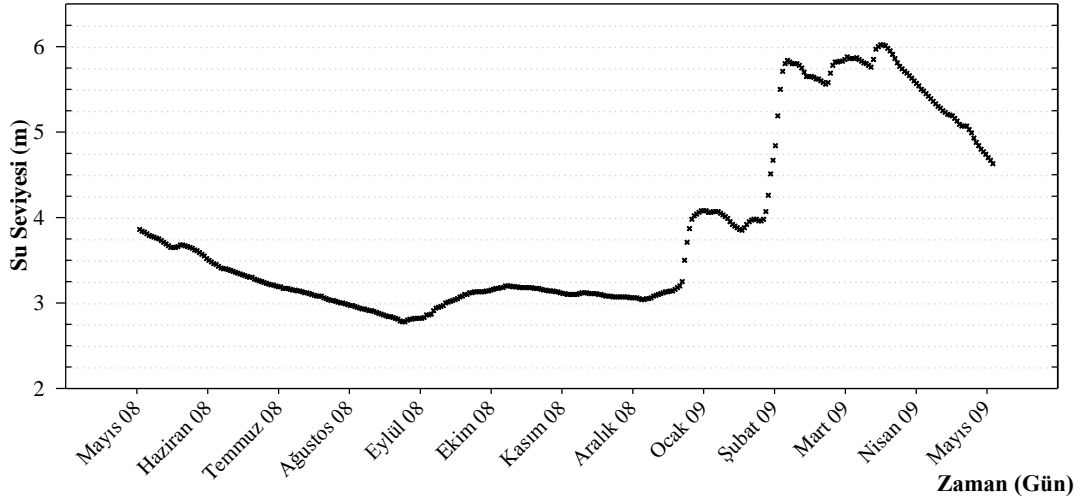
**Şekil 3.13** Maksimum Su Kotu 6,02m için QUICKIN Modülünde Hazırlanmış  
Uluabat Gölü Batimetrisi

### 3.3.3. Su Seviyesi

Uluabat Gölü'nde, Gölyazı Köyü'nde bulunan EİEİ'ye ait eşelde günlük su seviyesi ölçümleri alınmaktadır. Bu seviye değişimlerini gösteren grafik Grafik 3.3'te verilmiştir. Bunun yanı sıra numune alınan günlerde de göl içerisindeki istasyonlarda seviye ölçümleri yapılmış ve bu ölçüm değerlerinden modelleme çalışmasında dönemlerin başlangıç koşullarının tanımlanması ve model doğrulanması aşamasında faydalanılmıştır. Arazi çalışmasında ölçülen su seviyesi değerleri Grafik 3.4'te verilmiştir.

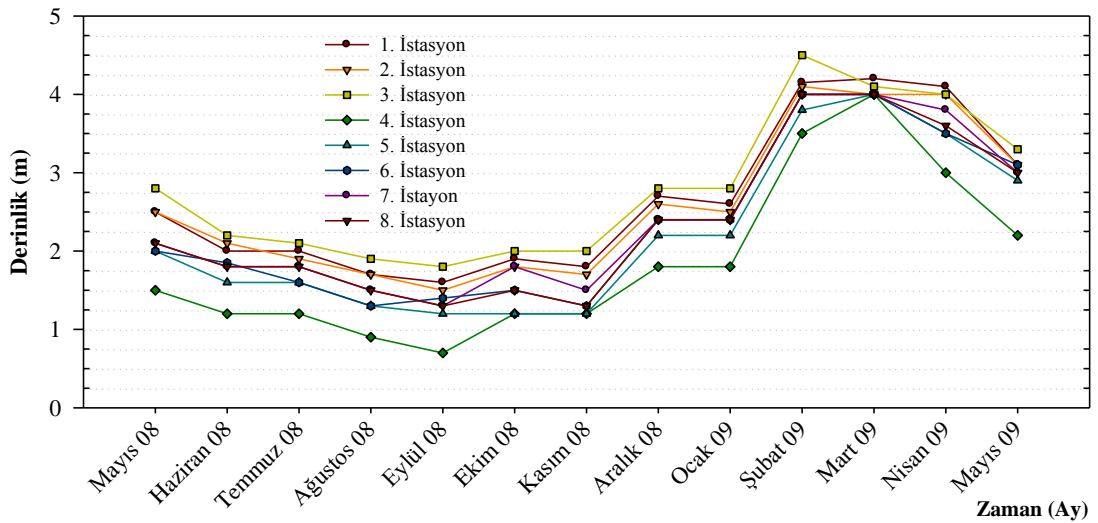
Grafik 3.3 incelendiğinde çalışma dönemi içerisinde sonbahar mevsiminde gölün su seviyesinin minimuma indiği, artan yayış yüksekliği ile beraber de özellikle şubat ayında önemli bir artış yaşandığı görülmektedir. Mevsim şartlarına uygun olarak değiştiği düşünülmeye karşın Uluabat Gölü'ndeki seviye değişimi sadece doğal şartların etkisi altında değildir. Su seviyesinin düşmeye başladığı dönemlerde sıcaklık artışının yanında sulama amaçlı gölden su çekimi de söz konusudur. Bunun yanında

Kocasu Çayı'na boşalma ağzına oluşturulan sedde de ile gölün seviyesi kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Su seviyesinde aşırı artış olduğu dönemlerde sedde açılarak taşkın önlenmeye çalışılmaktadır.



**Grafik 3.3** Gölyazı Eşelinde Günlük Su Seviyesi Değişimi

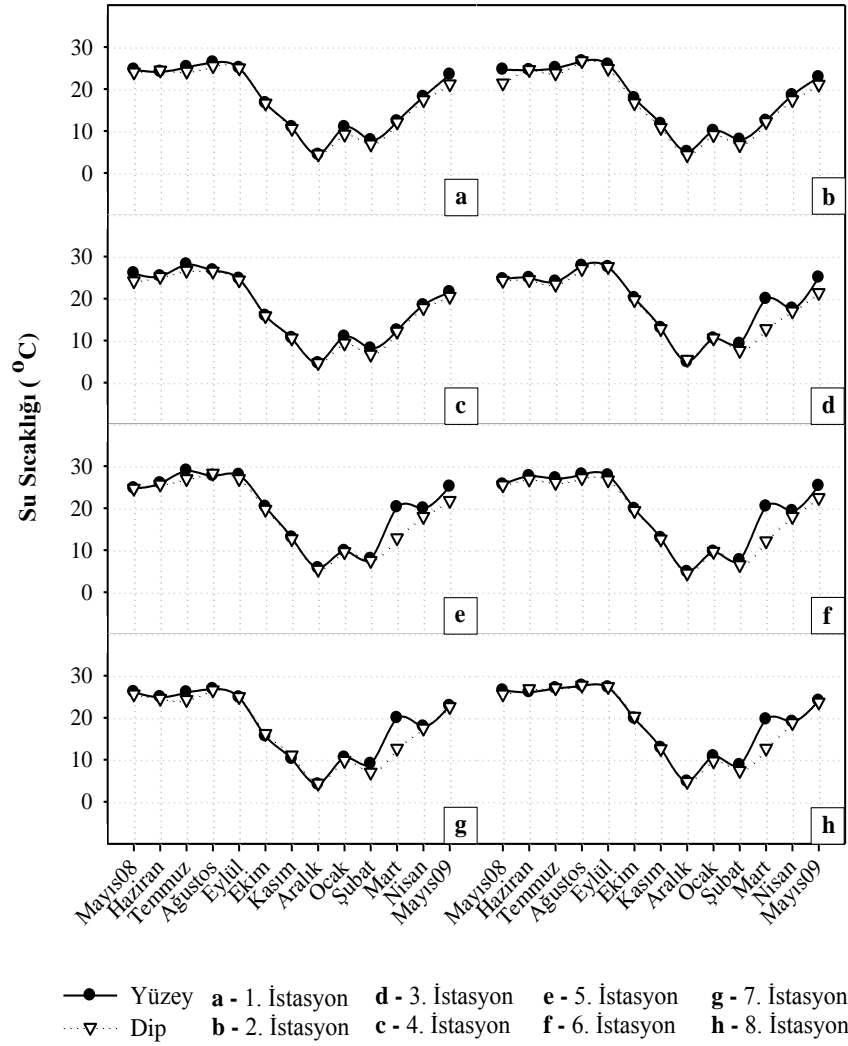
Arazi çalışmaları sırasındaki derinlik ölçümleri, istasyonlar arasında farklılıklar olmakla beraber, EİEİ'den alınan seviye değerleri ile aynı trendi göstermektedir. Batimetrik ölçüm çalışmaları ile örtüştüğü üzere gölün en derin noktasını temsil eden 3. İstasyonda en yüksek derinlik değerleri ölçülmüşken, önemli bir sediment yükü getirisi bulunan MKP Çayı'nın göl çanağına giriş ayağına yakın 4. İstasyonda en düşük derinlik değerleri görülmüştür.



**Grafik 3.4** Gölüç Örnekleme Noktalarında Derinlik Değişimleri

### 3.3.4. Su Sıcaklığı

Göl suyu sıcaklığı verileri numune alınan günlerde ölçülmüştür. Çalışma sırasında göl yüzeyinin 0,5 m altından ve sediment tabakasının hemen üstünden olmak üzere yüzey ve dip ölçümleri alınmıştır. Su sıcaklığına ait grafik aşağıda verilmiştir (Grafik 3.5).



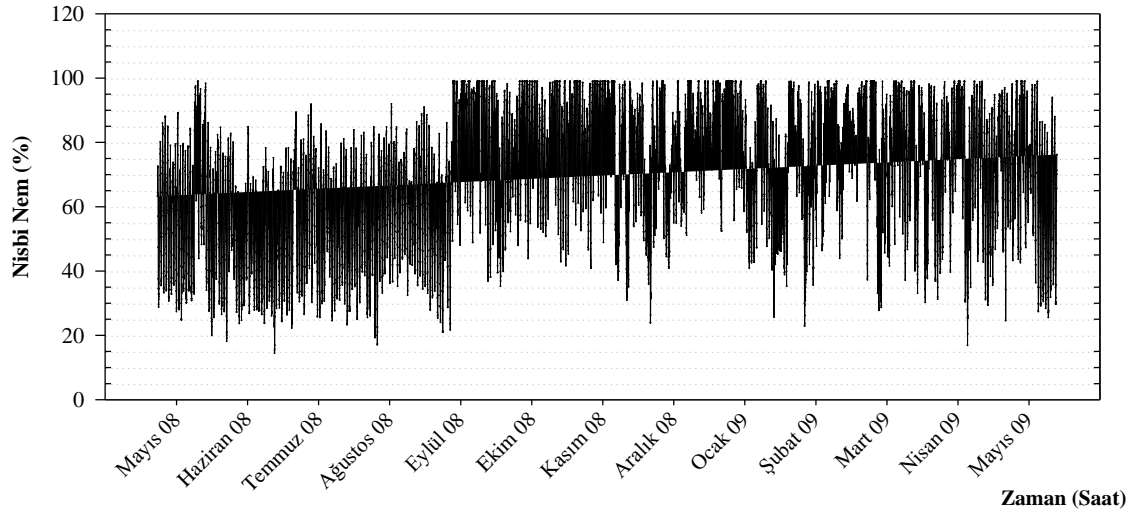
**Grafik 3.5** Gölü Örnekleme Noktalarında Bölgesel Sıcaklık Değişimleri

13 aylık izleme sürecinde, su sıcaklığı yüzey dip arasında değişiklik göstermemesine karşın sadece Mart ayındaki ölçümlerde yüzey suyu sıcaklığı yüksek, dip suyu sıcaklığı düşük mertebede ölçülmüştür.



### 3.3.5. Nisbi Nem

Atmosferdeki su buharı kış aylarında minimum seviyelerde iken, yaz aylarında maksimuma ulaşmaktadır. Kuzey yarımkürede en kuru aylar ocak ve şubat aylarıdır. Bunun yanında temmuz ve ağustos ayları ise nemin en yüksek olduğu dönemlerdir. Gerçek su buharı içeriğinin tersine, nisbi nem yaz aylarında minimum seviyelerde iken kış aylarında maksimum düzeydedir. Ayrıca, nisbi nem sıcaklıkla ters şekilde günün erken saatlerinde en yüksek seviyede olmasına karşın akşam saatlerinde düşüş göstermektedir (Linsley ve ark., 1975).



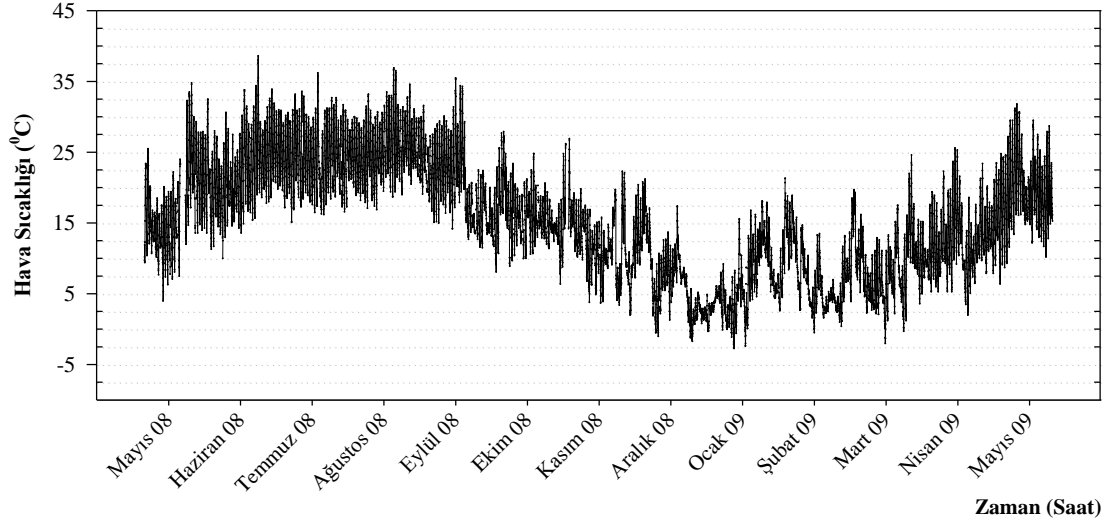
**Grafik 3.6** DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Nisbi Nem Değişimi

Uluabat Gölü'ndeki çalışma süresince DMİ Karacabey İstasyonundan alınan nisbi nem değerlerine ait grafik incelendiğinde, en yüksek seviyelerin havanın soğuması ile beraber sonbahar ve kış aylarında, en düşük seviyelerin ise özellikle temmuz ve ağustos aylarında yaşandığı gözlemlenebilmektedir. Bununla beraber saatlik veriler göstermektedir ki günün ilk saatlerinde yüksek seviyede seyreden nisbi nem değerleri ilerleyen saatlerde düşüş yaşamaktadır.

### 3.3.6. Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığı göl suyu sıcaklığını doğrudan etkilediği için, model çalışmalarında büyük öneme sahiptir. Çalışma dönemindeki hava sıcaklığı temel olarak mevsimsel

değişim trendini göstermektedir. Uzun yıllar değişiminin anlaşılması için 2002-2009 tarihleri arasındaki sıcaklık değerleri incelendiğinde, 2,78°C'lik bir artış meydana geldiği görülmektedir (Katip, 2010). Bu durum göldeki buharlaşma artışına ve su seviyesinin azalmasına işaret edebilmektedir.



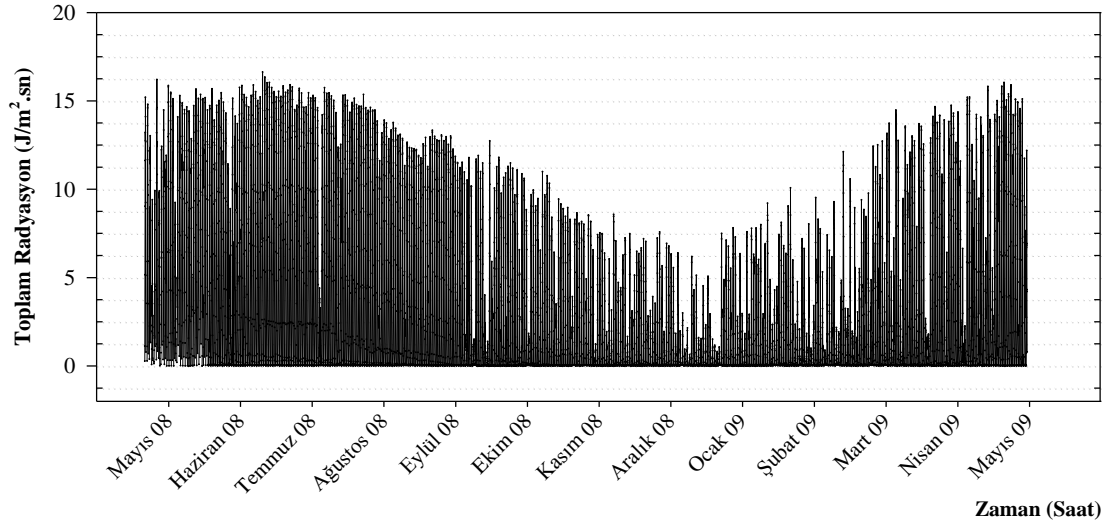
**Grafik 3.7** DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Hava Sıcaklığı Değişimi

Günlük hava sıcaklığı değişimi, güneş radyasyonunun gün içerisindeki değişimi ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Bunun yanında bulutluluk da hava sıcaklığı üzerinde etkilidir. Bulutlu günlerde maksimum hava sıcaklığı, azalmış güneşlenme nedeniyle düşük seviyede kalırken minimum hava sıcaklığı azalmış yansıyan radyasyon nedeniyle yüksek seviyede kalmaktadır (Linsley ve ark., 1975). Hava sıcaklığı ile Toplam radyasyon verilerine ait grafikler incelendiğinde birbirleri ile doğru orantılı olduğunu görmek mümkündür.

### 3.3.7. Toplam Radyasyon

Güneş radyasyonu, dünyanın hava durumunu ve iklimini belirleyen temel enerji kaynağıdır. Güneşten gelen radyasyon kısa dalga, dünyadan yansıyan ise uzun dalga radyasyonu olarak tanımlanmaktadır (Linsley ve ark., 1975). Kısa dalga radyasyonu hem göl suyunun ısınmasını hem de buharlaşma miktarını etkilediği için çok önemlidir (Mercan, 2006). Hidrodinamik model uygulamasında seçilen sıcaklık modeline toplam

radyasyon verisi girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kısa dalga ve uzun dalga radyasyonunu birlikte ele alan toplam radyasyon verisi incelenmiştir.

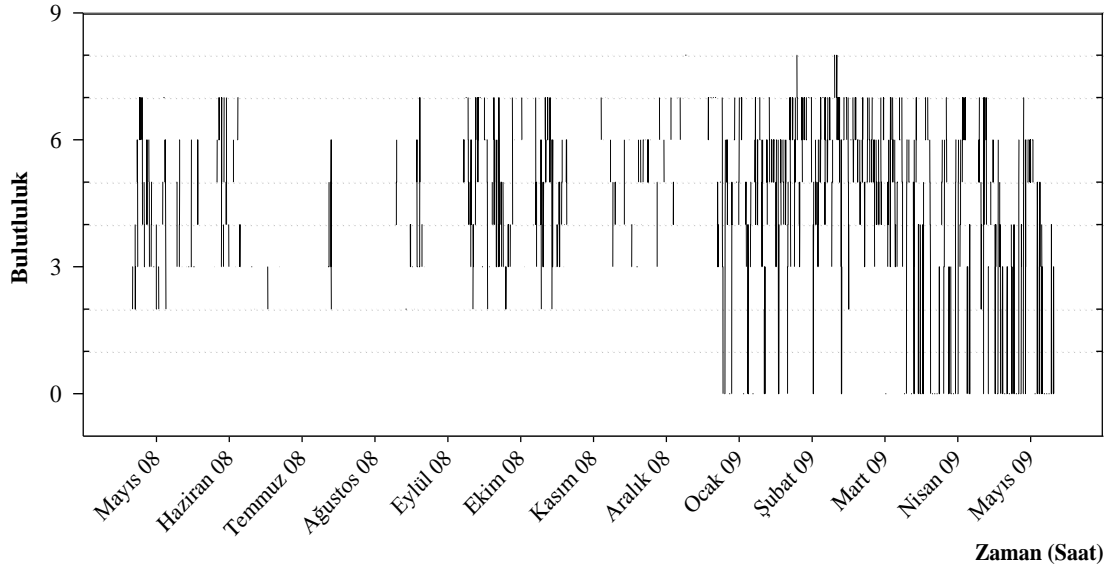


**Grafik 3.8** DMİ Bursa İstasyonu Saatlik Toplam Radyasyon Değişimi

Gün içerisinde değişiklik gösteren Toplam radyasyon değeri, gece saatlerinde minimum seviyesine ulaşırken, özellikle öğle saatlerinde maksimum seviyesine ulaşmaktadır. Çalışma sürecinde 2008 yılının Mayıs ayında  $0,168 \text{ J/m}^2.\text{sn}$  ile en düşük toplam radyasyon verisinin değeri; Haziran ayında  $998,332 \text{ J/m}^2.\text{sn}$  ile en yüksek değeri ölçülmüştür. Saatlik verilerden oluşturulmuş Toplam radyasyon verisi Grafik 3.8'de verilmiştir.

### 3.3.8. Bulutluluk

Gökyüzü alanının ne kadarının bulutlarla kaplı olduğunu gösteren oranı ifade eden bulutluluk değeri birimsizdir. DMİ'den alınan bulutluluk değerinde gökyüzü 8 eşit parçaya bölünmüş olup, değer 8'e eşit olduğunda tam bulutlu sıfıra eşit olduğunda ise bulutsuz güneşli bir atmosferi göstermektedir. Özellikle göl yüzey suyunun ısınmasında önemli etkisi olan kısa dalga radyasyonunu ve buharlaşmayı etkilediğinden bulutluluk oranı hidrodinamik açıdan önemlidir.



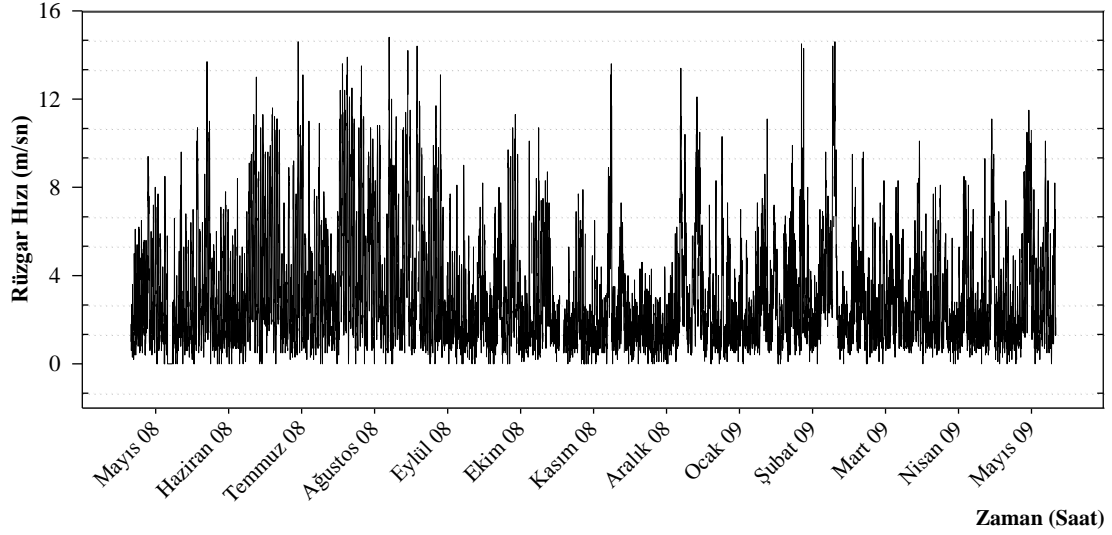
**Grafik 3.9** DMİ Bursa İstasyonu Saatlik Bulutluluk Değişimi

DMİ Bursa meteoroloji istasyonundan alınan saatlik bulutluluk değerleri Grafik 3.9’de gösterilmiştir. Saatlik alınan bulutluluk değerlerinde, özellikle yaz aylarındaki eksik ölçümler göze çarpmaktadır. Ancak bulutluluk değeri yaz aylarında düşük, kış aylarında yüksek mertebelerde olma eğilimindedir.

### 3.3.9. Rüzgar Hızı ve Yönü

Rüzgar hızı özellikle sığ sulardaki hidrodinamik hareketler için önemli bir etkidir. Rüzgarın su yüzeyinde kayma gerilmesi oluşturduğu, genellikle düşük seviyelerde olmasına rağmen tüm su yüzeyine etkisinin büyük olduğu (Dean ve Dalrymple, 1991) bunun yanında artan rüzgar hızıyla sığ sularda su kolonu boyunca karışımaya neden olarak su kalitesini etkilediği (Yaman 2010, Nguyen ve ark. 2005) bilinmektedir.

Gerek arazi çalışmaları sırasındaki gözlemler, gerekse yapılmış diğer çalışmalar (Katip 2010, İleri 2010, Akdeniz 2005) Uluabat Gölü’nde rüzgarın gün içerisinde ne kadar değişiklik gösterdiği, hidrodinamik ve su kalitesi koşullarını etkilediği göstermektedir.



**Grafik 3.10.** DMİ Karacabey İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızı Değişimi

Yağış parametresini de etkileyen rüzgar hızı, genellikle kış aylarında en yüksek seviyeye ulaşır sürekli değişken bir haldeyken, yaz mevsiminin sonları en düşük seviyeye inmektedir (Linsley ve ark. 1975). Ancak çalışma dönemi içerisinde mevsimsel dağılımında özellikle yaz aylarında Uluabat Gölü'nün rüzgarın büyük etkisi altında olduğu görülmektedir. Günlük döngüsünde ise Linsley ve ark. (1975) belirttiği gibi sabah saatlerin hızı azken günün ilerleyen saatlerinde artmakta akşamüstün saatlerinde en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

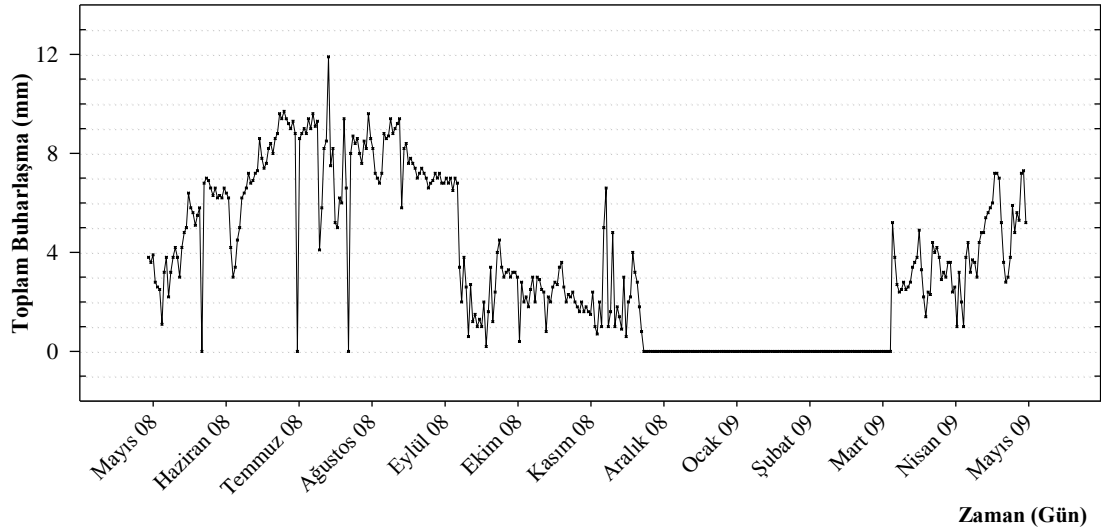
Rüzgar yönü de atmosferik hareketlerden etkilenerek gün içerisinde değişiklikler görülmektedir. DMİ'den derece cinsinden alınan saatlik veriler kullanılarak modelleme çalışması yürütülmüştür.

### 3.3.10. Buharlaşma

Bursa merkez istasyonunda ölçülen buharlaşma seviyesi değerleri Grafik 3.11'de gösterilmektedir. Kış aylarında buharlaşma gözlemlenmezken, yaz aylarında sıcaklık ve kısa dalga radyasyonundaki artışla beraber buharlaşma seviyesinde de artış gözlemlenmektedir.

Su bütçesi hesaplarında çıktı hanesine eklenen buharlaşma değeri hesaplanırken DMİ'den edinilen toplam buharlaşma değerleri (mm) ile DSİ tarafından

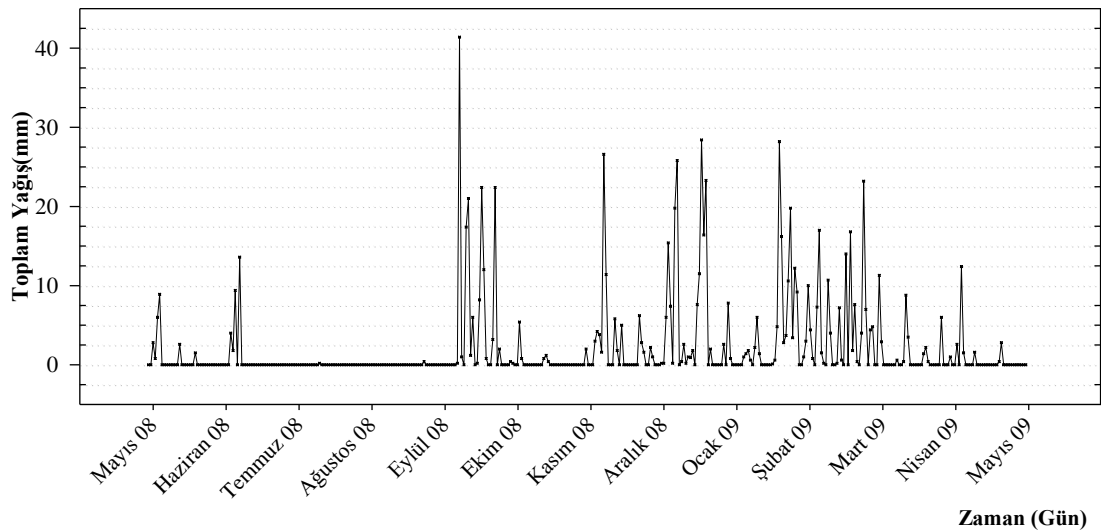
rezervuarlardaki buharlaşmayı hesaplamak amacıyla kullanılan tava katsayısı 0,7 alınarak çarpılmıştır.



**Grafik 3.11** DMİ Bursa İstasyonu Günlük Toplam Buharlaşma

### 3.3.11. Yağış

Eylül ayında gözlemlenen maksimum yağış yüksekliği göle önemli bir su girdisi sağlayarak gölde seviye artışına neden olmuştur. Yağış yüksekliğindeki değişimler su bütçesi hesaplamalarında kolaylıkla hissedilmiştir. Genellikle yaz aylarında yağış yüksekliği 0 mm iken kış aylarında göle getirisi yüksektir (Grafik 3.12).

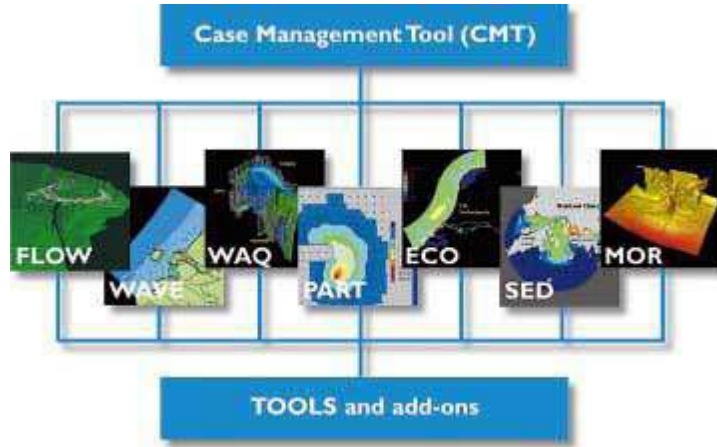


**Grafik 3.12** DMİ Bursa İstasyonu Günlük Yağış Yüksekliği

## 4. METOD

### 4.1. Delft3D – FLOW

Delft3D modeli, altı olay ve bu olayların birbirleri ile iliksilerinin zaman ve uzaysal değişimlerini simüle eder. Prensipde farklı durumlar için uygun iken, model genellikle sahil, nehir ve haliç bölgelerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Delft3D birbirleri ile bağlantılı ve bütünleştirilmiş modüllerden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Delft3D Yazılımının Modülleri

Bu modüller;

- Hidrodinamik modül – Delft3D-FLOW
- Dalga modülü – Delft3D-WAVE
- Su kalitesi modülü – Delft3D-WAQ
- Partikül izleme modülü – Delft3D-PART
- Ekoloji modülü – Delft3D-ECO
- Sediment taşınım modülü – Delft3D-SED
- Morfodinamik modülü – Delft3D-MOR

Dizayn ve yönetim süreçleri giderek kompleks hale gelmekte ve birleşik bir yaklaşıma gereksinim göstermektedir. Bu gelişmelere karşılık olarak, Deltares tarafından Delft3D adı verilen modelleme yazılımı geliştirilmiştir ve özellikle yüzeysel sularda uygulama bulmaktadır. Delft3D, iki veya üç boyulu akış, sediment taşınımı ve morfolojisi,

dalgalar, su kalitesi ve ekoloji gibi süreçleri ve bunlar arasındaki etkileşimleri simüle edebilen, esnek, birleşik bir modelleme yazılım paketidir (Anonim 2010a).

Model, tabakaların sayısı değiştirilerek 2-boyutlu halden 3-boyutlu hale kolayca çevrilebilir. Bu durum, 3D simülasyonlara geçmeden önce, model davranışının 2D olarak incelenmesi imkanını sağlar (Anonim 2010a).

### ***Hidrodinamik Modül***

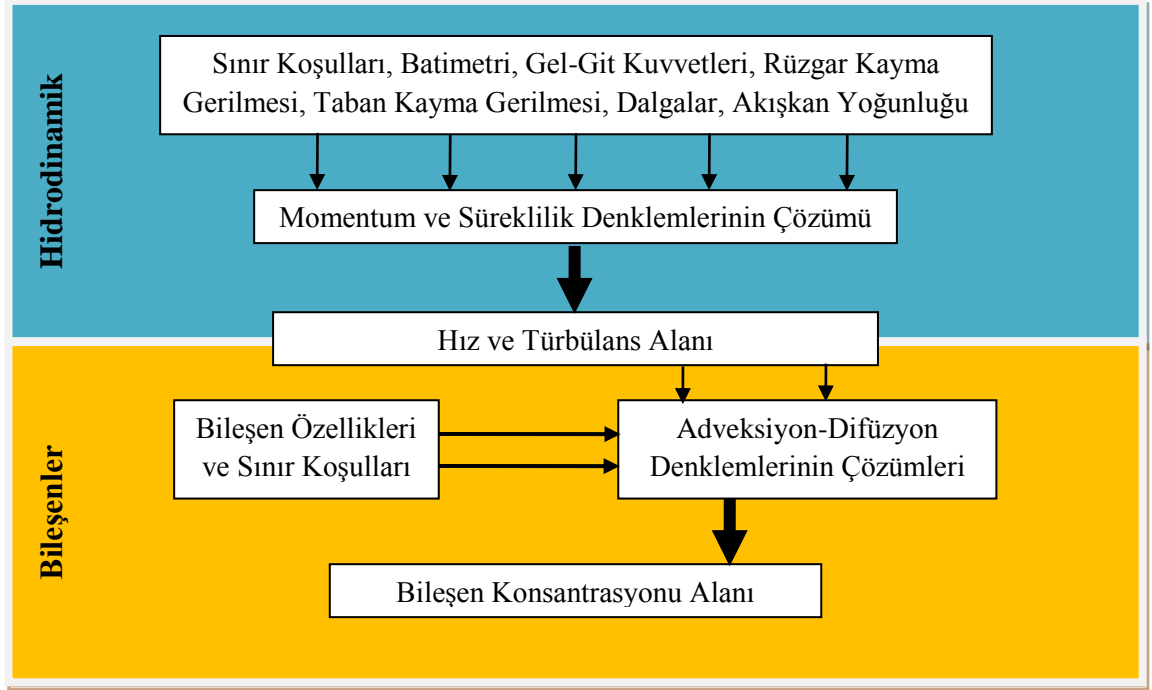
Sığ sulardaki kararsız akışı simüle eder. Gelgit, rüzgar, hava basıncı, yoğunluk farkları, dalgalar, türbülans, kuruma ve taşkın etkilerini kapsamaktadır.

Bu modül çok boyutlu bir hidrodinamik simülasyon programıdır. Gel-gitlerden ve meteorolojik kuvvetlerden kaynaklanan akış ve taşınım olaylarının hesaplanmasında kullanılır. 3D simülasyonlarda, dikey yönde sigma koordinat dönüşümü denilen uygulama yapılır. Böylece, taban topografyası pürüzsüz hale getirilir. Ayrıca tüm çalışılacak alan üzerinde dikey yöndeki katmanların sayısı sabit olduğundan, yüksek hesaplama verimliliği sağlar (Anonim 2010a).

Hidrodinamik modül, Navier-Stokes denklemlerine dayanır. Denklemler, oldukça yüksek doğrulukla, stabil çözüm prosedürleri ile çözülebilmektedir (Anonim 2010a). Şekil 4.2’de modülün kullanımı şematik olarak gösterilmiştir. Bu prosedür her hesaplama adımında tekrarlanmalıdır (Lesser ve ark. 2000).

Hidrodinamik modülden elde edilen sonuçlar, Delft3D’nin tüm diğer modüllerinde kullanılabilir. Sonuçlar, dinamik bir şekilde, bir iletişim dosyası aracılığı ile modüller arasında değiştirilebilir. Çözünmüş madde ve kirletici konsantrasyonları gibi temel su kalitesi parametreleri, hesaplamalarda kullanılabilir. Ancak, daha kompleks su kalitesi simülasyonlarında, hidrodinamik modül, uzak alan su kalitesi modülü (WAQ), nutrient fitoplankton modülü (ECO), yakın alan partikül izleme modülü (PART) ile birleştirilir (Anonim 2010a).





**Şekil 4.2**Delft3D-FLOW Modülünün Kullanımı

Eğrisel grid sistemi üzerinde tanımlanmış bir model simüle edebilmek için, ortogonal gridlerin sağlanması gerekir. Böyle bir grid sistemi oluşturabilmek için Delft3D-RGFRID programı kullanılabilir veya ASCII formatında grid oluşturabildiği sürece başka bir grid hazırlama programı da kullanılabilir. Eğrisel gridlerin oluşturulması oldukça önemlidir ve oldukça da karmaşık bir iştir.

Taban topografyasını oluşturmak için ise, Delft3D-QUICKIN kullanılır. Bu program grid noktalarındaki derinlik değerleri ile, dağınık değerleri interpolate eder. Topografyanın daha da iyi bir şekilde ayarlanması için, bazı noktalardaki değerlerin elle ayarlanması gibi daha farklı seçeneklerde uygulanabilir.

#### 4.2. Temel Denklemler

Sığ sulardaki sıkıştırılmaz akışkanlar için, temel denklemler Navier Stokes denklemlerine dayanmaktadır. Temel denklemlerin, Boussinesq ve hidrostatik yaklaşımları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir (Anonim, 2010a).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [h \bar{U}]}{\partial x} + \frac{\partial [h \bar{V}]}{\partial y} = S \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + u \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial \eta} + \frac{\omega}{h} \frac{\partial U}{\partial \sigma} - fV = -\frac{1}{\rho_0} P_x + F_x + M_x + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \nu_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial \eta} + \frac{\omega}{h} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - fU = -\frac{1}{\rho_0} P_y + F_y + M_y + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \nu_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Denklem 5 derinlik ortalamalı süreklilik denklemidir.

Burada;

- $\zeta$  : Su yüzeyi kotunu,
- $h$  : Toplam su derinliğini,
- $u, v$  : x, y doğrultularında derinlik ortalamalı hız bileşenlerini,
- $S$  : Deşarja ya da su çekilmesine, yağışa ve buharlaşmaya bağlı birim alan başına katkıyı ifade etmektedir.

Denklem 6 ve Denklem 7 ise sırasıyla x ve y doğrultusundaki yatay momentum denklemleridir.

Burada;

- $P_x, P_y$  : x, y doğrultusundaki basınç bileşenlerini,
- $F_x, F_y$  : Eddy viskozitesi kullanılarak tanımlanan yatay Reynolds gerilmelerini,
- $M_x, M_y$  : Çökeltme ya da dış kaynaklara bağlı momentum etkilerini,
- $\nu_v$  : Dikey eddy viskozite katsayısını,
- $\omega$  : Sigma koordinat sisteminde dikey hız bileşenini ifade etmektedir.

Delft3D-FLOW yazılımında taban pürüzlülüğü farklı formülasyonlarla tanımlanabilmektedir. Derinlik ortalamalı (2D) bir akım için, taban yatağındaki türbülanslı akım nedeniyle x ve ye doğrultusunda oluşan kayma gerilmesi, ikinci dereceden sürtünme yasası verilmiştir (Anonim, 2010a);

$$\tau_{bx} = \rho_w g \left( \frac{|U|u}{C^2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

$$\tau_{by} = \rho_w g \left( \frac{|U|v}{C^2} \right) \dots \dots \dots (9)$$

İki boyutlu (2D) Chezy katsayısı C farklı formülasyonlarla hesaplanabilmektedir;

- Chezy formülasyonu:

$C =$  Chezy coefficient

- Manning formülasyonu:

$$C = \frac{\sqrt[6]{h}}{n} \dots \dots \dots (10)$$

Denklemdaki h, toplam su derinliği [m] iken; n, Manning katsayısını [ $m^{1/3}/s$ ] ifade etmektedir.

- White Colebrook's formülasyonu:

$$C = 18 \log_{10} \left( \frac{12h}{k_s} \right) \dots \dots \dots (11)$$

Denklemdaki h, toplam su derinliği [m] iken;  $k_s$ , Nikuradse pürüzlülük uzunluğunu [m] ifade etmektedir.

#### 4.3. Zaman Aralığı

Stelling'e göre (1984), sığ su denklemleri için sağlam bir çözücü, aşağıdaki talepleri karşılması gerekmektedir;

- Sağlamlık (koşulsuz kararlı)
- Doğruluk (an az ikinci derece tutarlılığı)
- Uygunluk (hem zamana bağlı hem de kararlı hal problemleri için)
- Etkinlik (hesaplama için)

Sığ su denklemlerinde zaman bütünleşmesinin doğru sağlanması, uygun seçilen zaman aralığı ile doğrudan bağlantılıdır. Zaman aralığı ise dalga yayılımı için kullanılan Courant sayısı olarak tanımlanan  $CFL_{wave}$ 'e dayalıdır. Zaman aralığı ve  $CFL_{wave}$  arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir (Anonim, 2010a).

$$CFL_{wave} = 2\Delta t \sqrt{gh \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)} \dots \dots \dots (12)$$

Denklemde;

- $CFL_{wave}$  : Courant sayısı
- $\Delta t$  : Zaman aralığı
- $g$  : Yerçekimi ivmesi
- $h$  : Yerel su derinliği
- $\Delta x$  : x doğrultusundaki grid ağı boyutu
- $\Delta y$  : y doğrultusundaki grid ağı boyutu

Courant sayısı, yayılma hızı ve zaman aralığı arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bunun yanında zaman aralığının büyüklüğü toplam işlem zamanını belirlemektedir. Toplam işlem sürecini azaltmak için, doğruluk ve kararlılıktan kayıp yaşanmasını önleyecek uygunlukta, en büyük zaman aralığının seçilmesi gereklidir.

Genel olarak, Courant sayısı 10 değerini aşmamalıdır. Ancak daha küçük mekansal ve zamansal varyasyonlar ile ilgili problemler için, Courant sayısı gerçekte daha büyük alınabilir (Anonim, 2010a).

## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

107Y278 nolu TÜBİTAK projesi bütçesi ile sağlanmış Delft3D yazılımının hidrodinamik modülü (Delft3D-FLOW) kullanılarak göl hidrodinamiği simüle edilmeye çalışılmıştır. Model özellikle denizel ortamlar ve haliçlerde yaygın olarak kullanılmasına karşın göllerde kullanımı yaygın değildir. Bu durum, çalışma sırasında önemli bir dezavantaj oluştururken, gerekli destek sağlayıcı firma Deltares'ten edinilmiştir.

Uzun süreli modelleme çalışmalarının, minimize edilmiş yanılma payı ile geleceğe yönelik olarak yapılacak göl yönetim çalışmalarında etkin rol oynadığı (Mercan, 2006) bilinmesine karşın çalışma alanı Uluabat Gölü'nde hidrodinamik modellemeye girilecek verilerin uzun süreli ölçümleri mevcut değildir. Bu nedenle Mayıs 2008 – Mayıs 2009 tarihleri arasındaki arazi çalışmaları ile edinilen bilgiler üzerinden 13 aylık kısa süreli modelleme çalışması yürütülmüştür. Modelleme çalışmaları başlangıcında, çalışmamıza temel teşkil edecek 4 dönem belirlenmiştir. Bu dönemler;

- Dönem-1 : 23 Mayıs - 20 Ağustos 2008
- Dönem-2 : 20 Ağustos – 28 Kasım 2008
- Dönem-3 : 15 Ocak – 4 Mart 2009
- Dönem-4 : 4 Mart – 15 Mayıs 2009

Belirlenen dönemler incelendiğinde su seviyesindeki değişimler, farklı başlangıç koşulları ve sınır koşulları göze çarpmaktadır. Özellikle farklı su seviyesi nedeniyle grid ağı yapısı her dönem için farklı belirlenmiş ve buna bağlı olarak zaman aralığı farklı seçilmiştir.

Havens ve ark. (2001) tam anlamıyla güçlenmemiş olan sedimentinin süspanse olması, sedimentinden su kolonuna önemli ölçüde besin yüklemesi ve dışarıdan gelen yüklerin yanında özellikle sığ göller için sıcaklık tabakalaşmasının olmamasının göl yapısını daha karmaşıktırdığını vurgulamaktadır. Uluabat Gölü'nde de rüzgarın etkisiyle su kolonu boyunca sürekli bir karışım gerçekleşmekte (Anonim, 2002b) ve sürekli bir sıcaklık tabakalaşması gerçekleşmemektedir. Bu nedenle hidrodinamik model 2 boyutlu

olarak tanımlanmıştır. Ancak modelin bir avantajı olarak, gerekli görülmesi halinde modülün kullanıcı arayüzü aracılığıyla tabakalaşma tanımlanıp göl 3 boyutlu hale getirilebilmektedir.

Modelleme çalışmasında, DSİ ve EİEİ'den hidrolojik veriler, DMI'den de meteorolojik veriler edinilmiştir. Özellikle hava sıcaklığı, nisbi nem, toplam radyasyon, rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri göl hidrodinamiğinde büyük öneme sahip olduğundan saatlik değişimlerinde göl hidrodinamiği değişmektedir. Bu nedenle modelin doğru çalıştırılması için bu parametrelerin saatlik verileri modele girilmiş olup, diğer meteorolojik veriler ve debiler günlük olarak modellenmiştir. 1995 yılına ait batimetri haritası güncellenmiş olup, modelin kullanacağı formatta sisteme çağırılmıştır.

Modelin değerlendirilebilmesi için, belirlenen dönemlerde farklı senaryolar uygulanarak duyarlılık analizi uygulanmıştır. Dönemsel olarak yapılan farklı uygulamalar yapıldığından, bu çalışmaların ayrıntıları dönemsel çalışmalar bölümünde verilmiştir. Ayrıca model çıktısı olarak su derinliği, su sıcaklığı ve hızdaki değişimler edinilmiş ve yorumlanmıştır.

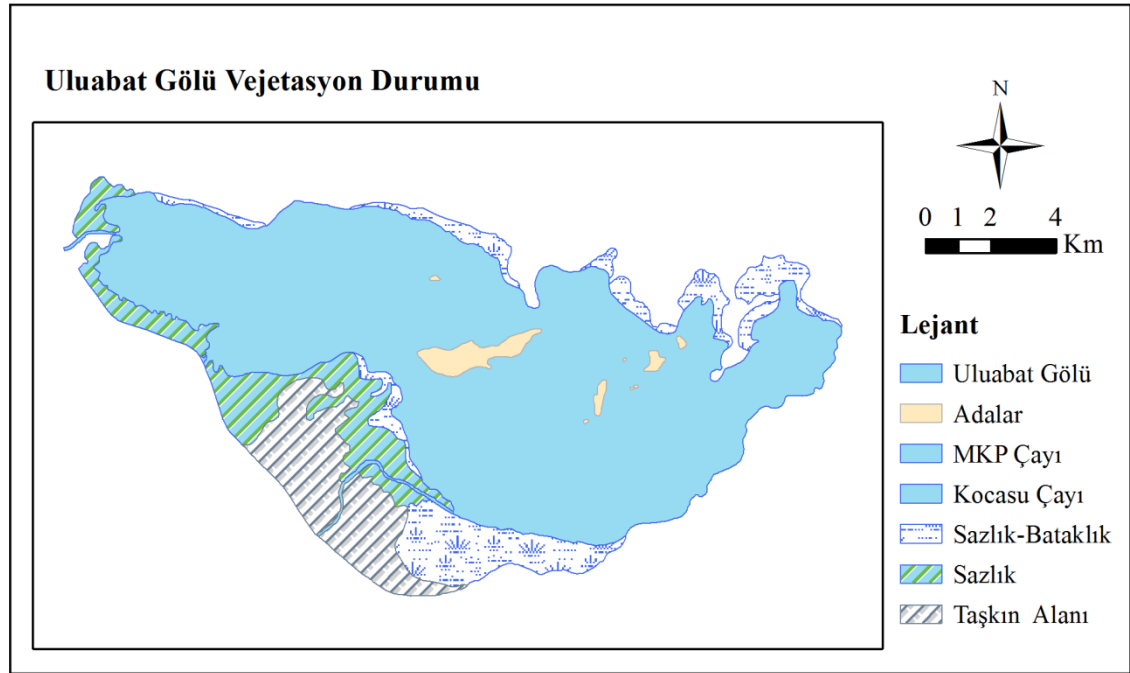
### 5.1. Duyarlılık Analizi

Hidrodinamik ve sıcaklık modelleme çalışmalarında gölün mevsimlere göre hidrodinamik davranışını belirleme esas alınmıştır. Uluabat gölü sığ bir göl olması ve önemli büyüklükte littoral bölgesi nedeniyle taban pürüzlülüğü gölün hidrodinamik koşullarında önem taşımaktadır. Ancak göl tabanındaki pürüzlülük hakkında herhangi bir ölçüm bulunmaması nedeniyle, Manning sürtünme katsayısı için değişik değerler kabul edilerek gölün hidrodinamik davranışı duyarlılık analizi yapılarak irdelenmiştir.

Göller için geçerli Manning katsayılarının büyüklükleri ile ilgili değişik literatür bilgileri mevcuttur. Özellikle sığ göllerde hidrodinamik davranış genelde golde su yüzüne çıkan makrofit, batık makrofit ve makrofit bulunmayan alanların toplam gol alanı içerisinde dağılımına ve kapladıkları alana bağlı olmaktadır. Göllerdeki makrofitlerin mevcudiyetine, miktarına ve dağılımına bağlı olarak Manning sürtünme

katsayısının alabileceği değerleri veren ve inceleyen literatür bulunmaktadır (Cardoso, 2005; Larmaei ve ark., 2009; Madsen ve ark., 2001; Kees ve ark., 2010; Ebrahimi ve ark., 2008; Anonim, 1994) .

Bu çalışma kapsamında Cardoso (2005) tarafından verilen göllerde Manning katsayısı seçme kriterleri esas alınmaktadır. Cardoso (2005)'ya göre batık makrofitler için  $n=0,071s m^{-(1/3)}$ ; su yüzüne çıkmış makrofitler için  $n=0,125s m^{-(1/3)}$ ; vejetasyon barındırmayan göl alanları için  $n=0,033s m^{-(1/3)}$  kabul edilebilir. Uluabat gölü sazlık alanı ve vejetasyon barındırmayan alanları Şekil 5.1'de verildiği şekilde tespit edilmiştir.



**Şekil 5.1** Uluabat Gölü Vejetasyon Durumu

Gölün hidrodinamik yapısını belirleyen Manning sürtünme katsayısının seçilmesi amacıyla belirlenen model senaryoları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Belirlenen senaryolar doğrultusunda Delft3D yazılımının QUICKIN modülünde her döneme ait olarak pürüzlülük dosyası hazırlanmıştır.

**Çizelge 5.1 Model Senaryoları**

	<b>Dönem-1</b>	<b>Dönem-2</b>	<b>Dönem-3</b>	<b>Dönem-4</b>
S1	n= 0,05			
S2	Sazlık kıyı bölgesi n=0,125			
S1		n= 0,05		
S2	Sazlık olmayan bölge n=0,033	Sazlık kıyı bölgesi n=0,125		
S1			n= 0,05	
S2			Sazlık kıyı bölgesi n=0,125	
S1				n= 0,05
S2				Sazlık kıyı bölgesi n=0,125
S1				Sazlık olmayan bölge n=0,033

Delft3D-FLOW modülü, çalıştırılacak senaryolar için başlangıç koşullarının uniform ve değişken olma alternatiflerini kullanıcıya sunmaktadır. Sığ sularda kısmi diferansiyel denklem çözümlerinde uniform koşulların alınması mümkündür. Bu doğrultuda dönemlerde başlangıç koşullarında sıcaklık ve derinlik bilgileri modelde uniform olarak tanımlanmıştır.

Dönemlere ait ayrıntılı bilgi 5.2 bölümünde verilmiştir.

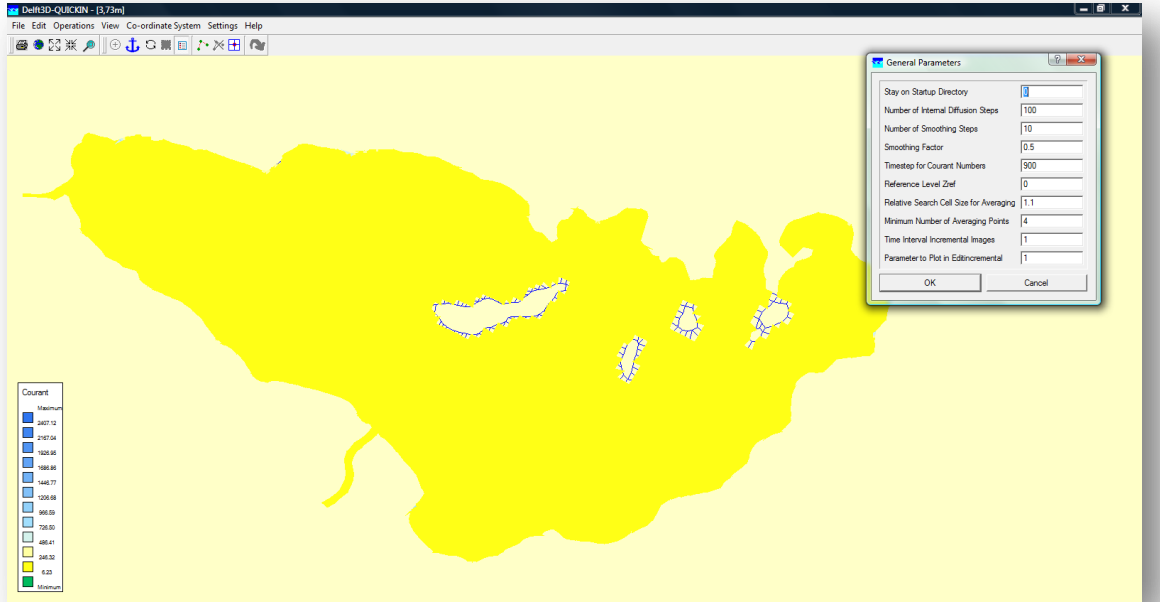


## 5.2. Dönemsel Çalışmalar

### 5.2.1. Dönem-1

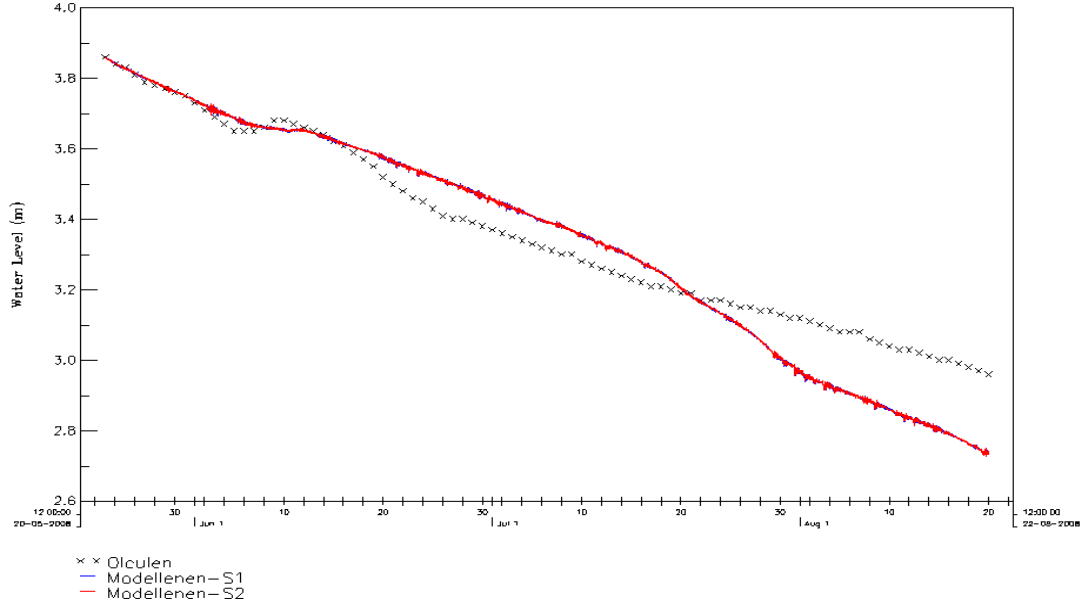
Dönemsel değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla 3 ayrı döneme ayrılan izleme sürecinin ilk dönemi 23 Mayıs 2008'den başlayıp 20 Ağustos 2008 tarihinde sonuçlanmaktadır. Dönem-1'e ait senaryolarda pürüzlülük dosyası haricinde tüm girdi dosyaları aynı olup, çalışma alanının grid ağı yapısı RGFGRID modülünde; batimetrisi, derinlik hız ve sıcaklık verilerini içeren başlangıç dosyası ve taban pürüzlülüğü dosyaları QUICKIN modülünde hazırlanmıştır.

Grid ağı ve batimetri her dönem için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu nedenle Courant sayısı ve zaman aralığı arasındaki ilişki ayrı olarak değerlendirilmiştir. QUICKIN modülünde değişen zaman aralığına bağlı olarak grid ağındaki Courant sayısının dağılımını görmek mümkündür (Şekil 15). Bu dağılım doğrultusunda 15 dk'lık zaman aralığı seçildiğinde Courant sayısı 6,23 olup Anonim (2010a) tarafından belirtilen sınır şartlar sağlanmaktadır. Kontrol sonucunda Dönem-1 için zaman aralığı 15dk olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.2 Dönem-1 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı İlişkisi

Uluabat gölünün hidrodinamik özelliklerini incelerken kabul edilen değişik Manning sürtünme katsayıları için elde edilen sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Grafik 5.1’de uygulanan senaryolar arasında majör farklılıklar olmadığı görülmektedir.

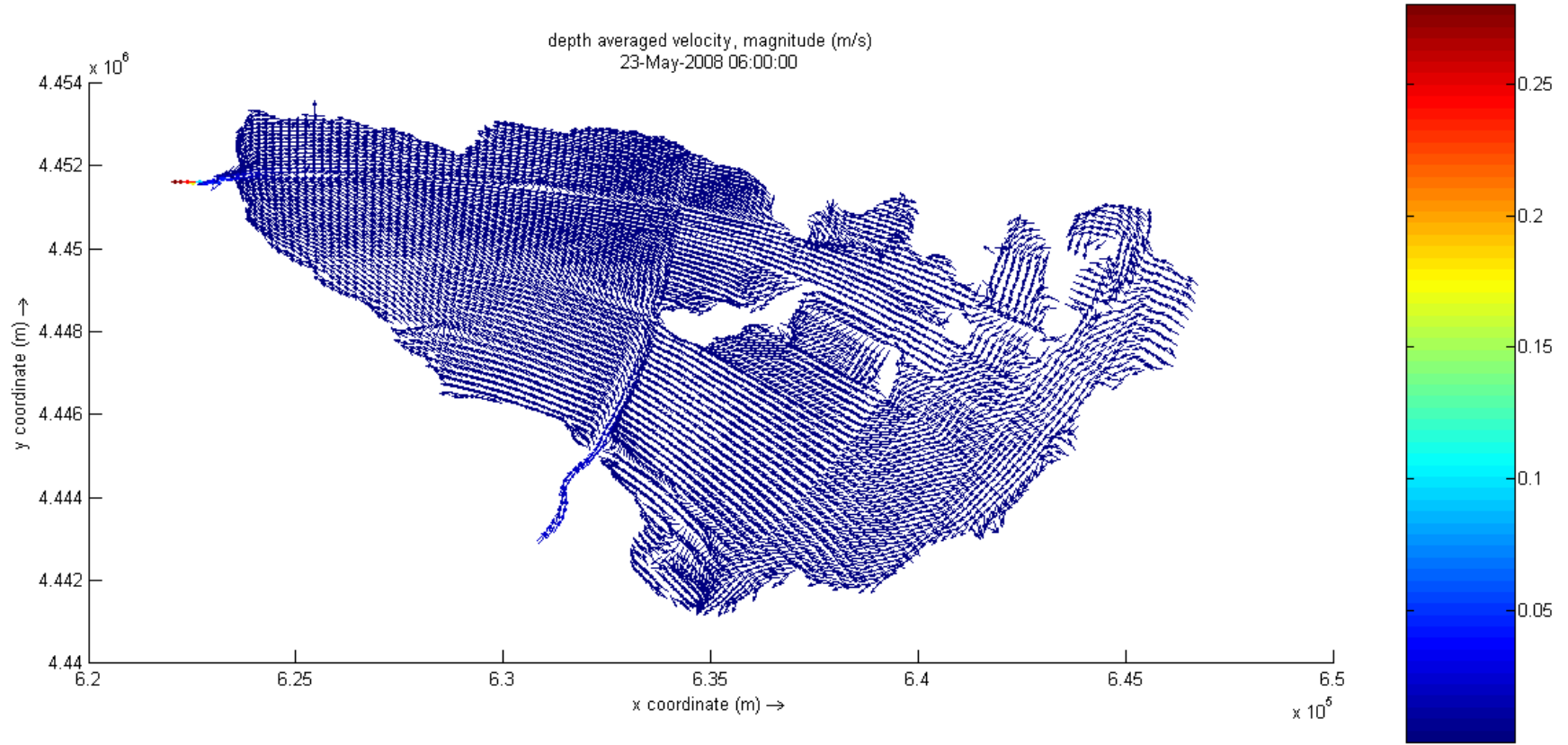


**Grafik 5.1** 23 Mayıs -20 Ağustos Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması

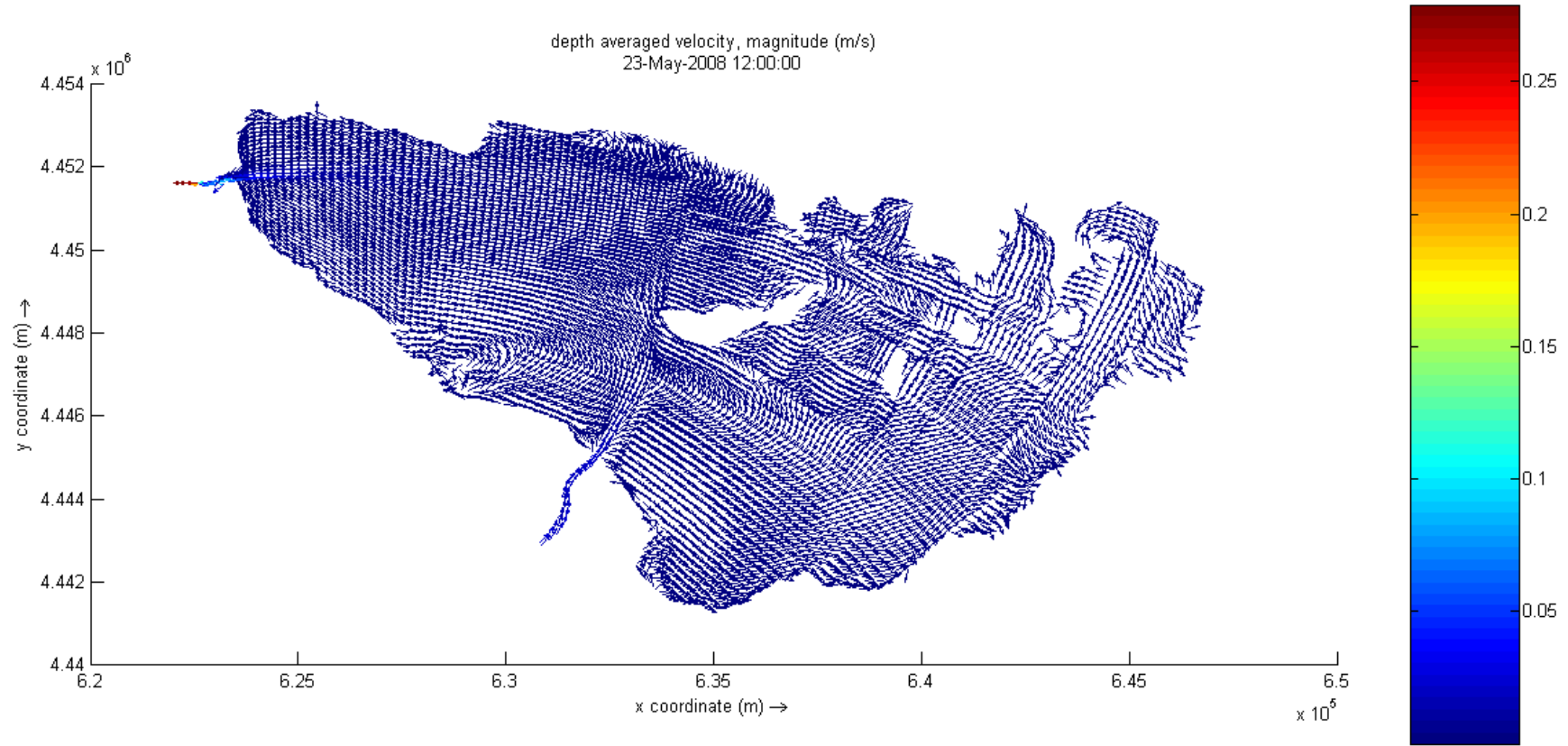
Model sonuçlarını daha iyi inceleyebilmek amacıyla dönem içerisindeki örnekleme günlerine ait simülasyon sonuçlarına ait çıktılar alınarak yorumlamalar yapılmıştır.

Senaryo 1 (S1) koşulu altında akım hızı değerlerine bakıldığında 23 Mayıs tarihinde göl genelinde 0,1 m/sn'nin altında gözlemlenirken, gölün çıkış ağzı Kocasu Çayı'nda 0,25m/sn mertebesine ulaşmaktadır. Başlangıç koşullarının uniform olarak alındığı Şekil 5.3'te sadece MKP ve Kocasu çaylarının etkilerinin görülmesinden anlaşılmaktadır.

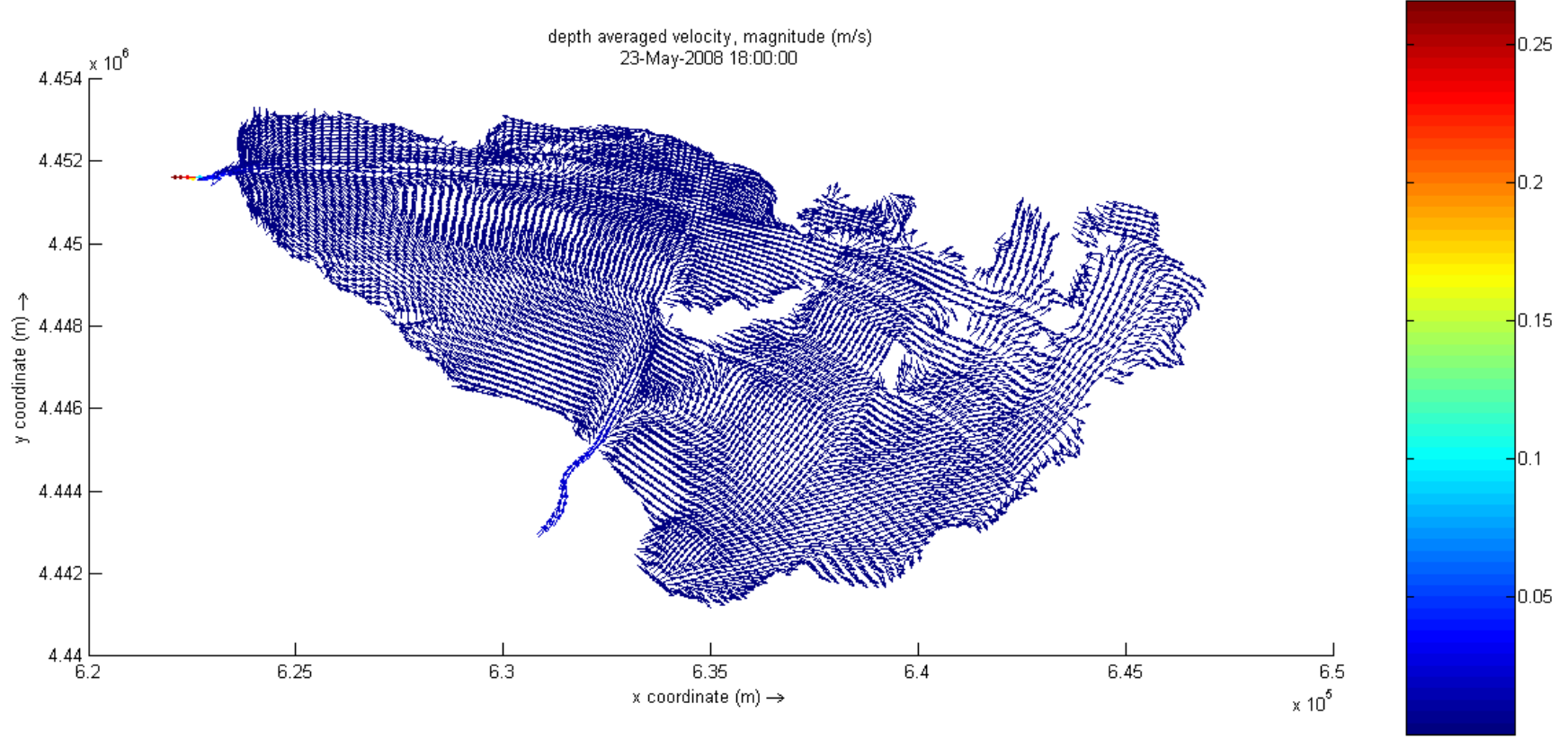
Ortalama 2,4 m derinlikteki St. Lucie halicinde yapılan çalışmada Ji ve ark. (2007), haliçteki maksimum akım hızını 0,4 m/sn seviyesinde tespit ederken; Jozsa (2006) ortalama 3 m derinlikteki Balaton gölünde 0,1 m/sn, ortalama 1,5 m derinlikteki Ferto gölünde 0,1 m/sn ve ortalama 2 m derinlikteki Velence gölünde 0,05 m/sn seviyesinde olduğunu belirtmiştir. Uluabat gölünde modellenen akım hızı değerleri de bu göllerde ölçülen hız değerleri ile aynı seviyededir.



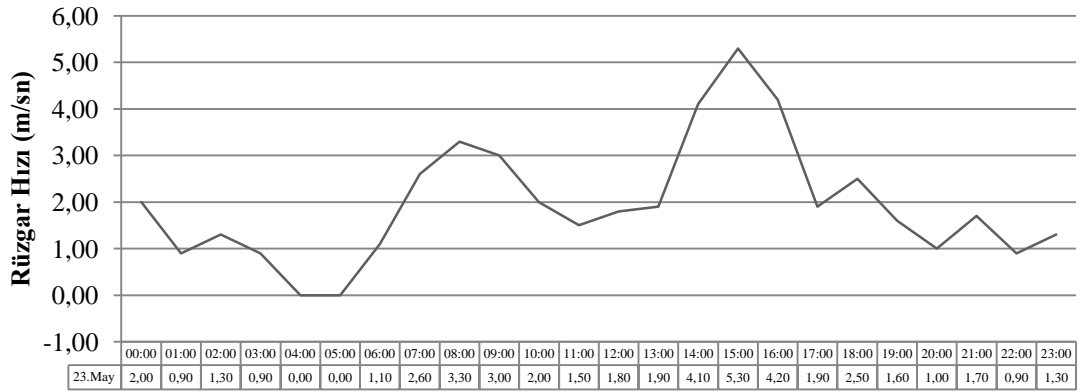
Şekil 5.3 23 Mayıs 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



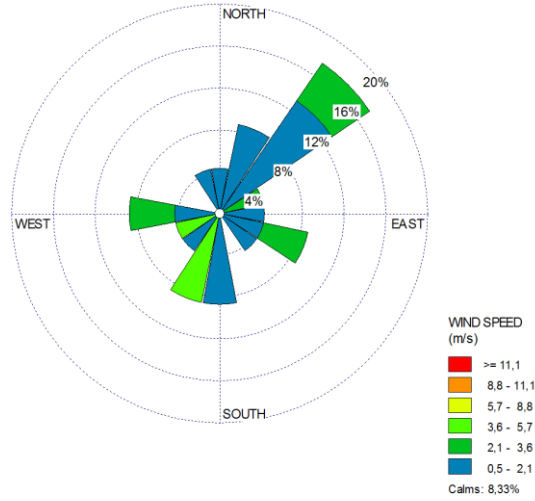
Şekil 5.4 23 Mayıs 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.5 23 Mayıs 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



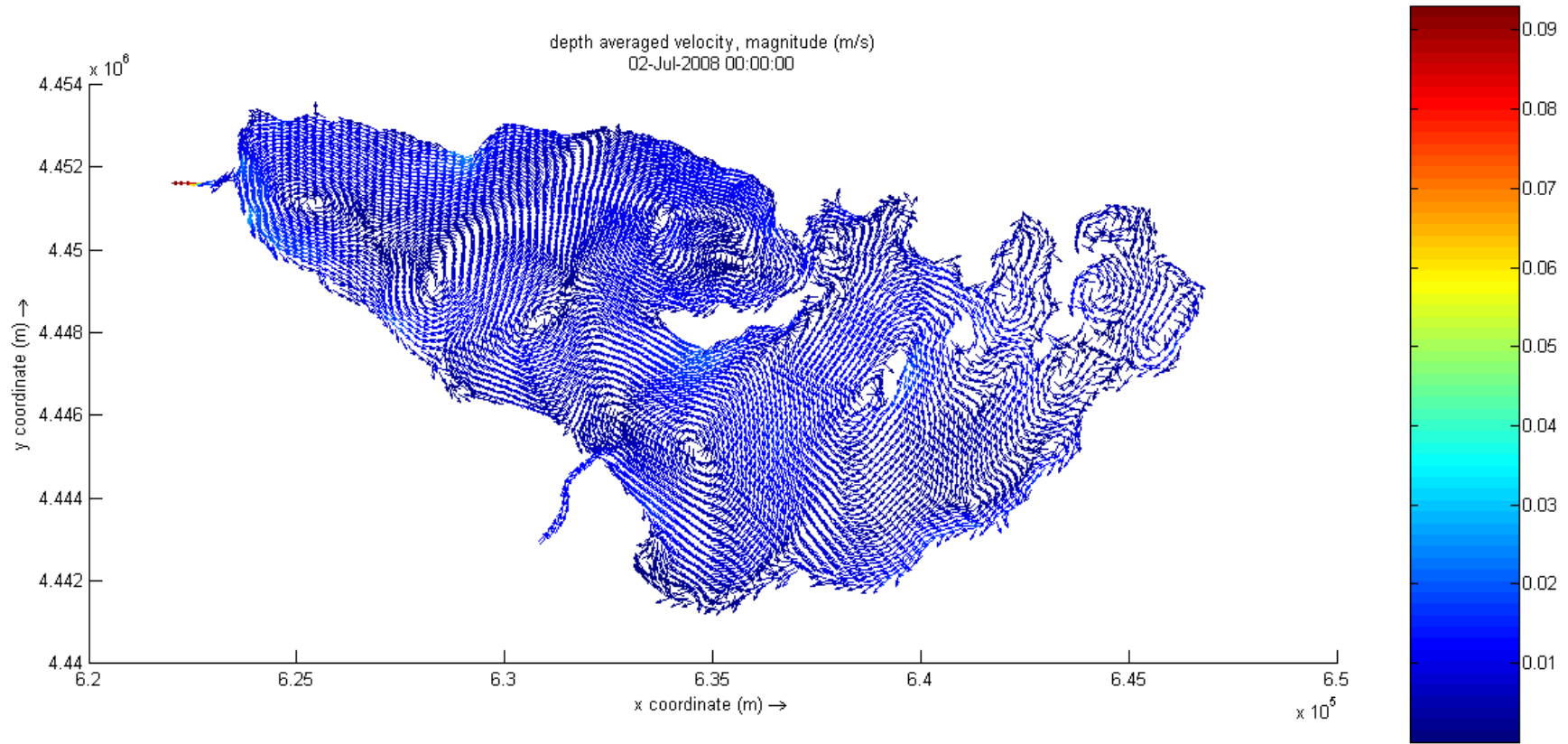
**Grafik 5.2** 23 Mayıs 2008 Günü Rüzgar Hızı



**Grafik 5.3** 23 Mayıs 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

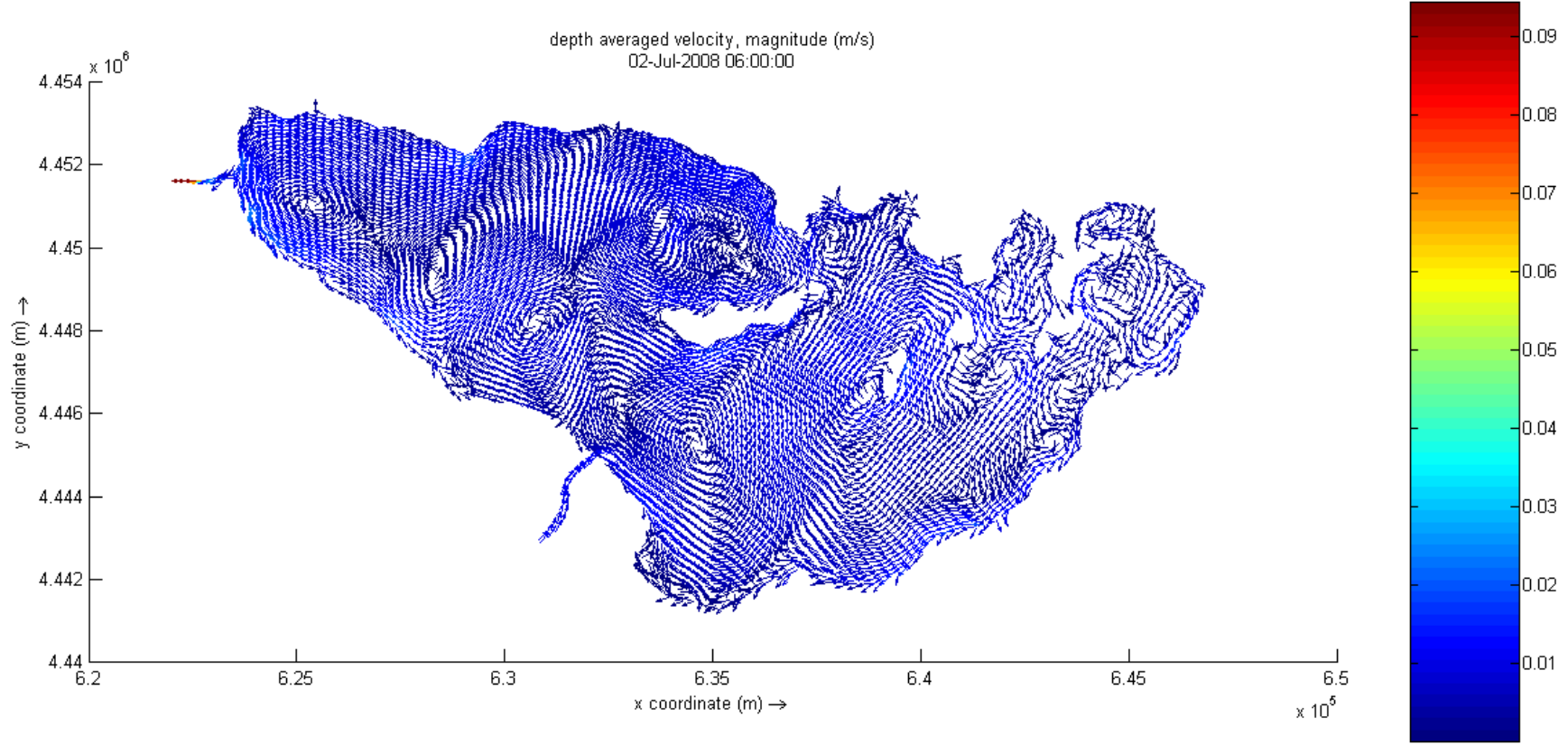
Sığ sularda akım hareketlerini belirleyen temel kaynak rüzgardır (Jozsa 2006). Jozsa (2006) 10-15 m/sn'lik bir fırtınanın tüm göl genelinde 10-15 cm/sn'lik akım hızına sahip akıntılar oluşturacağını belirtmiştir. Gölde etkisi bulunan rüzgar verisi (Grafik 5.2-5.3) ile karşılaştırıldığında güneybatı doğrultusundaki hakim yönü ile saat 05:00'dan itibaren artan rüzgar hızı özellikle gölün çıkış ağzına doğru olan bölgelerinde yer yer akım hızının artmasına neden olduğu görülmektedir.

Rüzgar etkisi dışında gölün içerisinde bulunan adalarında akım yönlerini etkiledikleri Şekil 5.3-5.4-5.5'te akım hızı vektörlerinden görülmektedir. Özellikle MKP Çayı'ndan gelen suyun Halilbey adası ile karşılaştığında dağılıp kuzeyinden dolanarak gölün batısına geçtiği düşünülmektedir.



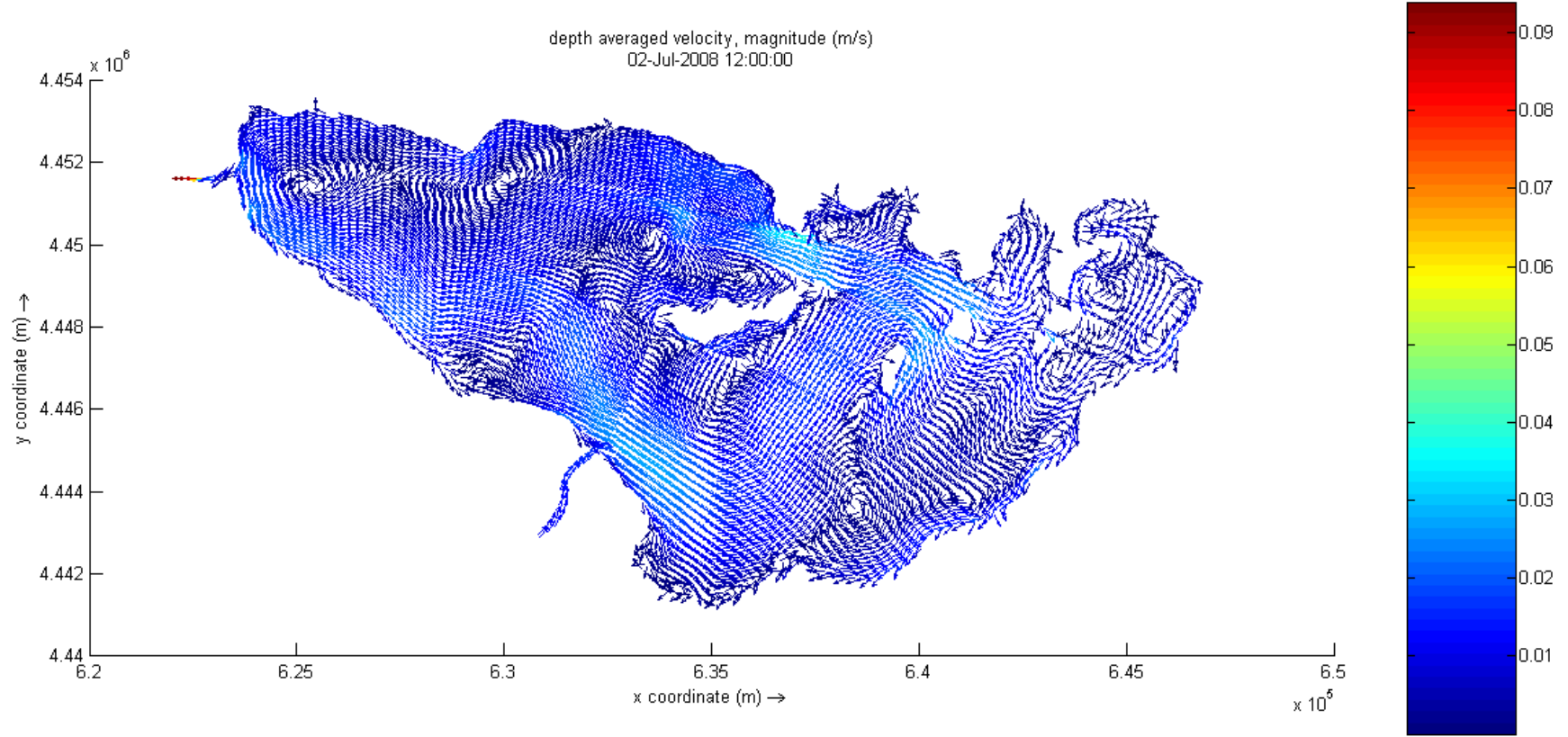
Şekil 5.6 2 Temmuz 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



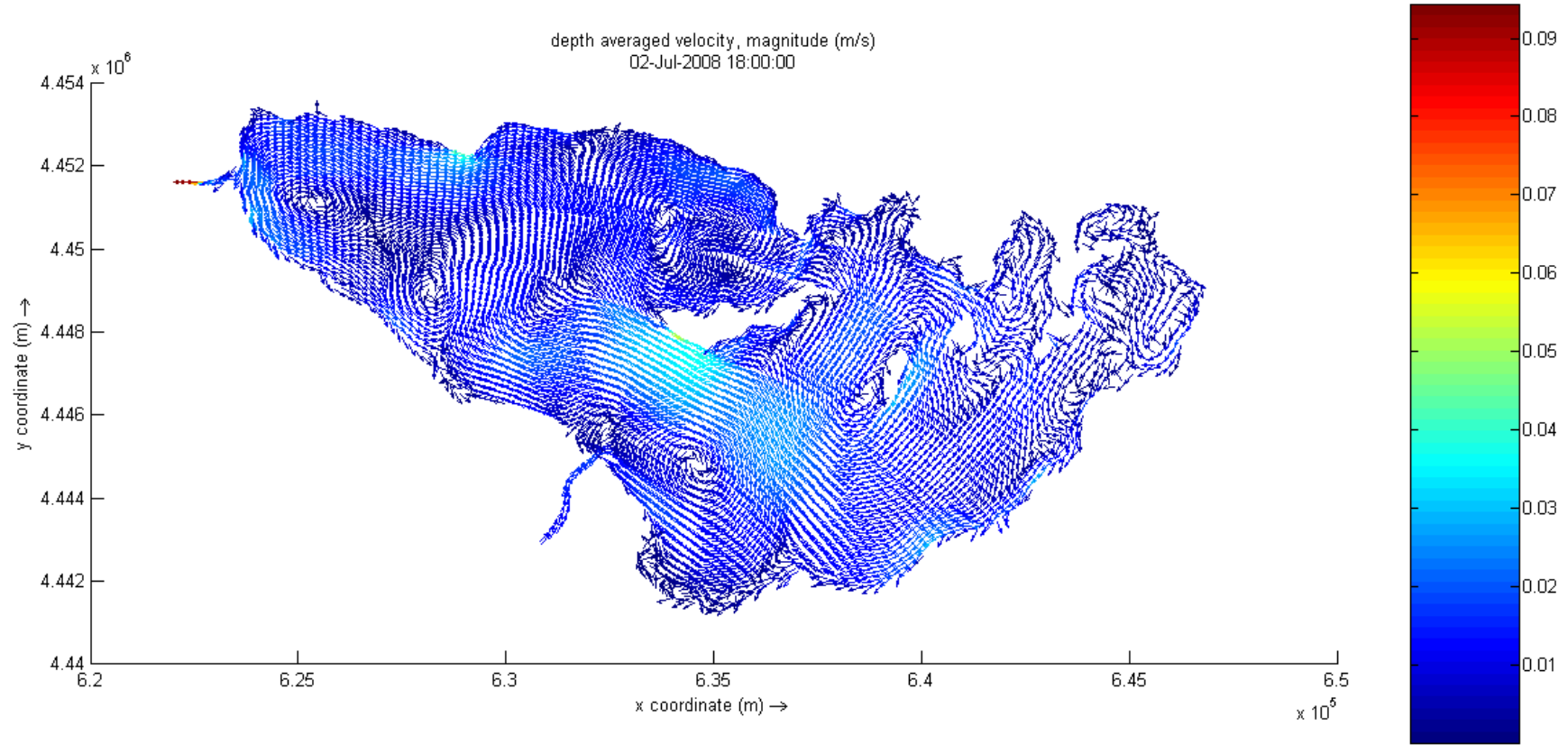


Şekil 5.7 2 Temmuz 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı





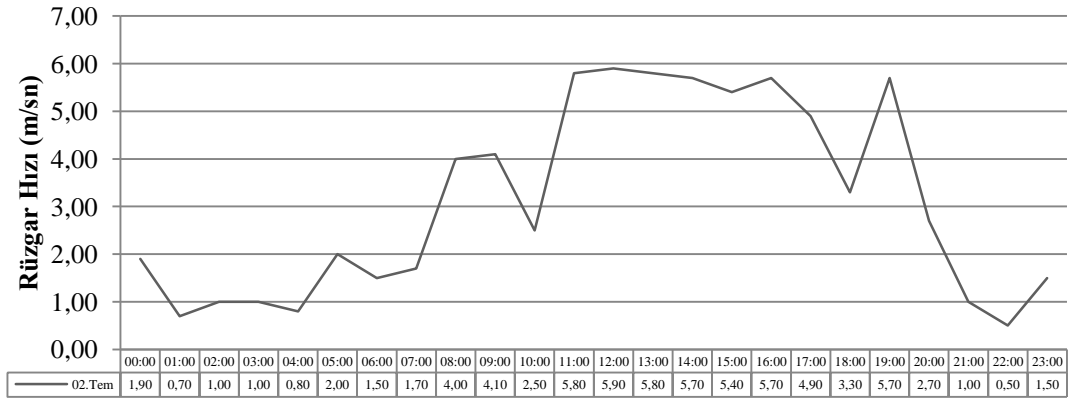
Şekil 5.8 2 Temmuz 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



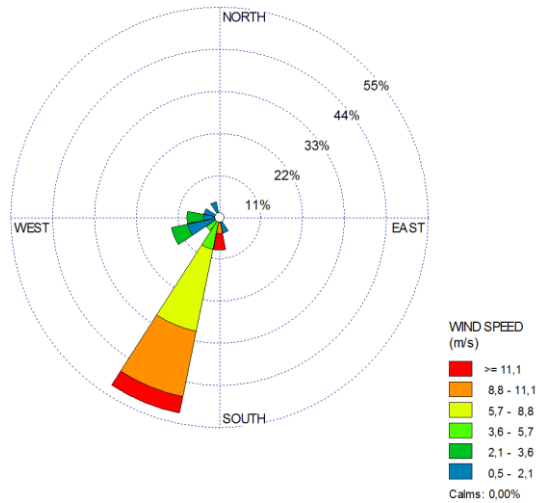
Şekil 5.9 2 Temmuz 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

2 Temmuz 2008 tarihindeki numune alma gününün simülasyonlarını incelediğimizde akım hızının 0-0,03 m/sn mertebesine kadar düştüğünü görmek mümkündür. Günün ilk saatlerinde MKP Çayı'dan gelen akım göldeki akımın hızlanmasına ve mertebede artışa neden olmakla beraber göl çıkış ağzında oluşan türbülansın dönen akımla birleşerek gölün doğusuna doğru ilerlemektedir.

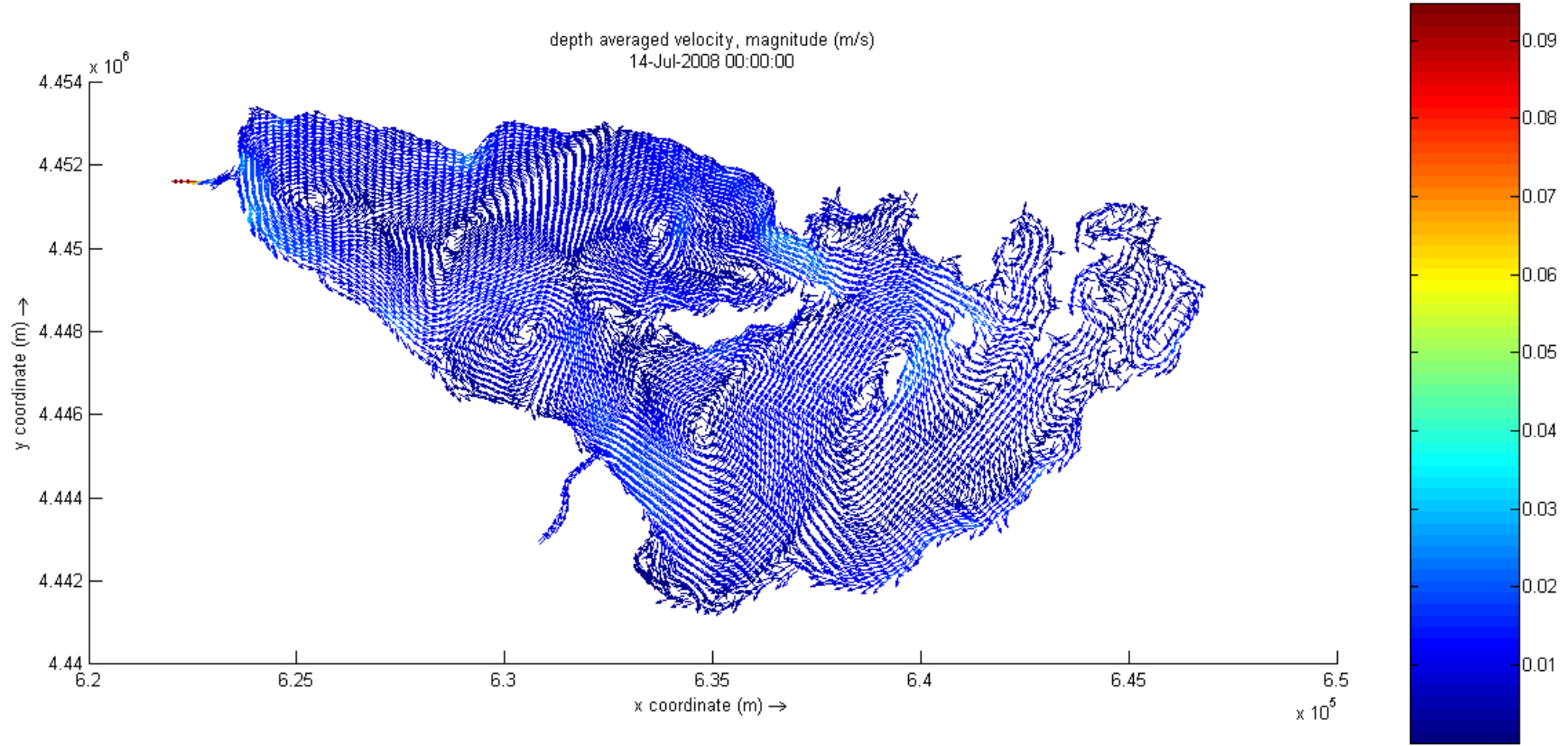
Gün içerisinde hakim rüzgar yönü ise kuzeydoğudur. Bu nedenle, Saat 05.00'ten sonra artan rüzgar hızıyla beraber gölün kuzey kesimlerinde artan akım hızı, suyu göl çıkış ağzına taşıdığı düşünülmektedir. 2 Temmuz 2008 tarihindeki rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönü Grafik 5.4-5.5'te gösterilmiştir.



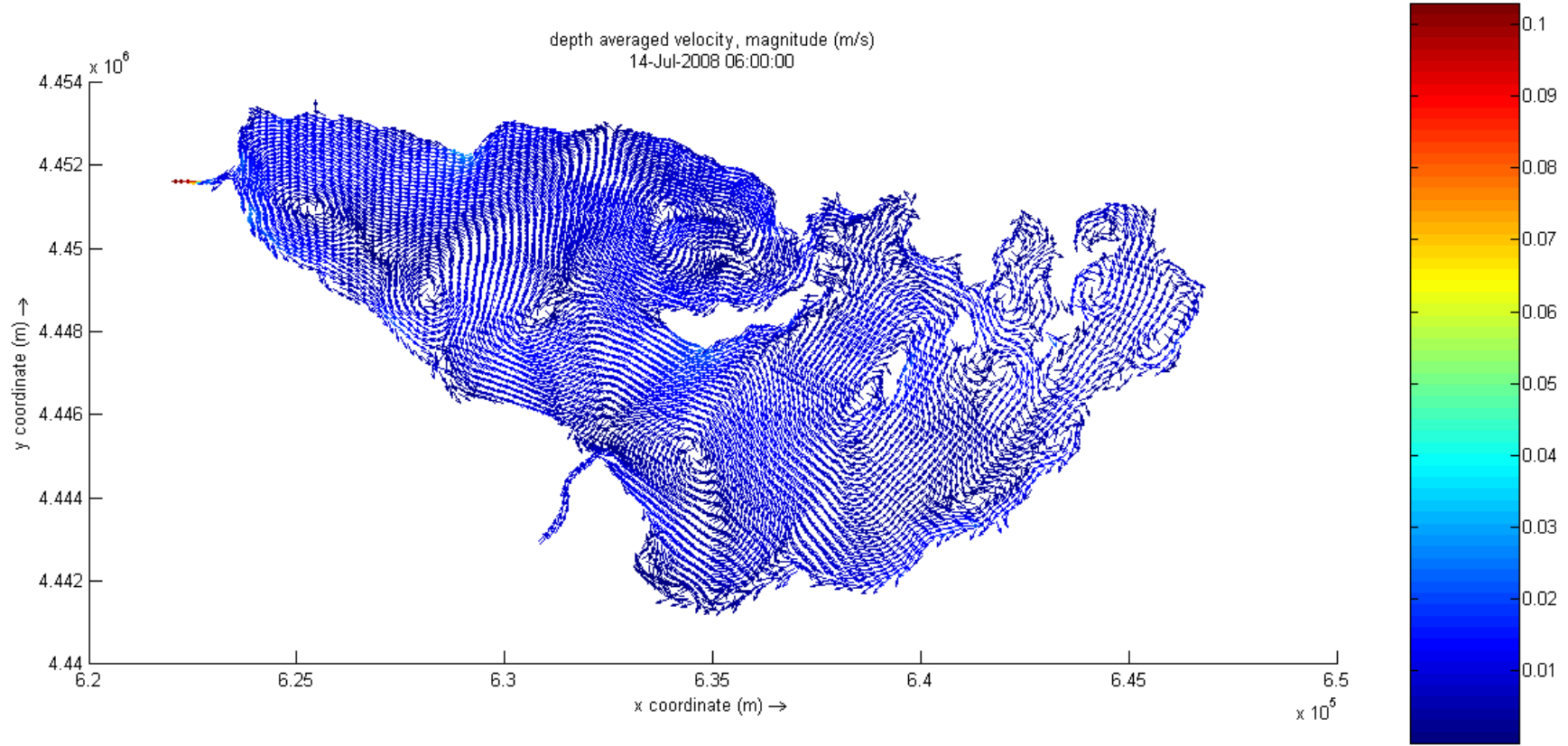
**Grafik 5.4** 2 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Hızı



**Grafik 5.5** 2 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

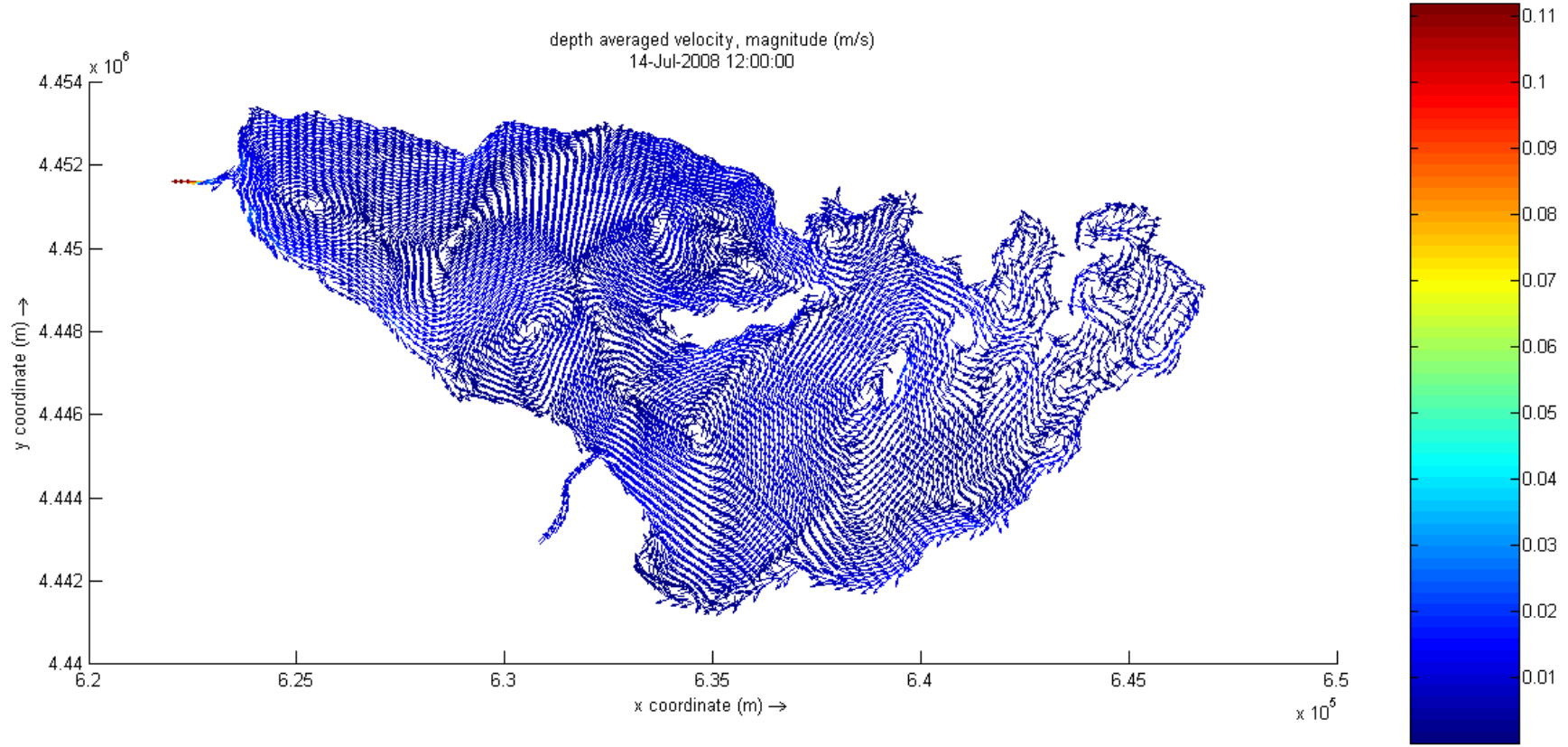


Şekil 5.10 14 Temmuz 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

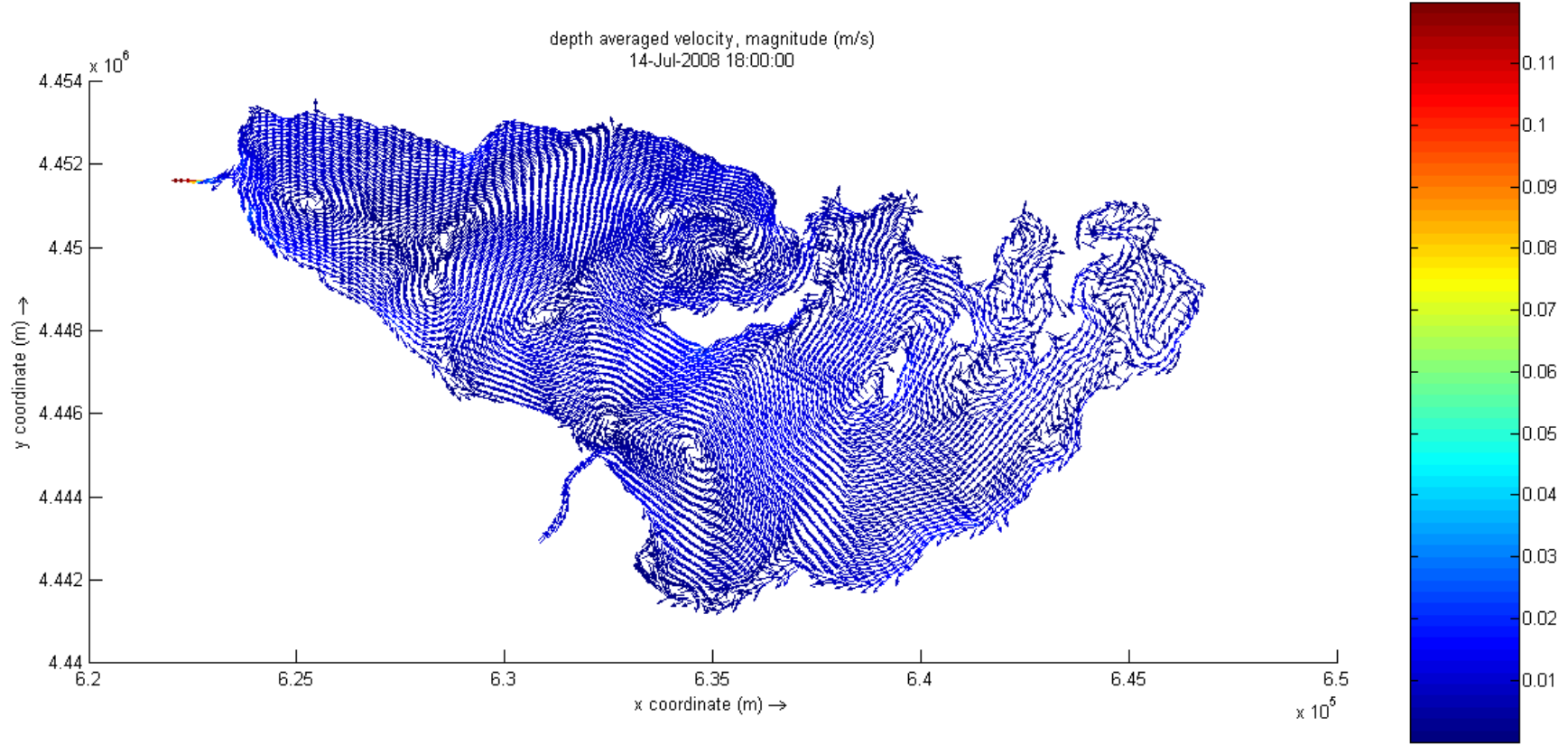


Şekil 5.11 14 Temmuz 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



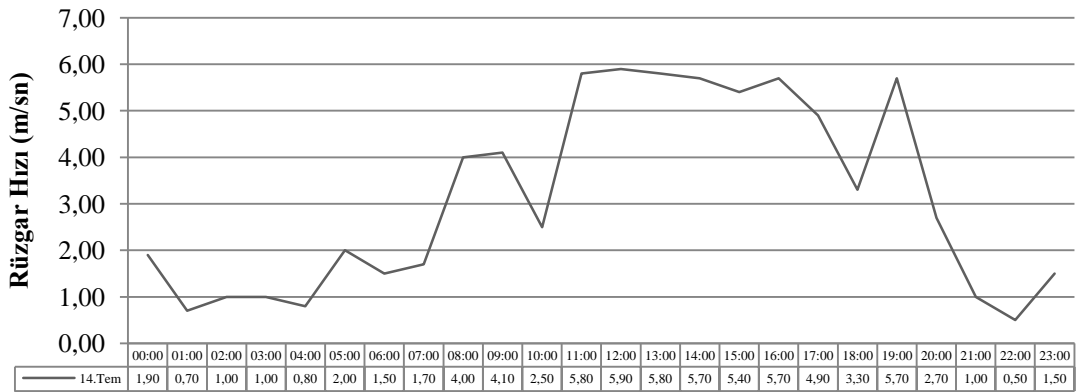


Şekil 5.12 14 Temmuz 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

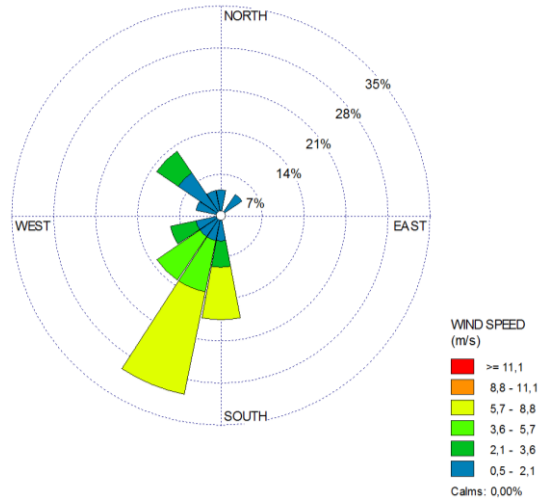


Şekil 5.13 14 Temmuz 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

Dönem içerisinde 14 Temmuz tarihi simülasyonlarında, göl çıkışındaki türbülanslar yine göze çarpmaktadır. Hakim rüzgar yönün etkisi gölün kuzey kesimlerinde akım hızındaki artışla birlikte gözlemlenebilirken, Kocasu Çayı'ndaki akış hızı saat 18:00'de 0,11 m/sn mertebesine çıkarak artış göstermiştir. Ancak sabah saatlerinde göl daha hareketliyken (0,04m/sn) akşam saatlerine doğru göl genelindeki akım hızı 0,02m/sn mertebesine düşmekte, gölün kıyı kesimlerinde daha yüksek mertebelerde gözlemlenmektedir.



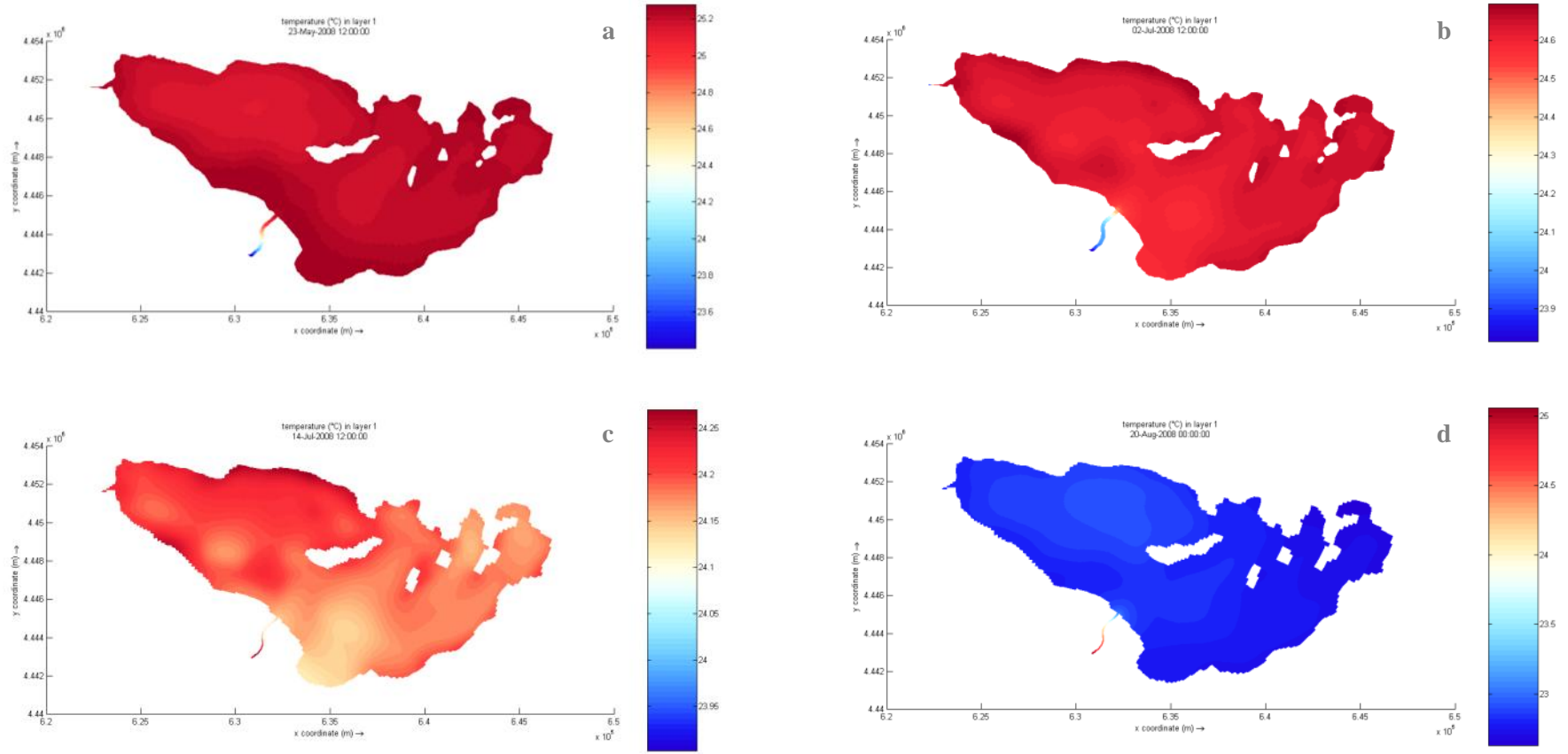
**Grafik 5.6** 14 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Hızı



**Grafik 5.7** 14 Temmuz 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

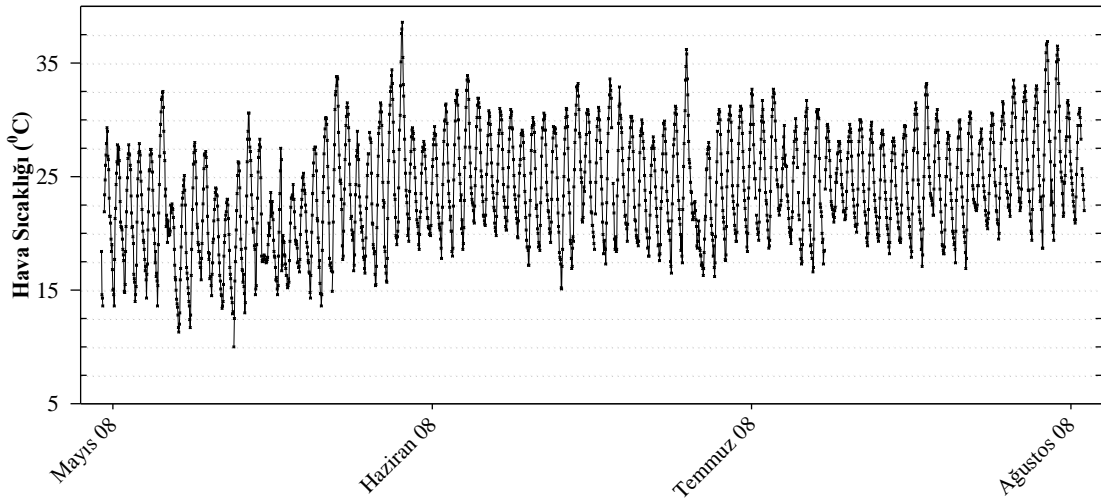
Uniform taban pürüzlülüğünde, göle giriş yapan akımlardan sonra hidrodinamik hareketlerde birincil faktör olarak karşımıza çıkan rüzgar verisi sabah saatlerinde artan hızıyla beraber göldeki etkinliğini arttırmakta ve öğlen saatlerinde en etkin hale geçmektedir. Bu nedenle sıcaklık verisinin değerlendirilmesinde simülasyonların örnekleme günlerindeki 12:00 saati ele alınmıştır.





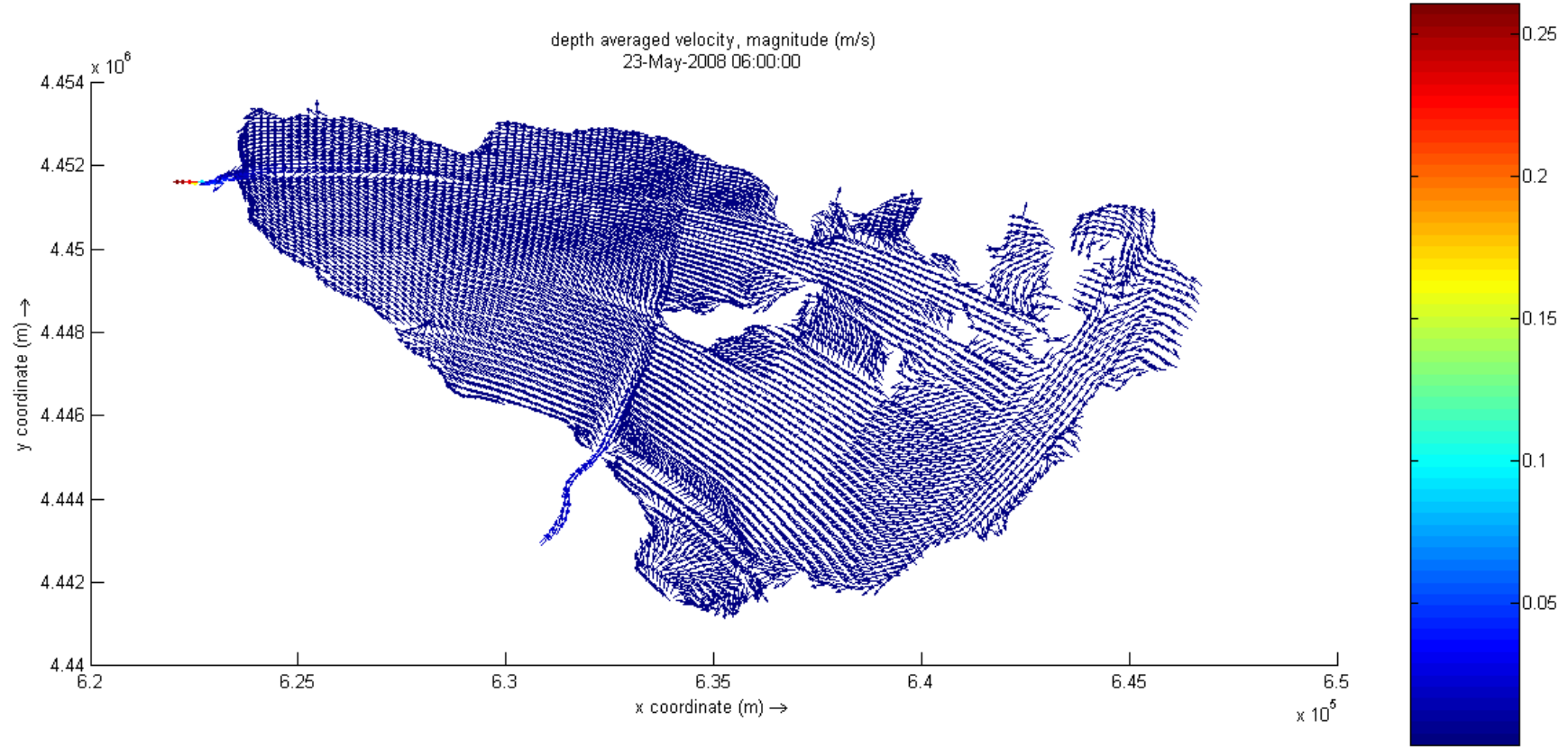
**Şekil 5.14** Dönem-1 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı  
a) 23 Mayıs b) 2 Temmuz c) 14 Temmuz d) 20 Ağustos

Göldeki sıcaklık dağılımı, 23 Mayıs tarihinde 25°C mertebesindeyken, MKP Çayı'ndan göle gelen akım 23,5 °C'dir. Geçen zamanla beraber gelen akım, göle ulaştıkça gölde özellikle sığ kesimleri daha çabuk soğutmaktadır. Gölün en derin bölgesi olan 3. istasyon çevresinde su sıcaklığı göldeki en düşük seviyededir. Simülasyonun 14 Temmuz tarihinde MKP Çayı'ndan gelen akım Halilbey adası ile karşılaştığında yön değiştirerek tekrar geliş yönüne dönmektedir. Bununla beraber adanın kuzey kesiminden gelen diğer akım da bu akıma karışarak bir türbülans oluşturmaktadır, bu hareket de suda sıcaklığın azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Hava sıcaklığı dönem içerisinde 3°C artış göstermiş olmasına rağmen, göldeki su sıcaklığı hemen hemen 3°C azalmıştır.

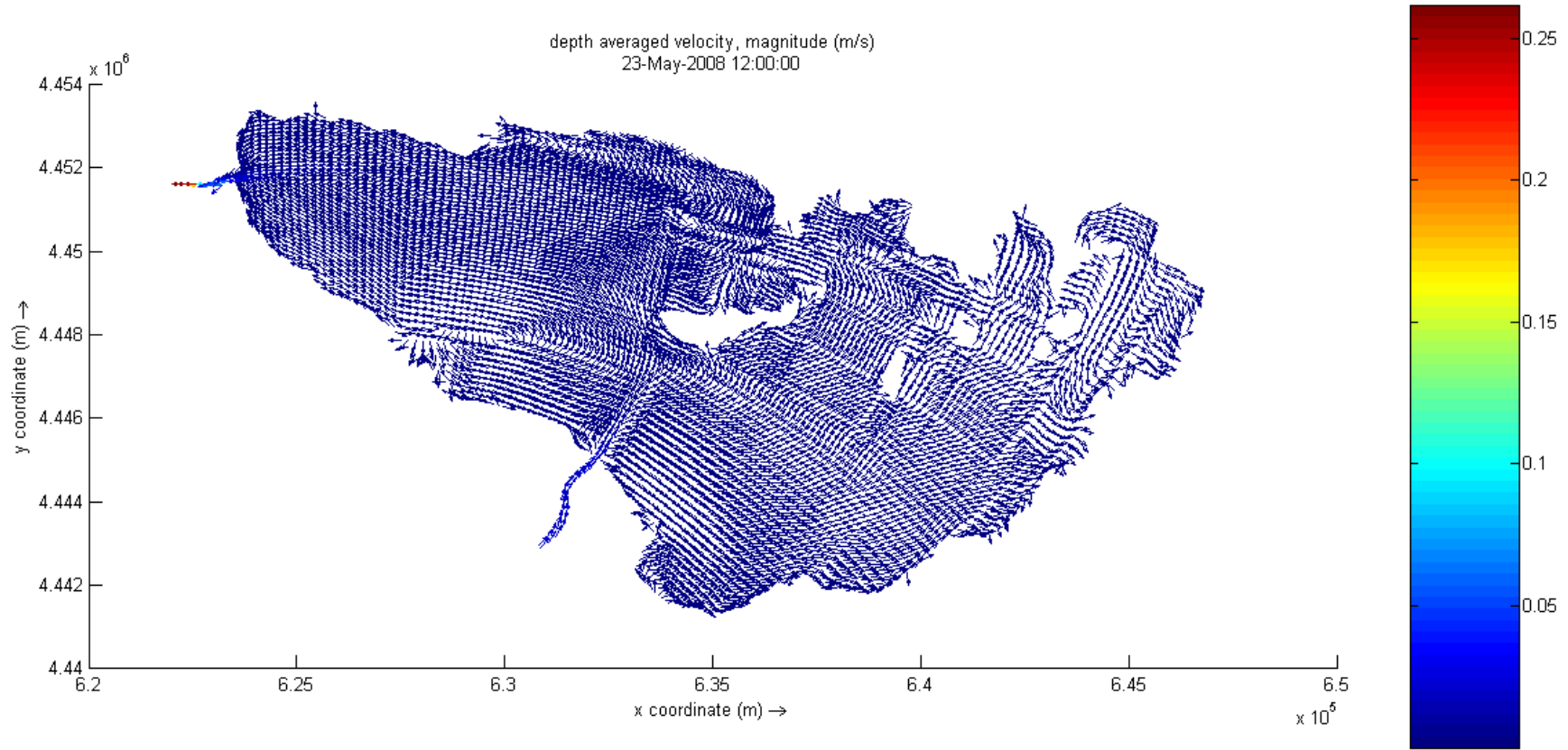


**Grafik 5.8** Dönem-1'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi

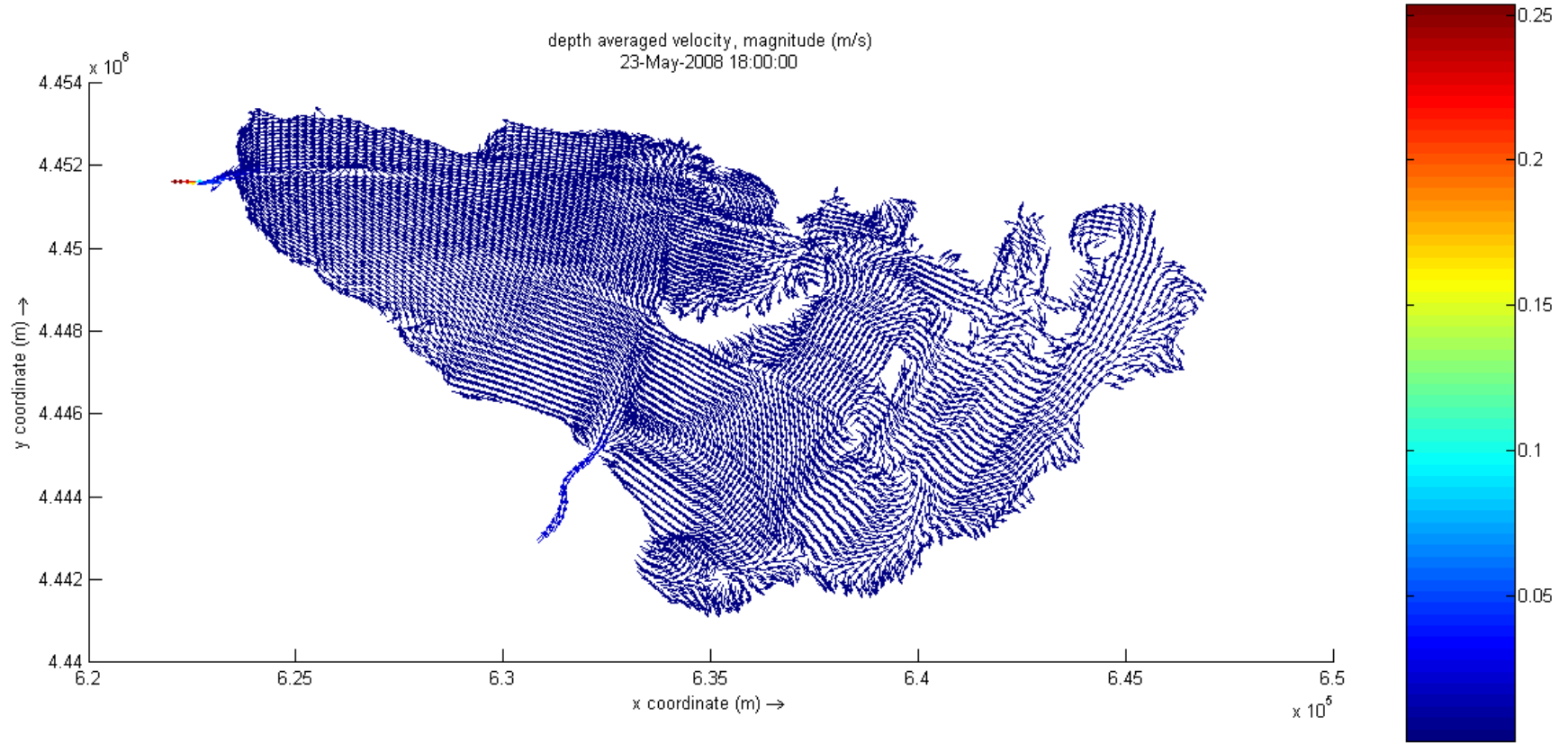
Gölde bulunan vejetasyona bağlı olarak değişken yatak pürüzlülüğünde çalıştırılan simülasyonun (S2) 23 Mayıs tarihinde elde edilen akım hızı büyüklükleri Şekil 5.15-5.16-5.17'de gösterilmiştir. Göl genelindeki akım hızı 0-0,05 m/sn mertebesinde iken, S1'den farklı olarak gölün en derin bölgesi olan 3. istasyon ve çevresinde akım hızı 0,4 m/sn üzerinde görülmektedir. Bununla beraber pürüzlülüğün değiştiği noktalarda ve kıyı şeridinde akım yönlerinde değişimler oluşmaktadır. Ancak S1'de artan rüzgar hızı ile akım hızının da hakim rüzgar yönü doğrultusunda arttığı gözlenmişken, S2'de saat 18:00'de akım hızının mertebesinin S1 ile aynı olduğu buna karşın, gölün yüzeyindeki türbülans oluşumlarının arttığı söylenebilmektedir.



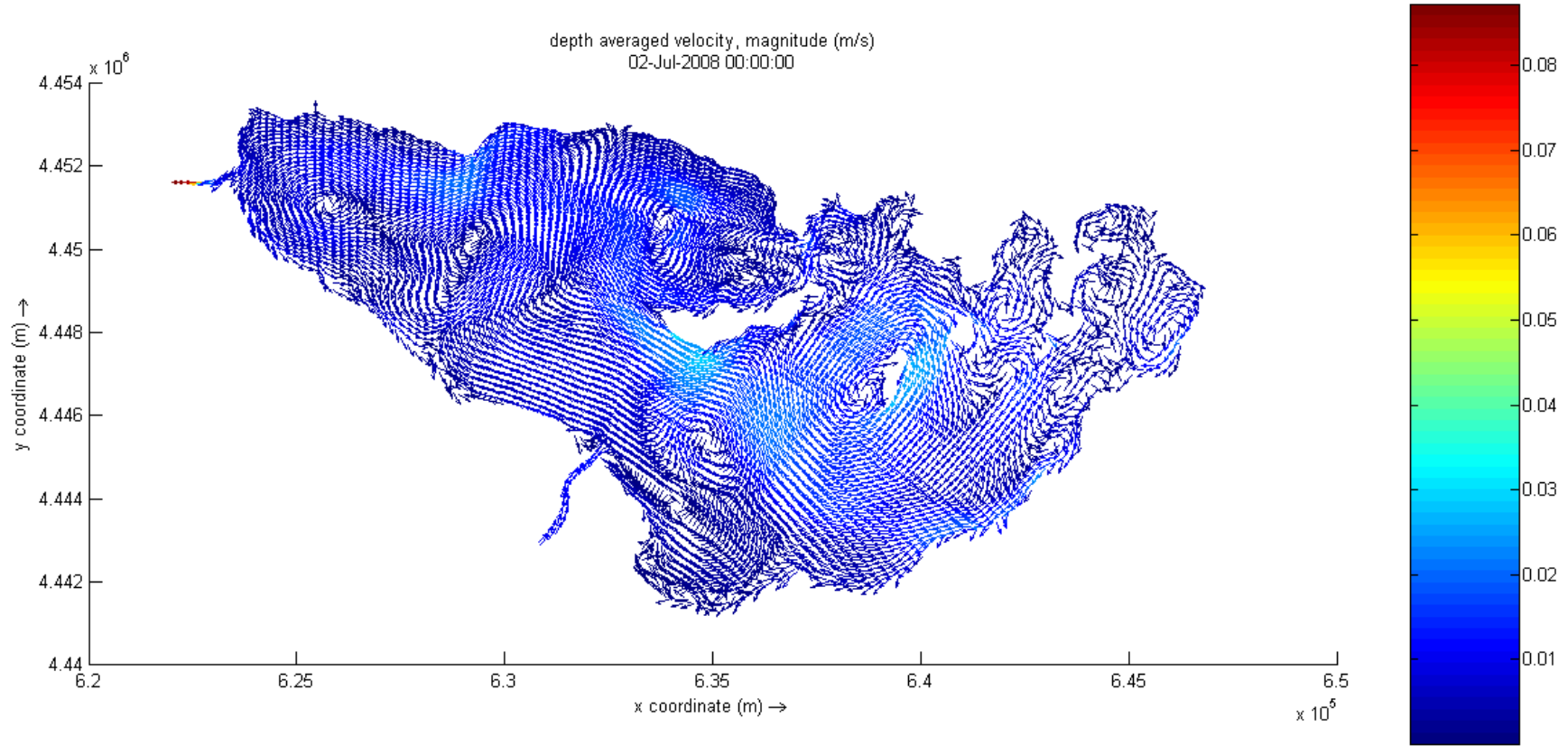
Şekil 5.15 23 Mayıs 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.16 23 Mayıs 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

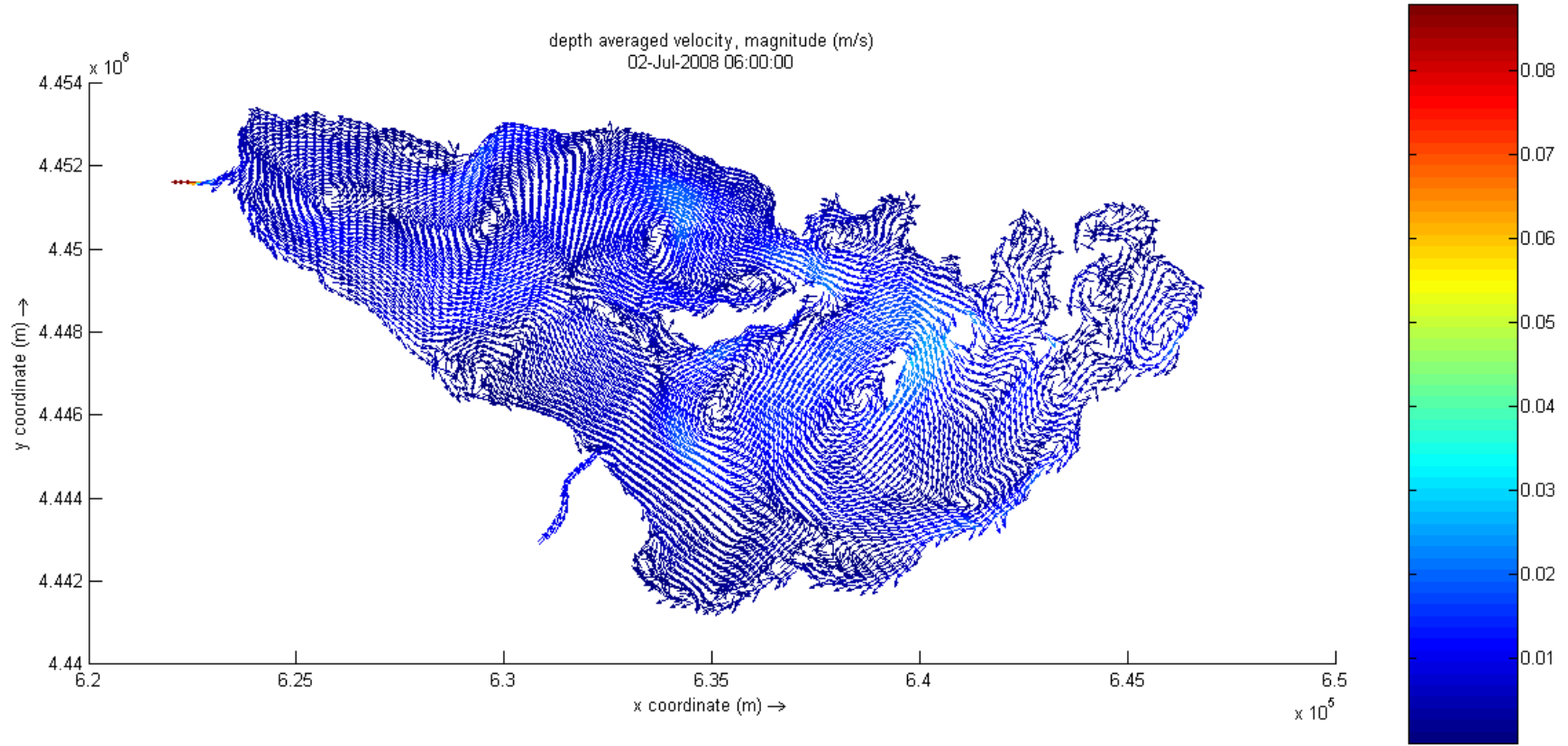


Şekil 5.17 23 Mayıs 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

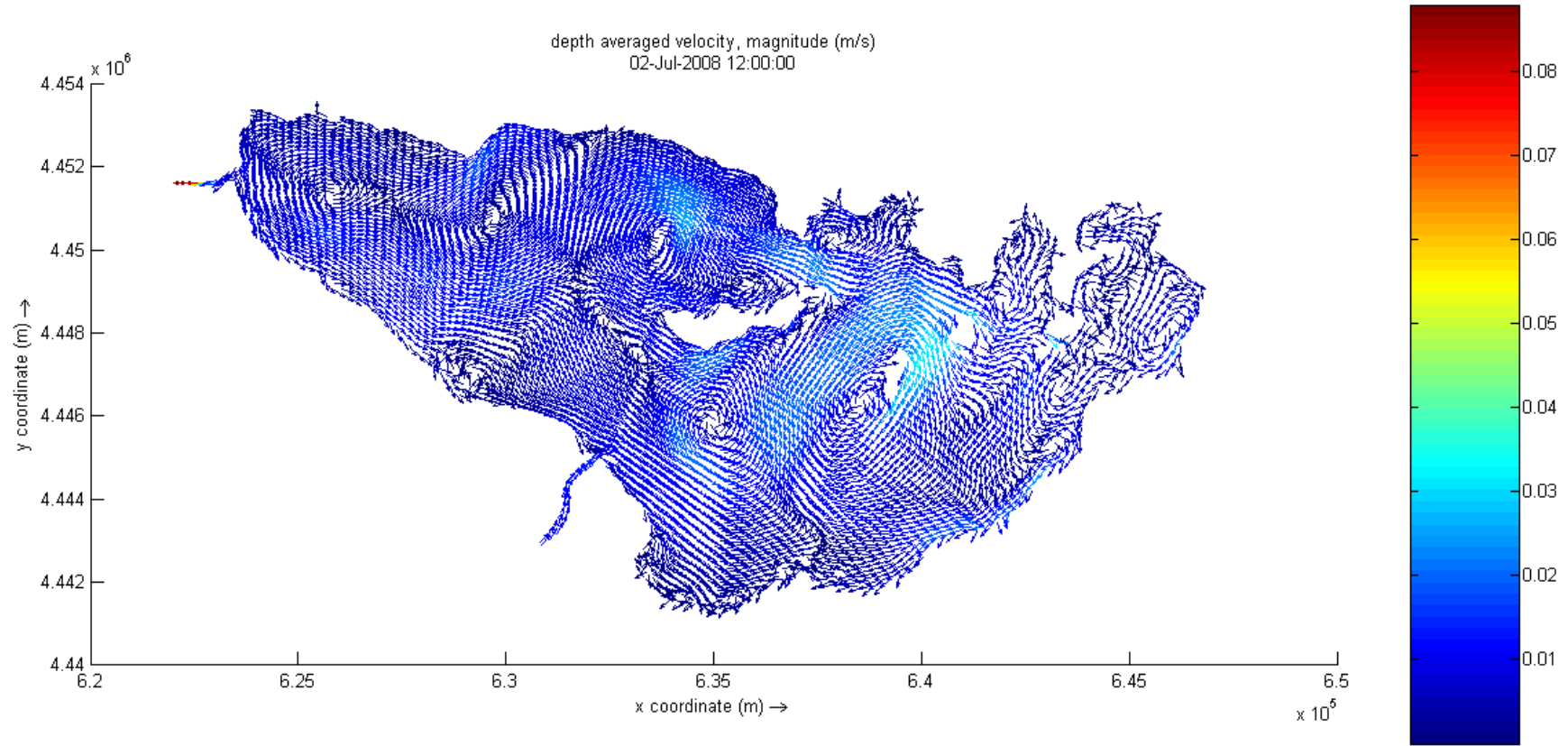


Şekil 5.18. 2 Temmuz 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



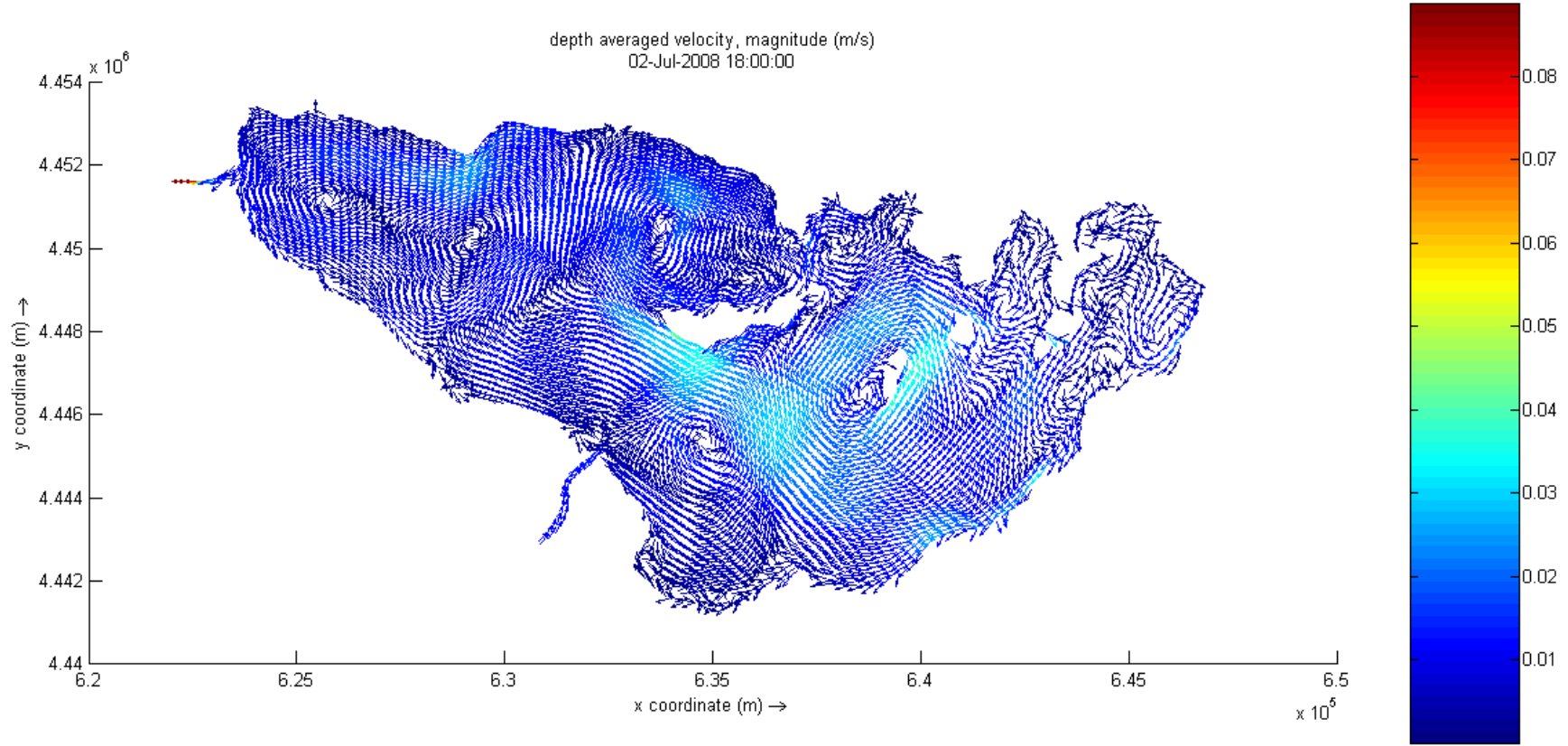


Şekil 5.19 2 Temmuz 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.20 2 Temmuz 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı





Şekil 5.21 2 Temmuz 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

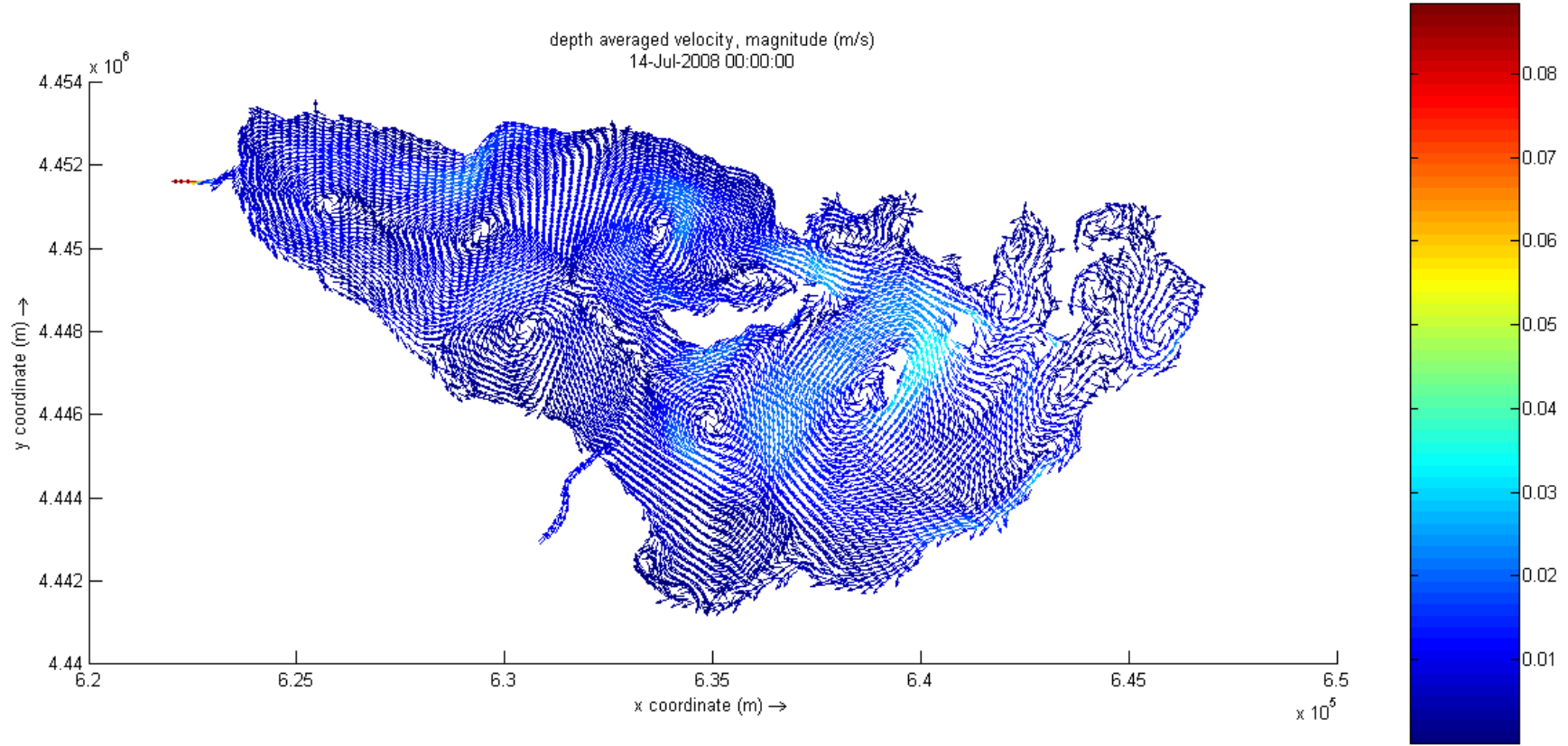
S2 şartlarında 2 Temmuz tarihinde gölün vejetasyon olmayan bölgelerinde 0,04 m/sn'ye ulaşan akım hızı, vejetasyon olan bölgelerde 0,01 m/sn'nin altına düşmüştür. Kocasu Çayı'ndaki akım hızı ise S1 şartlarındaki akım hızıyla aynı seviyede gözlemlenmiştir. Günün ilerleyen saatlerinde ise, artan rüzgar hızının da etkisiyle su yüzeyinde akıntı yönünün bölge bölge değiştiği, bununla beraber özellikle gölün güney kesimindeki sazlık ve Akçalar tarafındaki bölgelerde düşük akım hızlarında türbülanslar oluşmaktadır.

2 Temmuz tarihindeki rüzgar saat 10:00'dan sonra şiddetini arttırmış ve saat 19:00'dan sonra etkisini yitirmeye başlamıştır. Bu etkili rüzgarla beraber Halilibey adasının kuzeyi ile Manastır ve Terzioğlu adacıkları arasında akım hızında 0,04 m/sn'ye kadar artış görülmektedir.

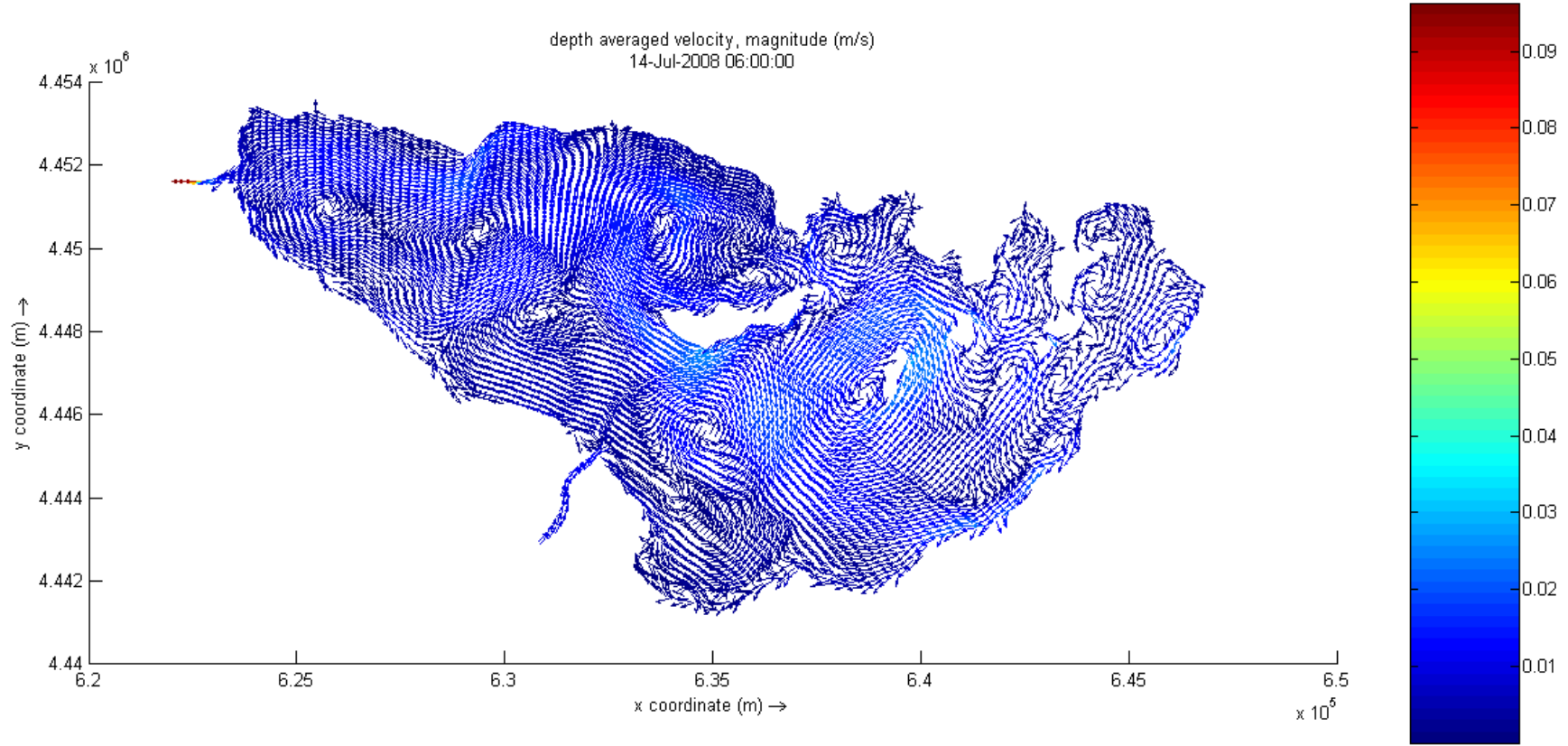
Taban pürüzlülüğün akım hızı üzerindeki etkisi 14 Temmuz tarihinde daha belirgin görülmeye başlanmıştır. Özellikle MKP Çayı girişindeki ve gölün kuzey kesimindeki sazlık bölgede akım hızı 0,01m/sn'nin de altına olduğu bununla beraber Kocasu Çayı'ndaki akım hızının günü ilerleyen saatlerinde 0,1 m/sn'ye ulaştığı görülmektedir. 16:00'dan sonra etkisini yitiren rüzgarla beraber göl yüzeyindeki türbülanslar da azalmıştır.

Araştırmaları sırasında Partanen ve Hellsten (2005) su üstü makrofitlerin yoğun olduğu bölgelerde; Wallsten ve Forsgren (1989), Beklioğlu (2007) ise batık makrofitlerin yoğun olduğu bölgelerde düşük akım hızları elde etmişlerdir. Wang ve Wang (2011) su üstü ve batık makrofitleri birlikte incelediği çalışmasında, makrofit yoğunluğunun arttığı bölgelerde akım hızlarının düştüğü sonucuna ulaşmış, ancak bu sucul vejetasyonların hidrodinamik etkisini hesaba katıldığı ve katılmadığı model sonuçları arasında önemli değişiklikler olmadığını vurgulamışlardır.

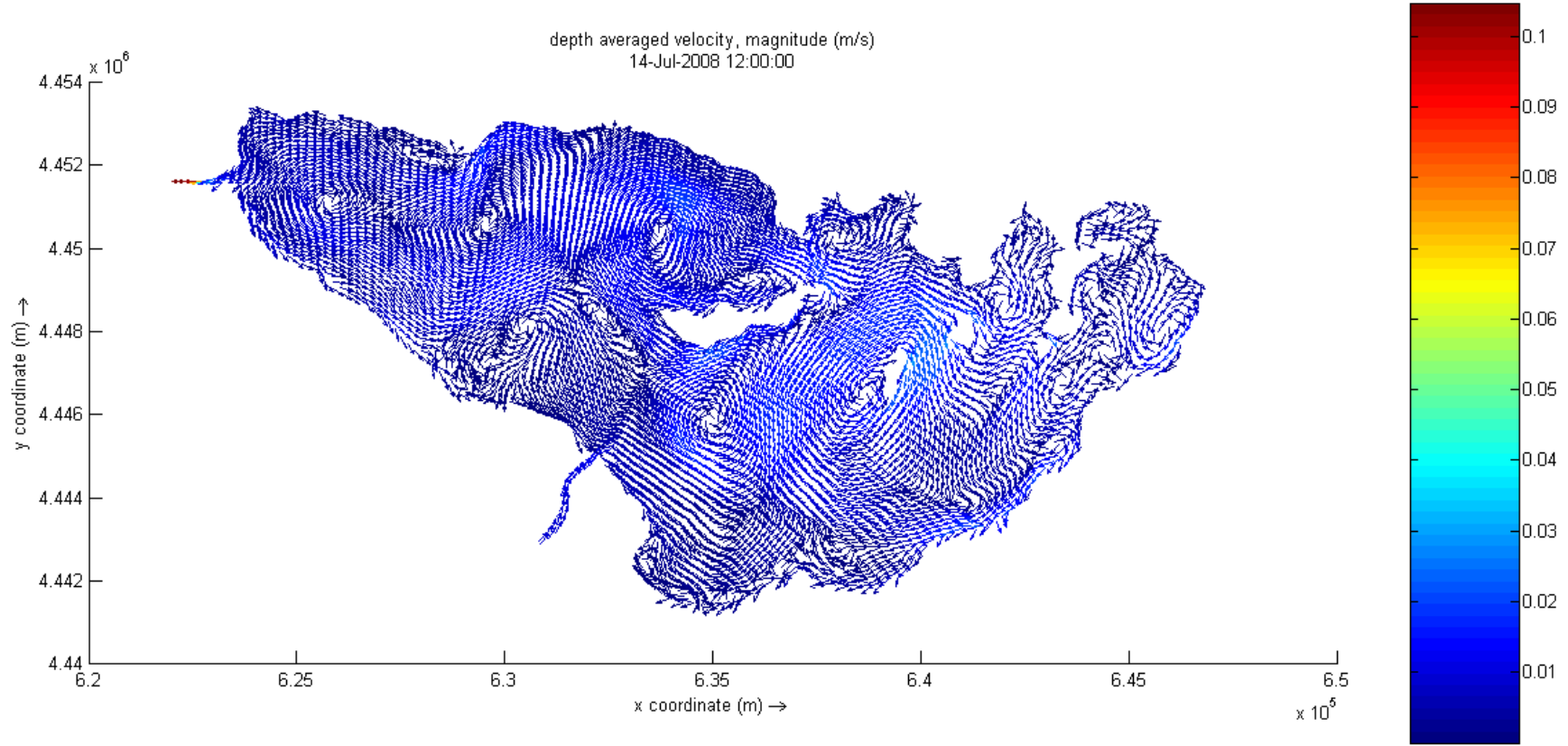
Çalışmamızda da dönem-1 için vejetasyon tanımladığımız bölgelerde akım hızının, tanımlanmayan bölgelere göre daha düşük olduğu görülmektedir.



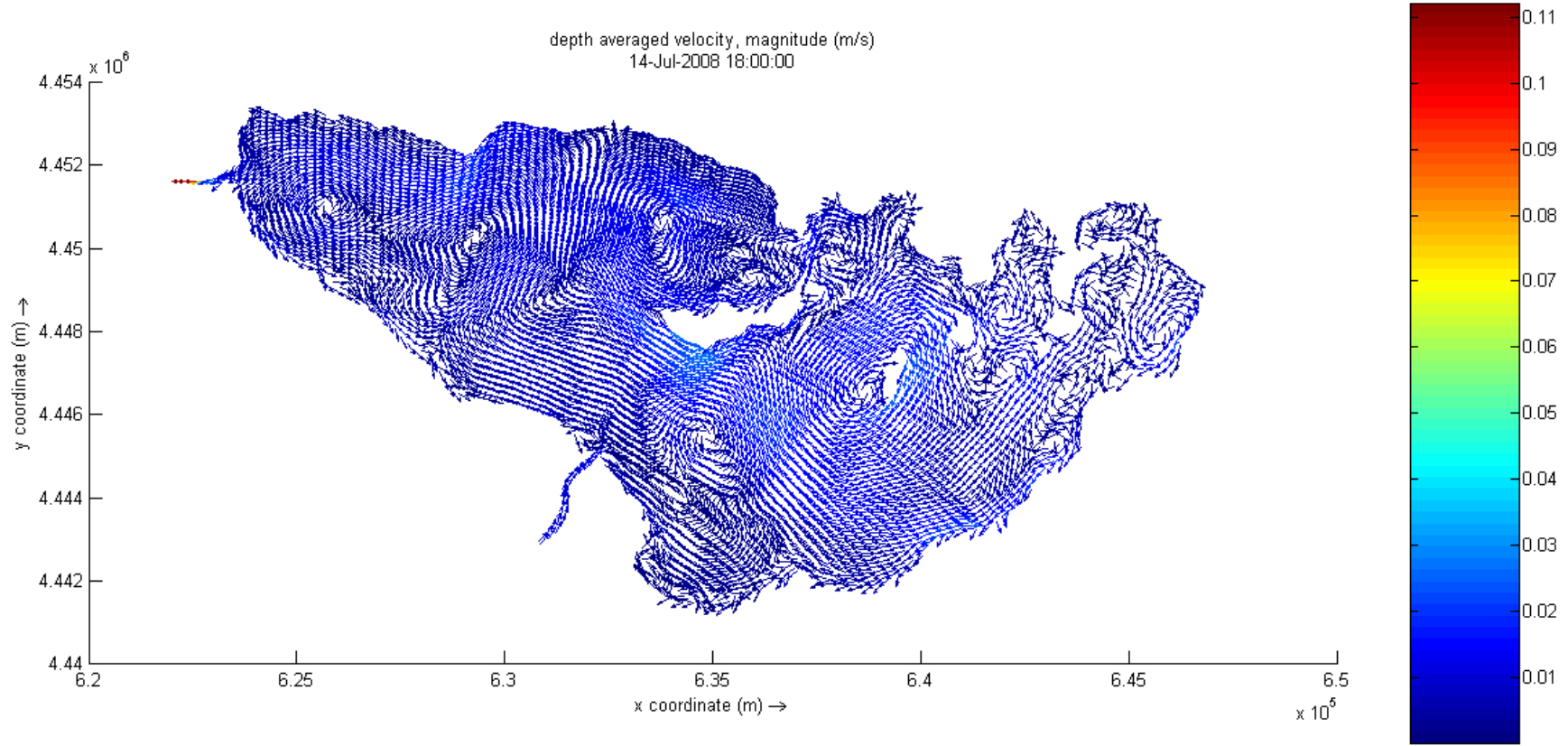
Şekil 5.22 14 Temmuz 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.23 14 Temmuz 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

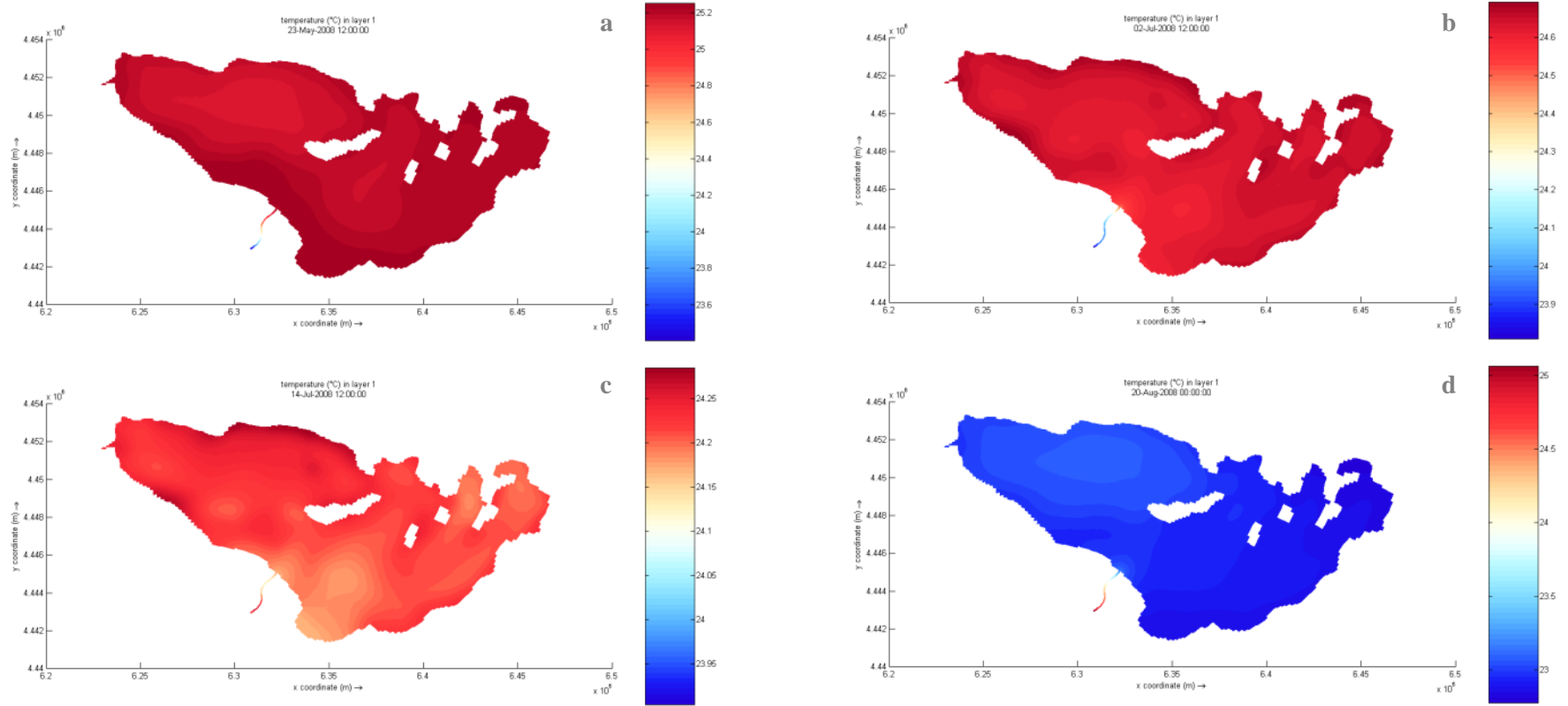


Şekil 5.24 14 Temmuz 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.25 14 Temmuz 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı





Şekil 5.26 Dönem-1 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı

a) 23 Mayıs b) 2 Temmuz c) 14 Temmuz d) 20 Ağustos

Dönem-1'deki rüzgar etkinliğine göre saat 12:00'daki simüle edilen sıcaklık verilerinin zamansal kıyaslanması için Şekil 5.26'ya bakılmaktadır. Taban pürüzlülüğündeki değişimin sıcaklık üzerinde etkisinin görülmesi amacıyla Şekil 5.14 ile karşılaştırıldığında pürüzlülüğün sıcaklık üzerine etkisi görülmemektedir. Akım hızı ve yönü ile sıcaklık değişiminin dönem içerisinde daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla oluşturulan simülasyonlar Ek-1'de gösterilmiştir.

### 5.2.2. Dönem-2

Modelleme sürecinin 2.dönemi, 20 Ağustos 2008 ile 28 Kasım 2008 tarihlerini kapsarken ilk dönemde olduğu gibi 4 adet örnekleme gününü içine almaktadır. Ekim ayında dönemin maksimum seviyesine ulaşarak göldeki su seviyesini arttıran yağmur nedeniyle ilk dönemden farklı bir grid ağı ve farklı batimetri tanımlanmıştır. Bu nedenle Courant sayısı ile zaman aralığı arasındaki ilişkiyi değerlendirip, zaman aralığının belirlenmesi gerekmektedir. QUICKIN modülünde, 15 dk'lık zaman aralığı için göl genelinde Courant sayısı 31,74 değerini alırken 5 dk'lık zaman aralığı için 10,58 değerini aldığı Şekil 5.27'de görülmektedir. Zaman aralığı için 1 dk verildiğinde Courant sayısı 2,12'ye düşmesine rağmen simülasyonun işletim süresi çok uzamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında Anonim (2010) tarafında belirlenen sınır şarttan büyük olmasına karşın simülasyon süreci düşünülerek 5 dk'lık zaman aralığı Dönem-2 için uygun bulunmuştur.

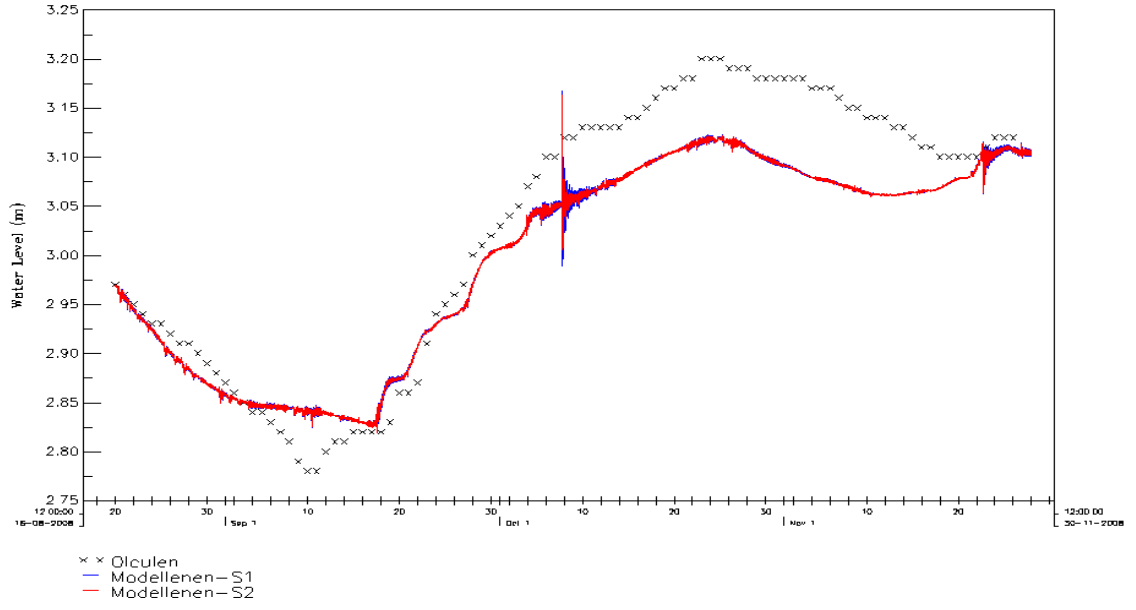




**Şekil 5.27** Dönem-2 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı Arasındaki İlişki

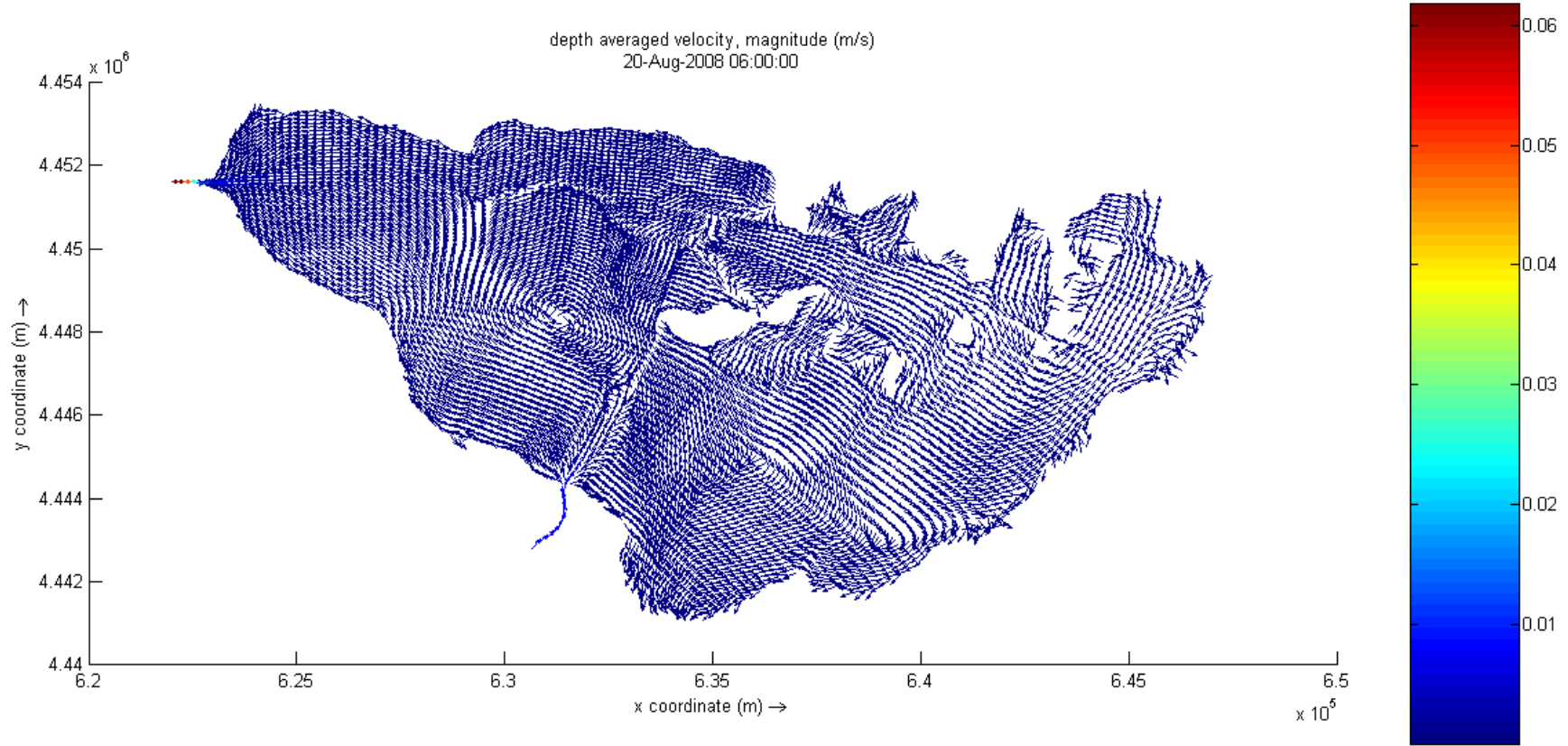
Dönem-2'ye ait sürtünme katsayılarının tahminlenmesine yönelik senaryo ve arazi ölçüm sonuçları Grafik 5.9'da karşılaştırılmıştır. Ülkemizdeki sığ göllerde yaptığı çalışmasında Beklioğlu (2007) batık makrofit yoğunluğunun fazla olduğu dönemlerde göllerdeki su seviyesinin düşük olduğunu vurgulamış olmasına karşın dönem-1'de olduğu gibi ölçülen ve modellenen veriler aynı trendi izlemektedirler. Bunun yanı sıra model sonuçlarında 8 Ekim tarihine denk gelen su seviyesinde bir sıçrama söz konusudur. Ancak pürüzlülüğün değerlendirilmesi amacıyla yürütülen simülasyonlarda Dönem-1'de olduğu gibi majör bir farklılık gözlemlenmemiştir.

20 Ağustos, 16 Eylül, 30 Ekim ve 28 Kasım 2008 tarihlerinde yapılan izleme çalışmalarından edinilen veriler, model sonuçlarının yorumlanmasında yardımcı olacağından örnekleme günlerine ait simülasyon çıktıları değerlendirilmiştir.

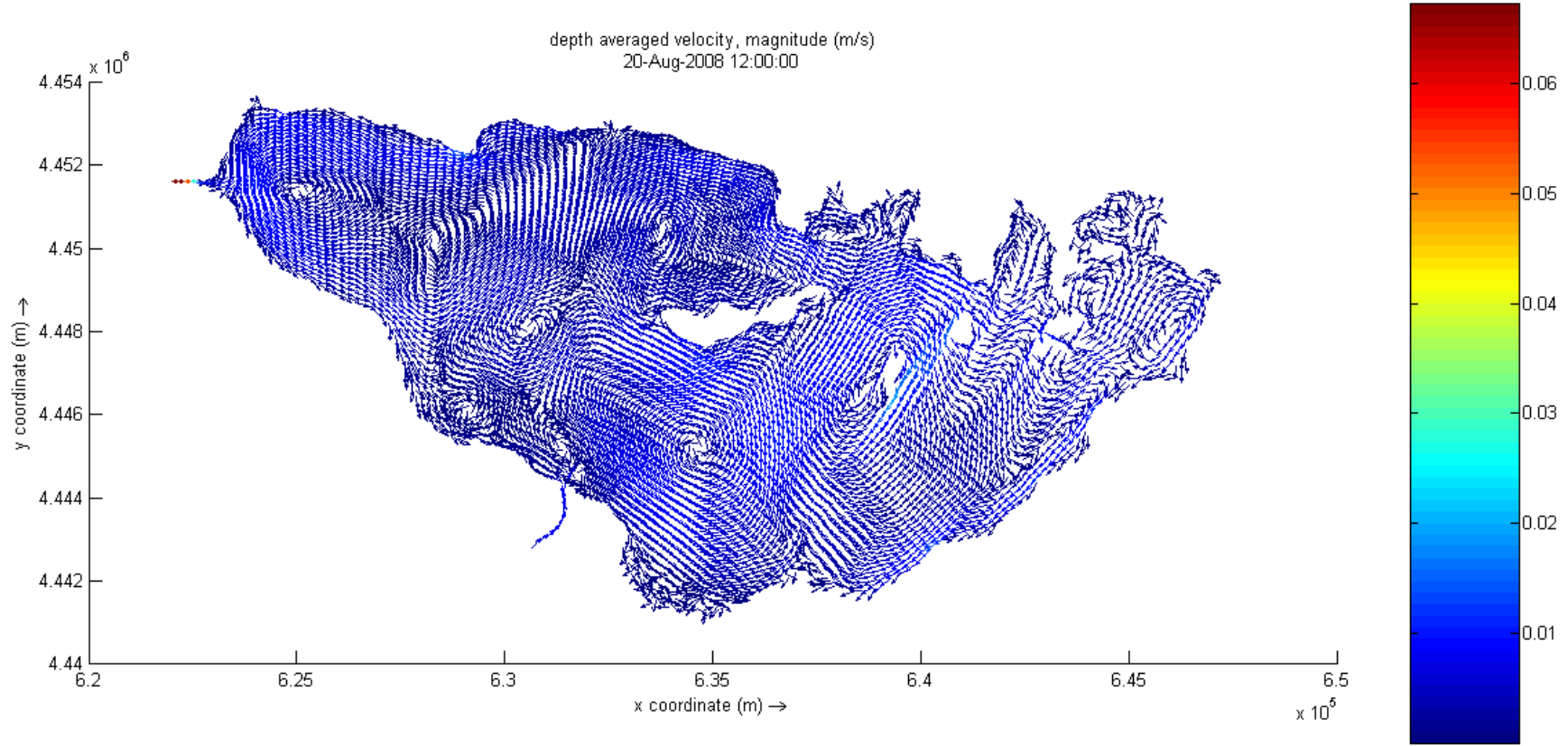


**Grafik 5.9** 20 Ağustos – 28 Kasım Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması

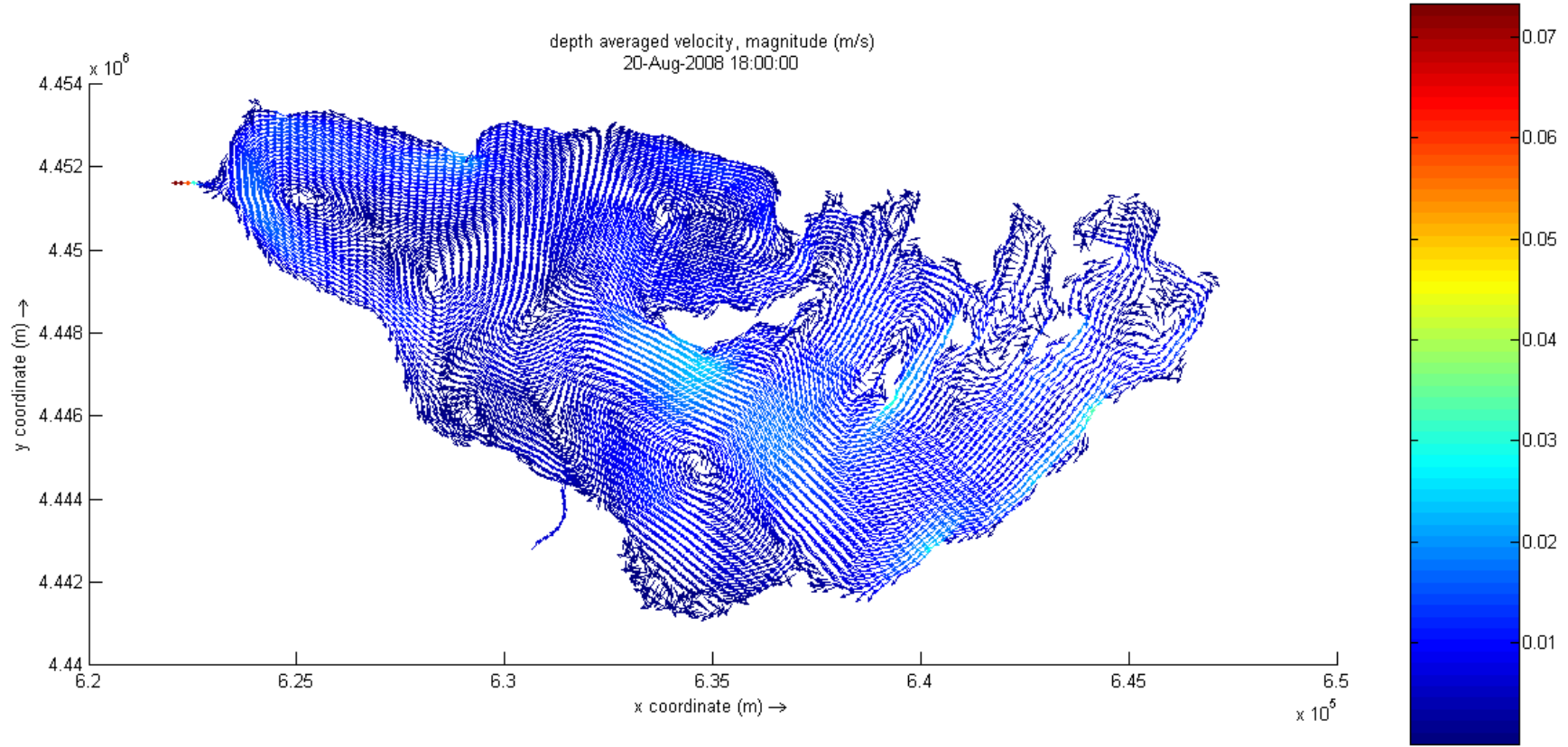
Simülasyon sürecinin ilk saatlerinde göldeki akım hızlarındaki değişkenlik Şekil 5.28-5.29-5.30’da görülmektedir. Akım hızı değerleri S1 koşulu altında 0-0,02 m/sn mertebesinde olup Kocasu Çayı’nda 0,06 m/sn’ye ulaşmaktadır. Ancak günün ilerleyen saatlerinde akım hızı 0,01 m/sn’ye gerilemiş, artan rüzgar hızıyla beraber ise gölün farklı bölgelerinde yüzeysel türbülanslar oluşmuş ve bu bölgelerdeki akım hızlarının 0,03 m/sn mertebesinde seyrettiği görülmüştür.



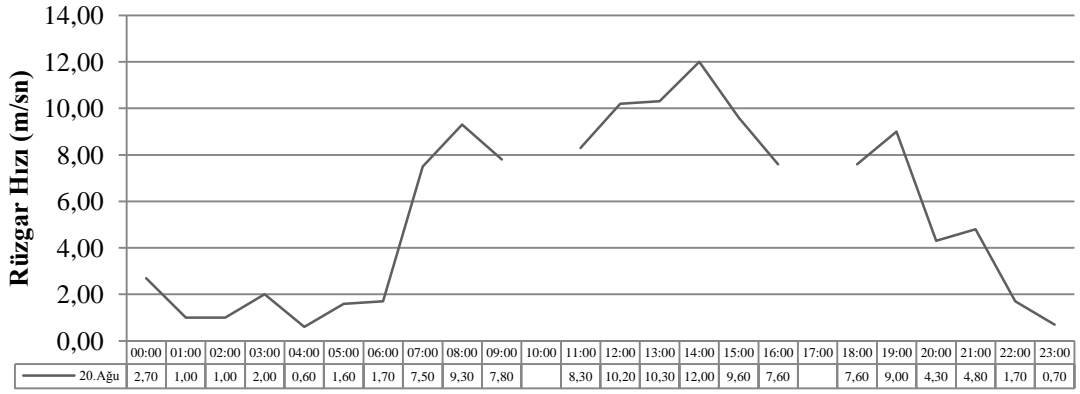
Şekil 5.28 20 Ağustos 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



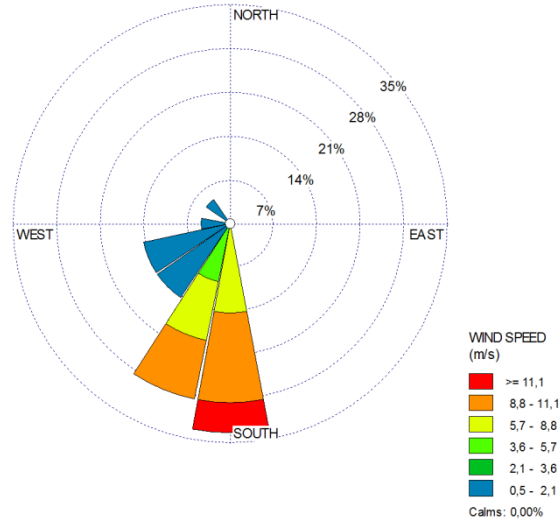
Şekil 5.29 20 Ağustos 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.30 20 Ağustos 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

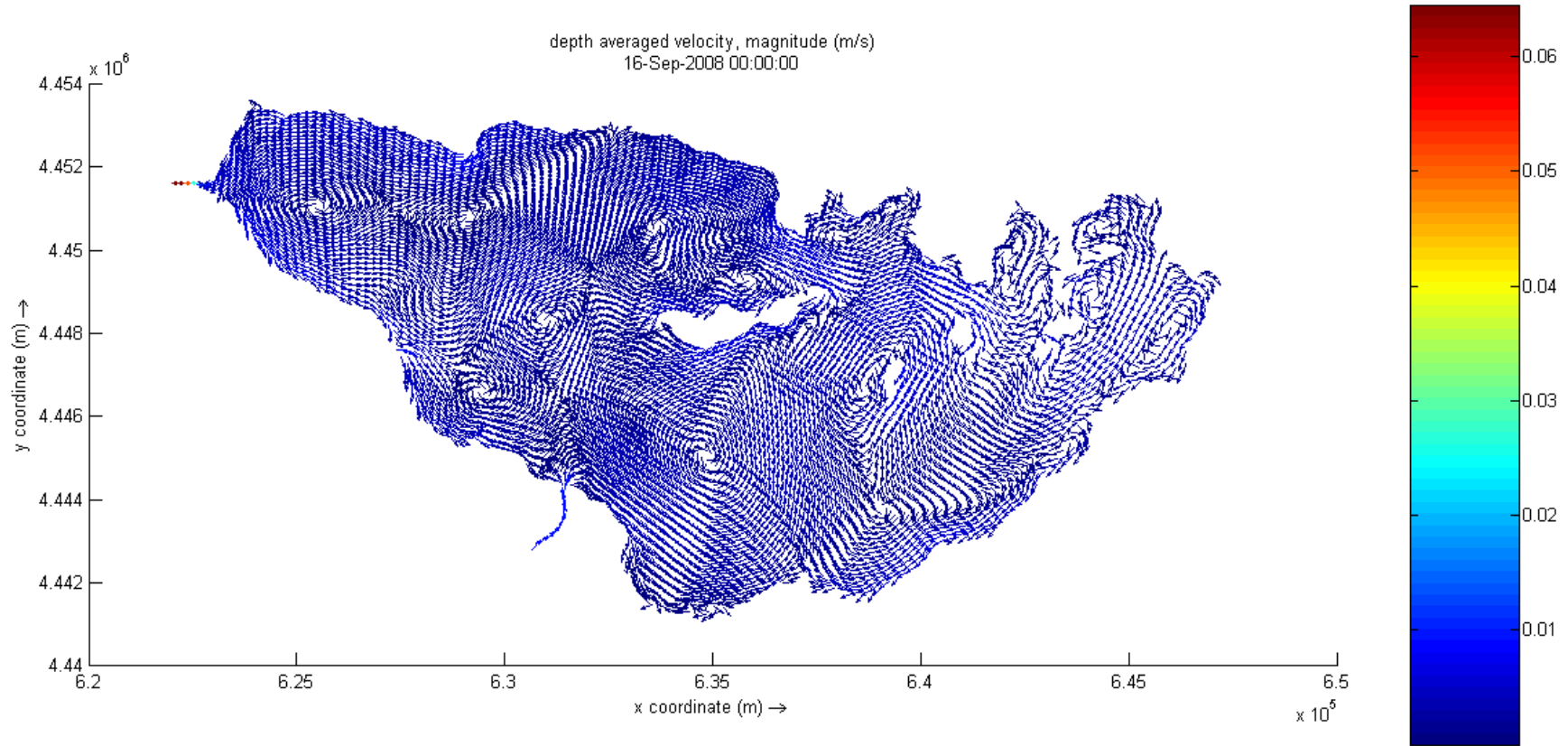


**Grafik 5.10** 20 Ağustos 2008 Günü Rüzgar Hızı



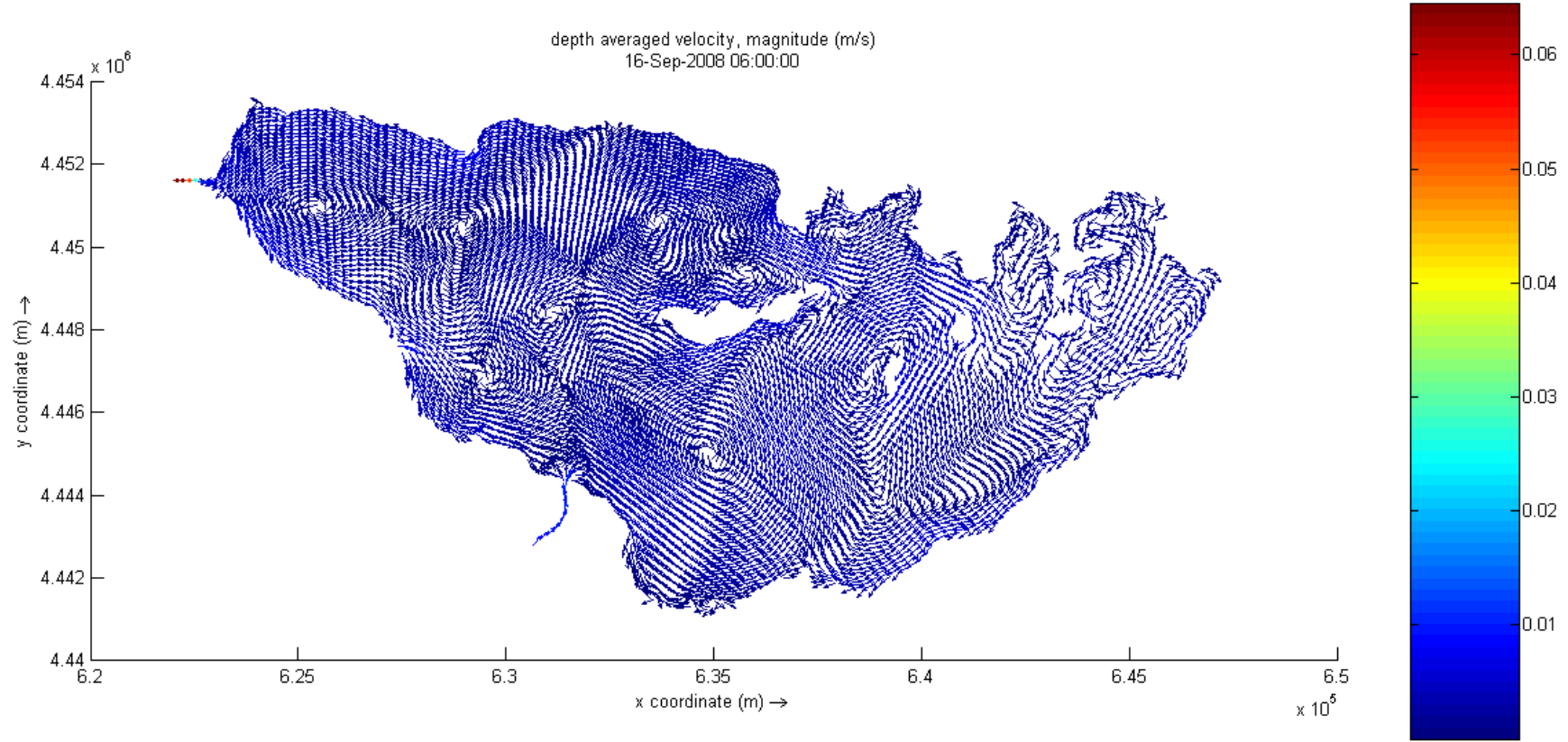
**Grafik 5.11** 20 Ağustos 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

Dönemin 16 Eylül örnekleme gününe bakıldığında göl içerisindeki akım hızı değerlerinin 20 Ağustos tarihindeki değerlerde seyrettiği görülmektedir. Adaların etrafından dolanan akımların karşılaşmaları sonucu küçük boyutlarda dalgalanmalar gözlenebilmektedir. Özellikle rüzgarın etkisinin arttığı öğle saatlerinde yüzey hareketlerinin arttığı, saat 13:00'dan sonra etkisini yitiren rüzgarla beraber, saat 18:00'da edinilen çıktıda göl suyunun durgunlaştığı tespit edilmiştir. Güney batıdan esen hakim rüzgarların etkisi gölün batı kesimindeki yüzey hareketlerinden anlaşılmaktadır.



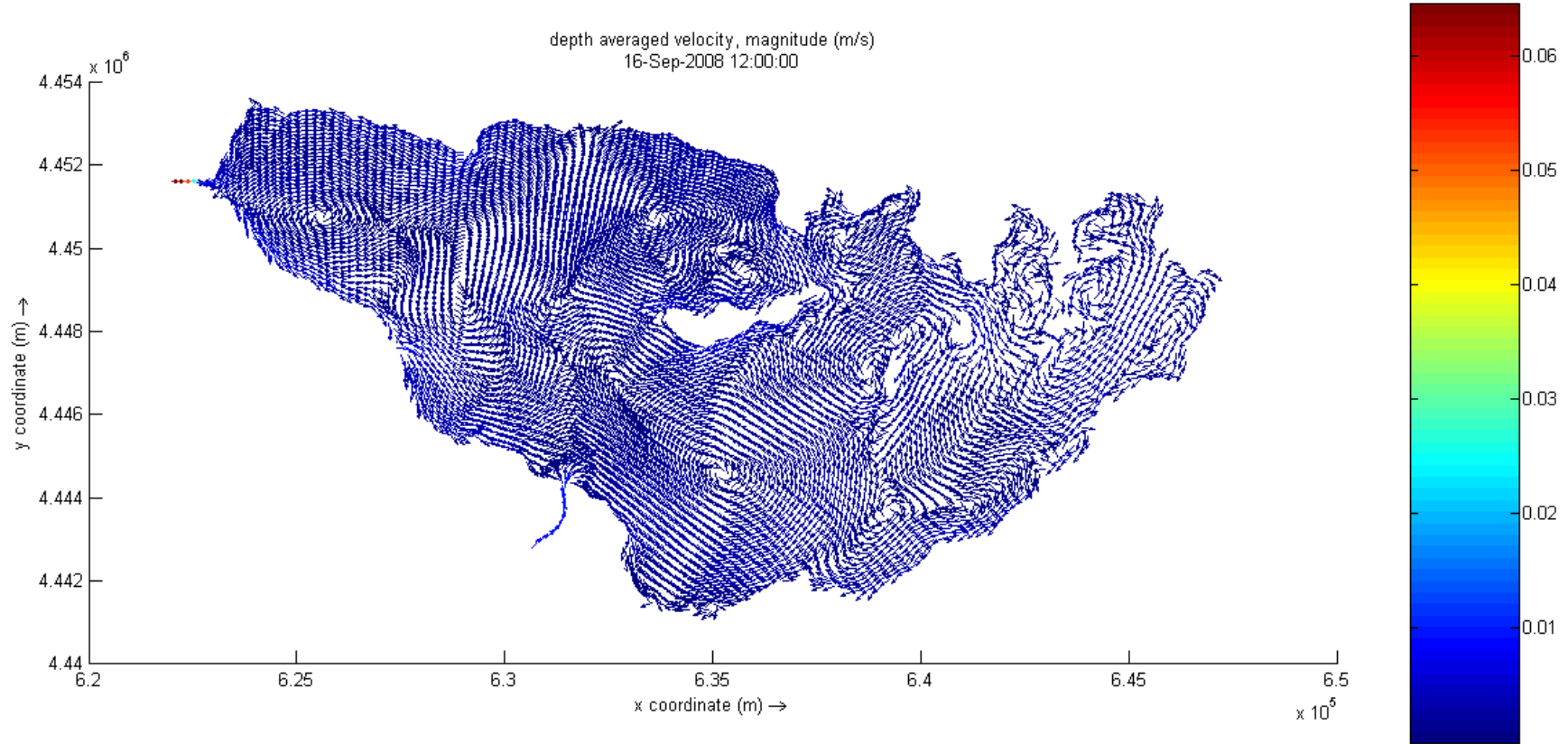
Şekil 5.31 16 Eylül 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



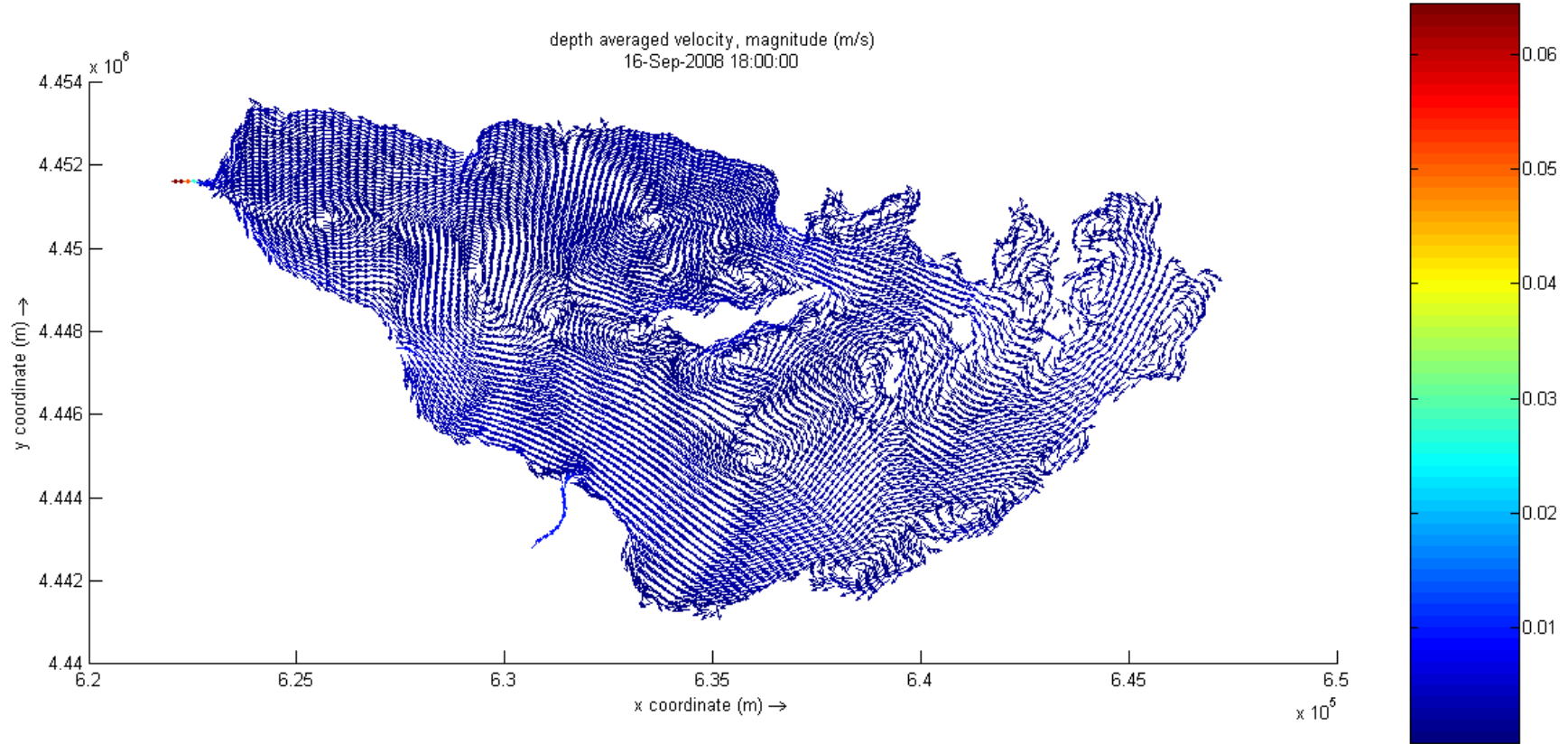


Şekil 5.32 16 Eylül 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

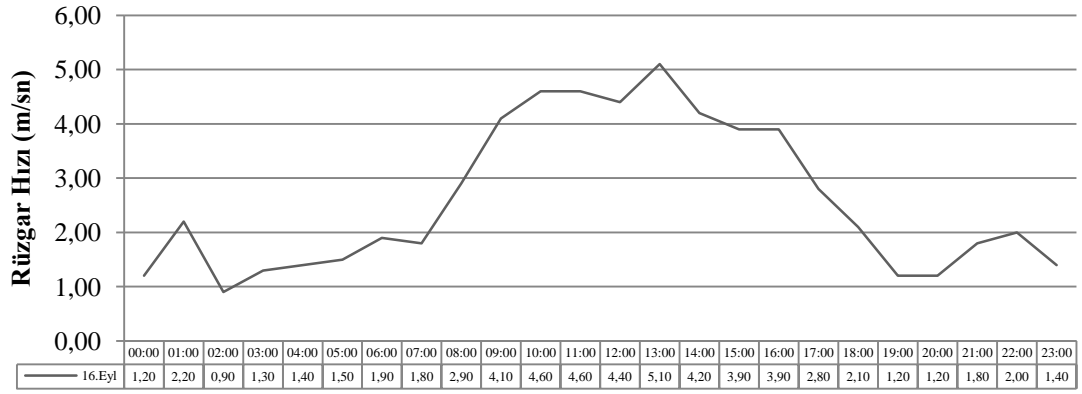




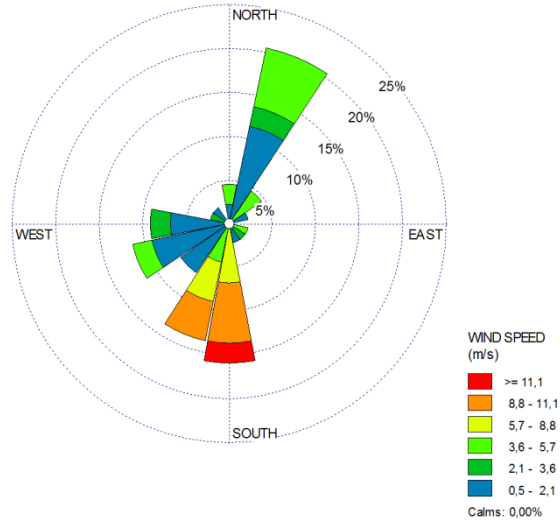
Şekil 5.33 16 Eylül 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.34 16 Eylül 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

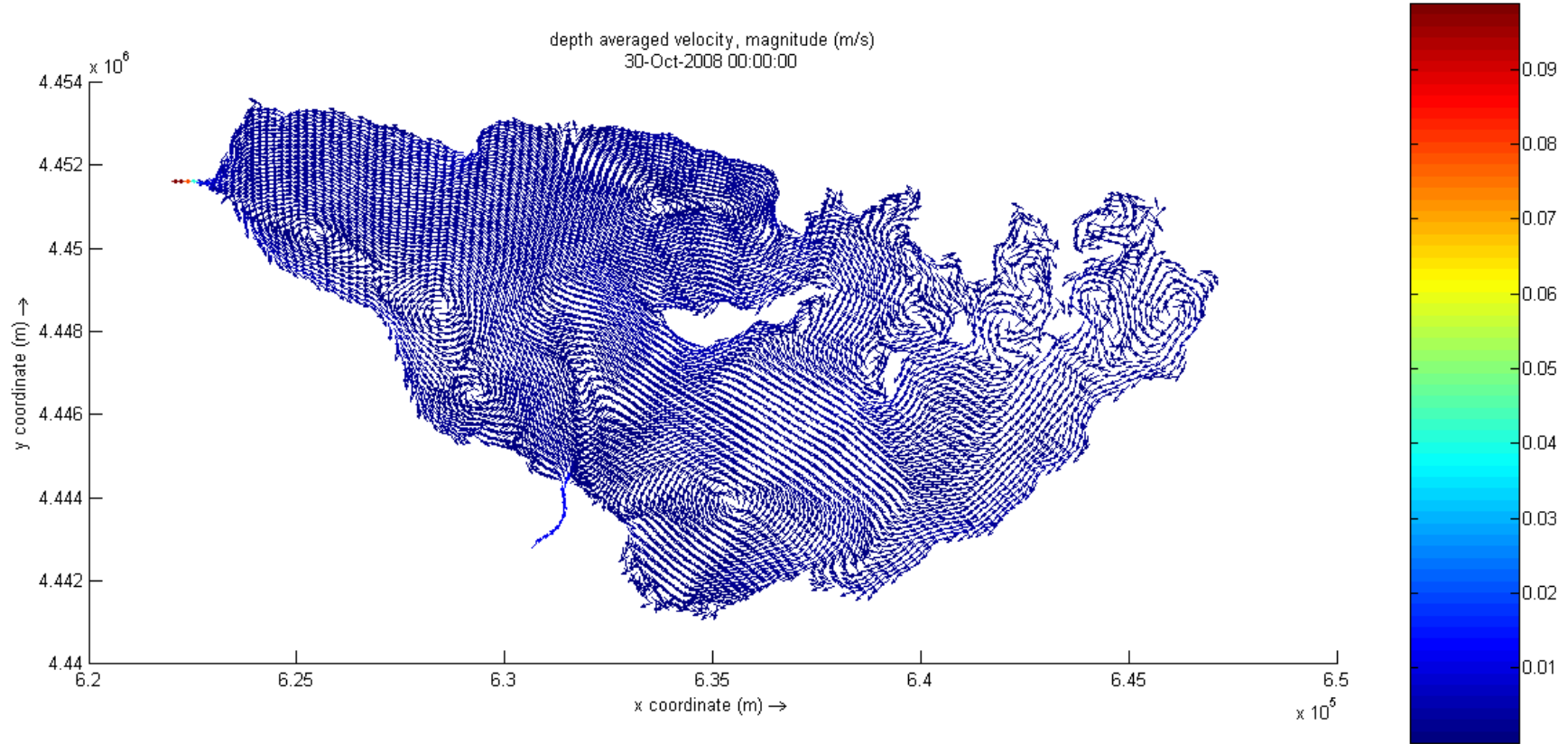


**Grafik 5.12** 16 Eylül 2008 Günü Rüzgar Hızı

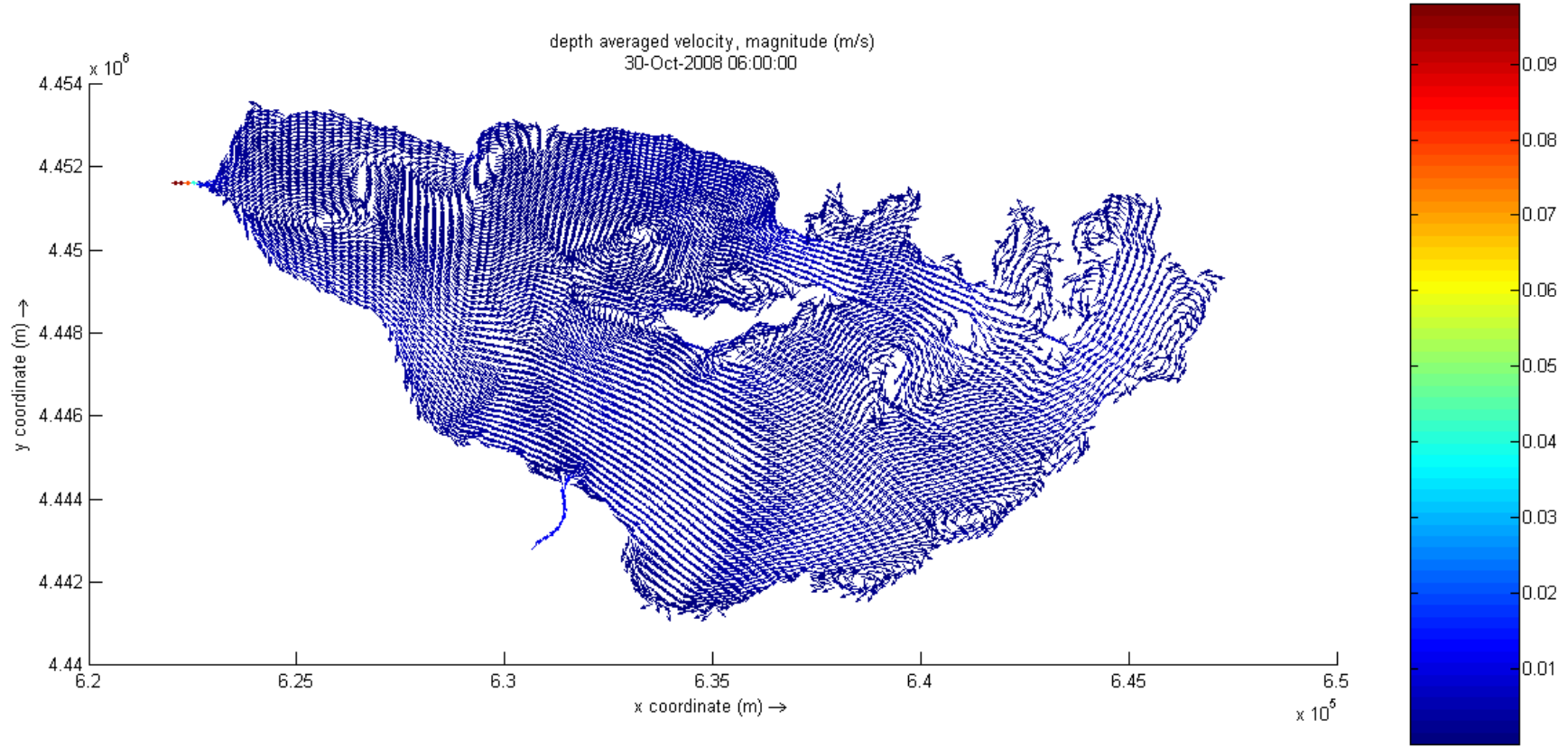


**Grafik 5.13** 16 Eylül 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

30 Ekim tarihli simülasyon çıktısında Kocasu Çayı'ndaki akım hızının arttığı göl içerisindeki akım hızının ise sabit kaldığı görülmektedir. Marjinal artış ya da azalış göstermeyen rüzgar etkisi göl üzerinde diğer aylara göre azaldığı, yüzeysel akışların adaların etrafında daha çok görüldüğü anlaşılmaktadır.

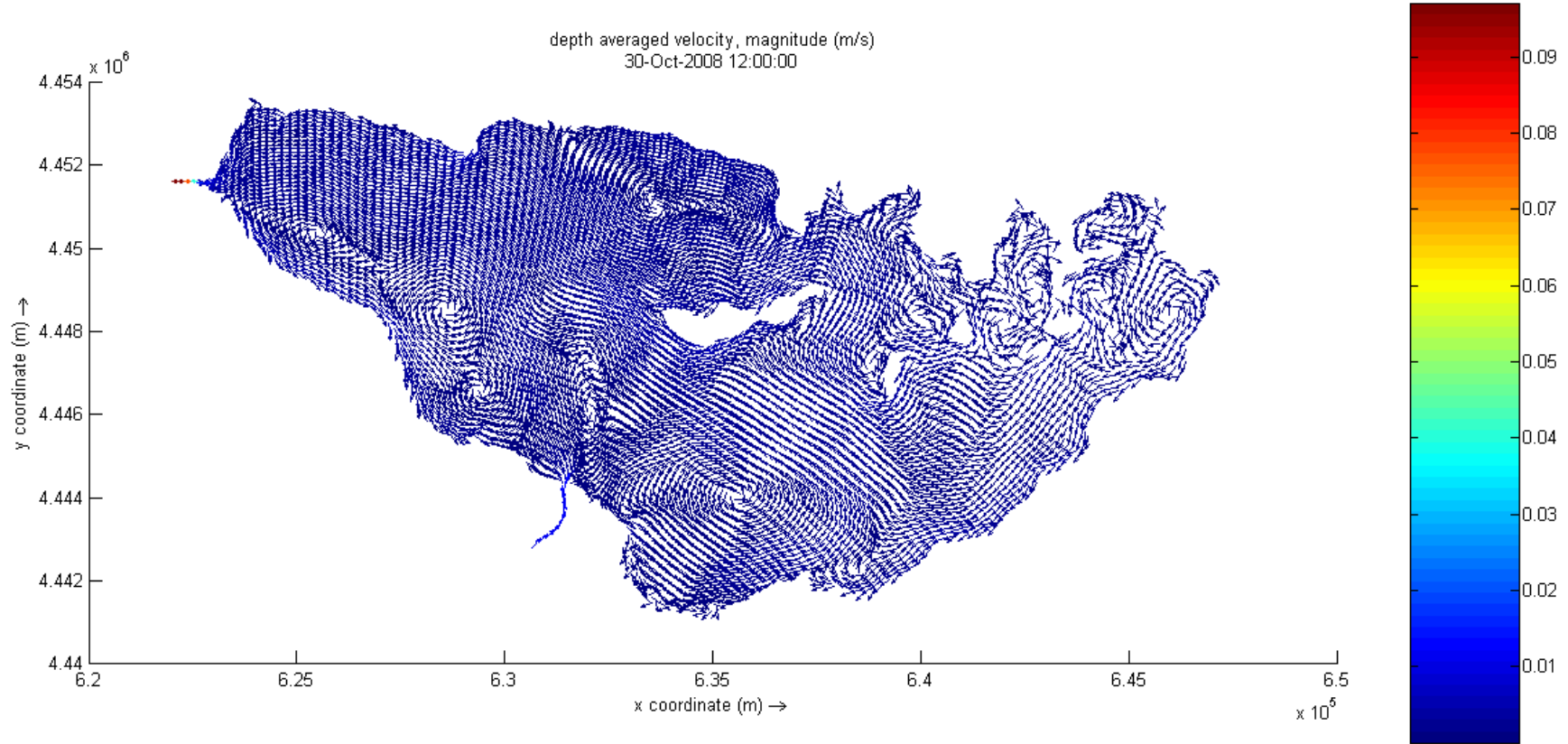


Şekil 5.35 30 Ekim 2008 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

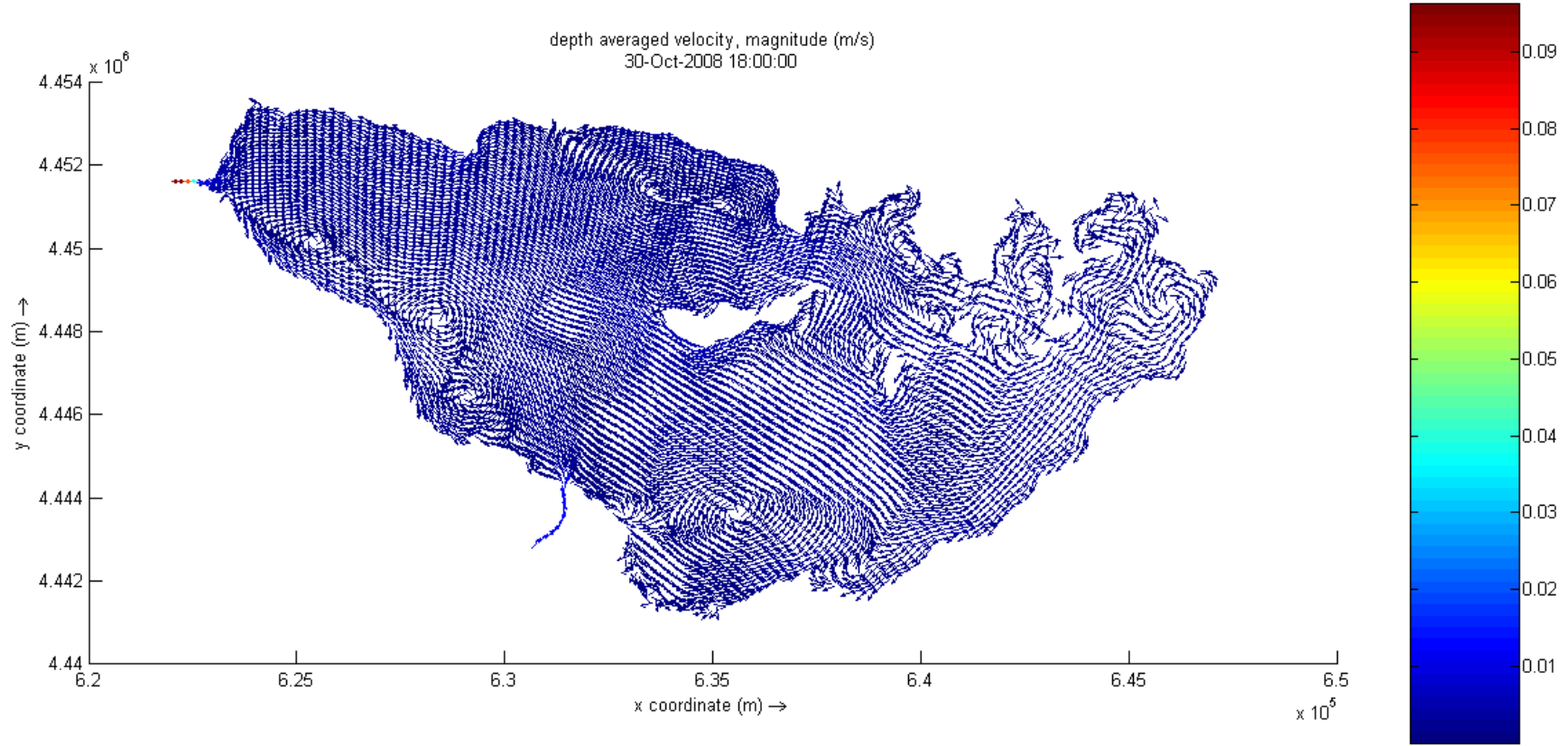


Şekil 5.36 30 Ekim 2008 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

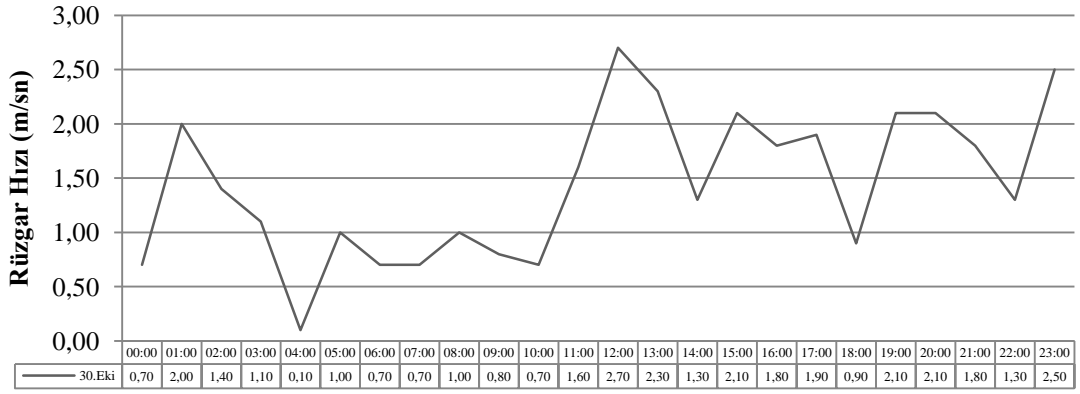




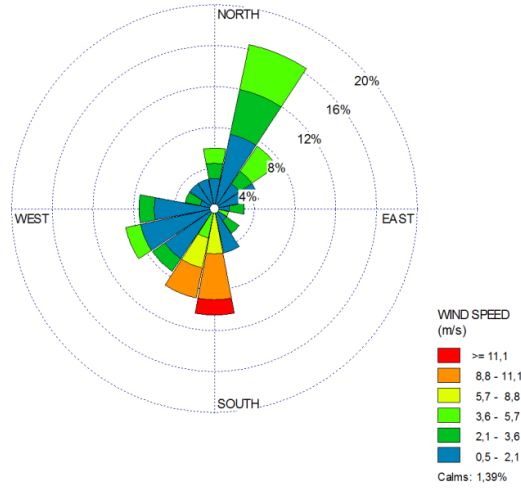
Şekil 5.37 30 Ekim 2008 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.38 30 Ekim 2008 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



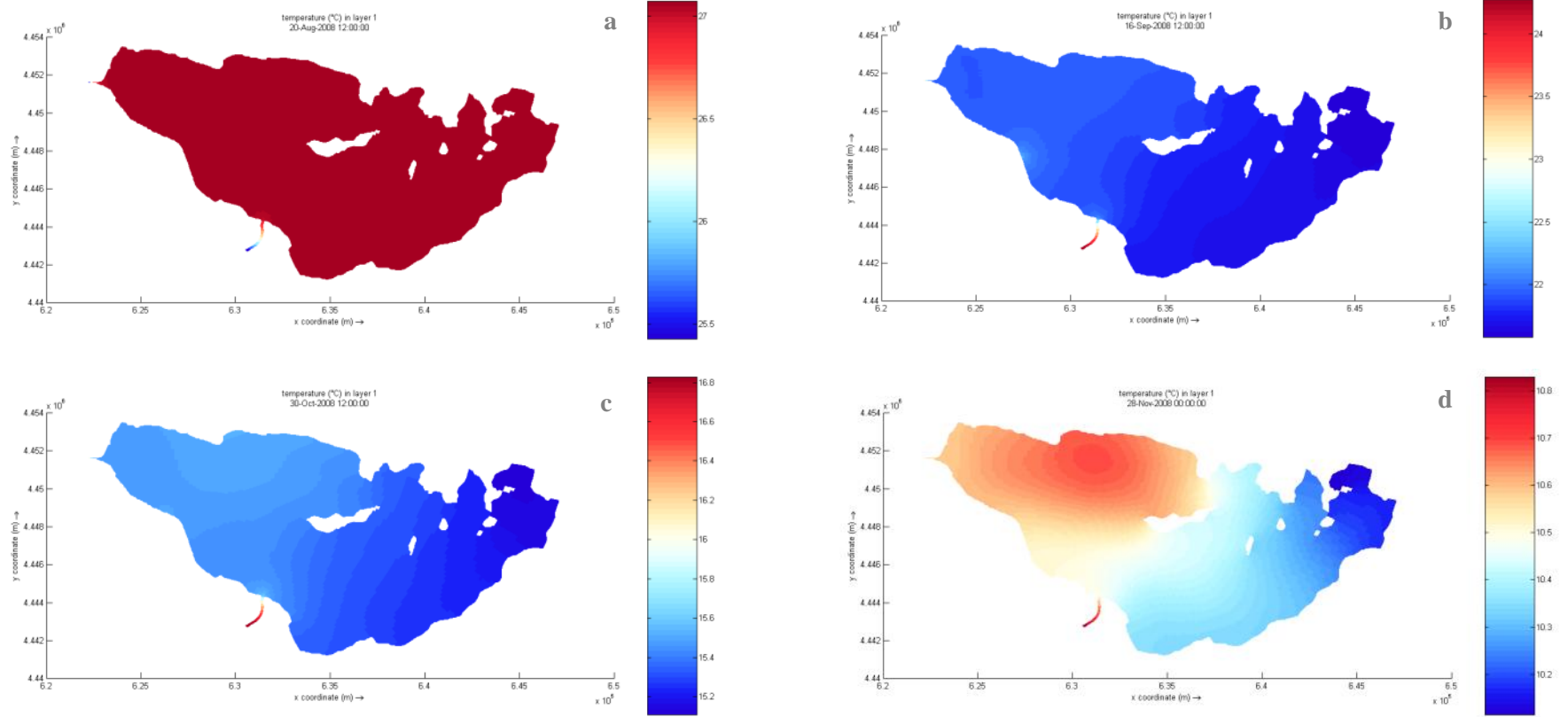
**Grafik 5.14** 30 Ekim 2008 Günü Rüzgar Hızı



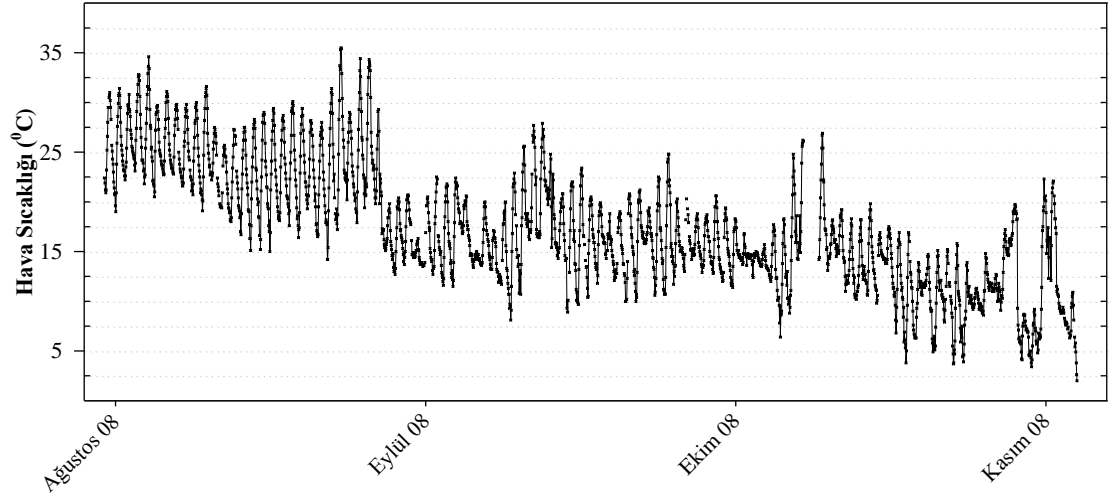
**Grafik 5.15** 30 Ekim 2008 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

Göldeki akım yönleri incelendiğinde, MKP Çayı'ndan göle gelen akımın taşıdığı sıcaklığı Halilbey Adası'nın batısından geçerek önce bu bölgedeki su sıcaklığına bıraktığı ve gölün özellikle Akçalar kesimindeki doğu bölgelerinde ise su sıcaklığının batı kesimine nazaran daha düşük olduğu şekillerden görülmektedir. Uniform olarak tanımlanan sıcaklığın simülasyon başlangıcında ilk saatlerde MKP Çayı girişinde daha yeni etkilendiği göl genelinde ise uniform koşulları koruduğu, ancak dönem sonuna doğru hava sıcaklığındaki yaklaşık 7°C'lik düşüşün göl suyu sıcaklığındaki 27°C seviyesinden 10°C'ye düşüşle sonuçlandığı görülmektedir.





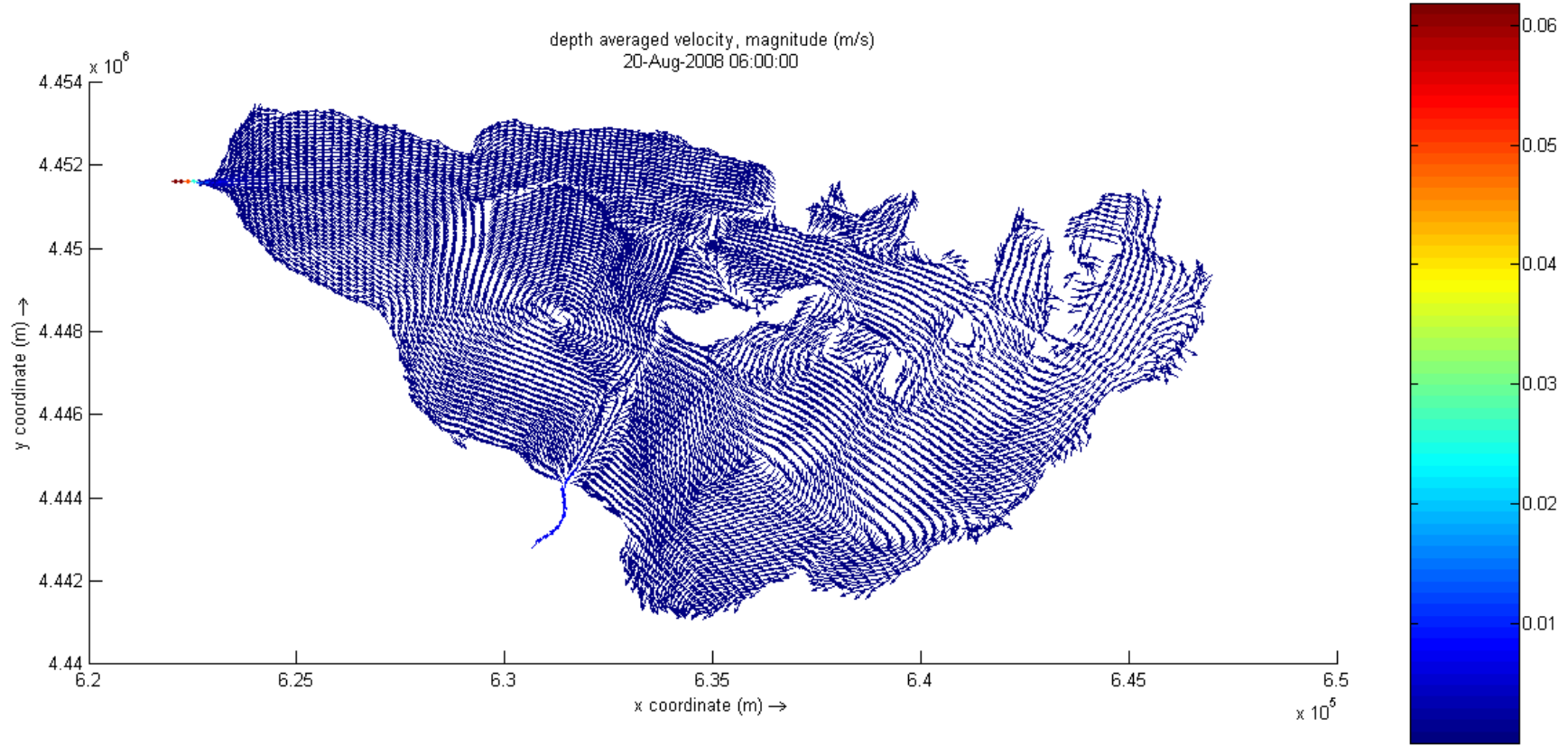
Şekil 5.39 Dönem-2 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı  
20 Ağustos b) 16 Eylül c) 30 Ekim d) 28 Kasım



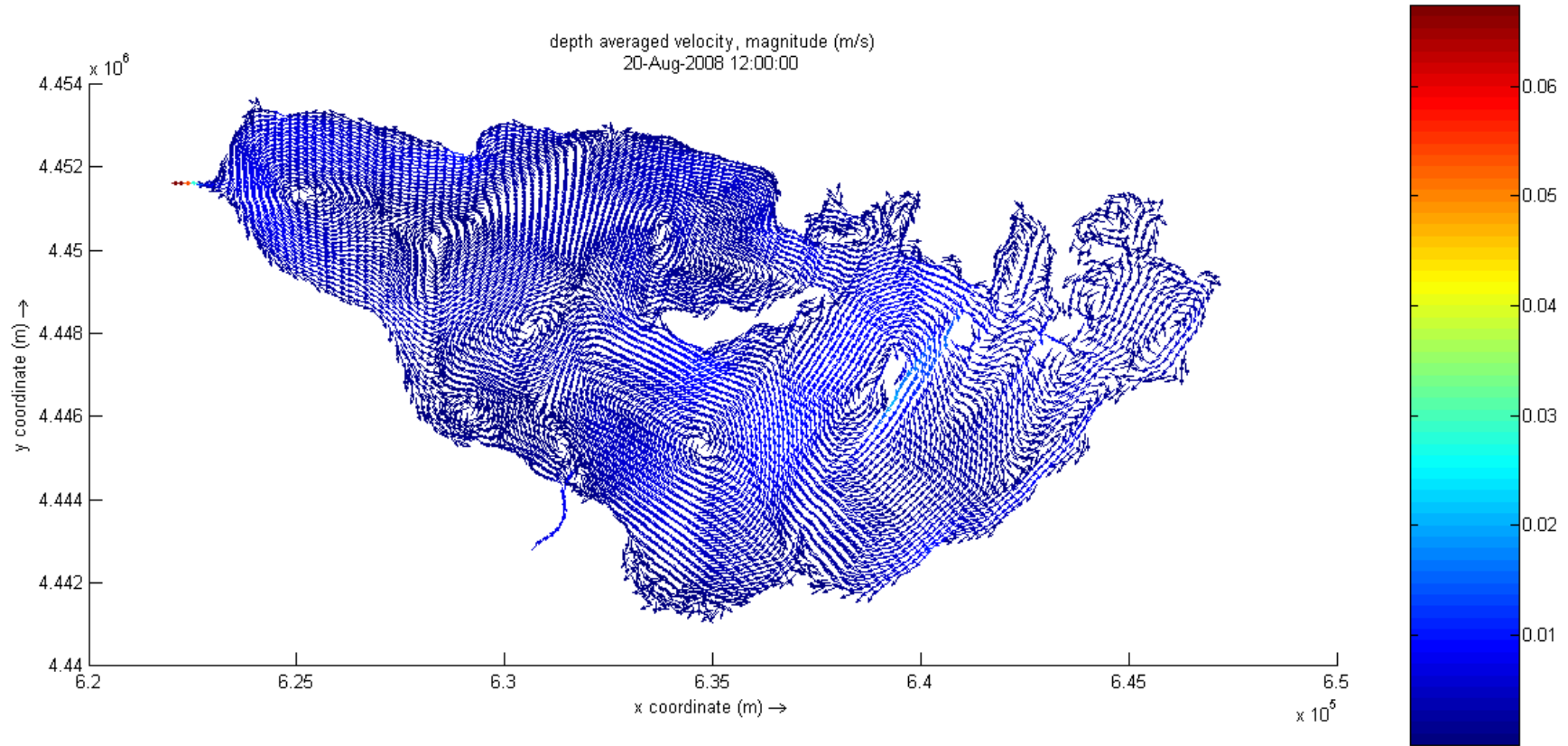
**Grafik 5.16** Dönem-2'ye Ait Hava Sıcaklığı Değişimi

Sucul vejetasyonun Nansi Gölü'ndeki etkisini incelediği çalışmasında Wang ve ark. (2006) vejetasyon etkisinin bulunduğu bölgelerde akım hızının, vejetasyon bulunmayan bölgelere göre daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Vejetasyon olmayan bölgelerdeki derinliğe bağlı akım hızını incelediği çalışmasında Wang ve Wang (2011) ise derin su bölgelerindeki hız dağılımlarının daha uniform olduğunu ve yüzeydeki suyun akım hızının vejetasyon bulunan bölgelere göre kayda değer ölçüde (0,142 m/sn) yüksek olduğunu vurgulamıştır.

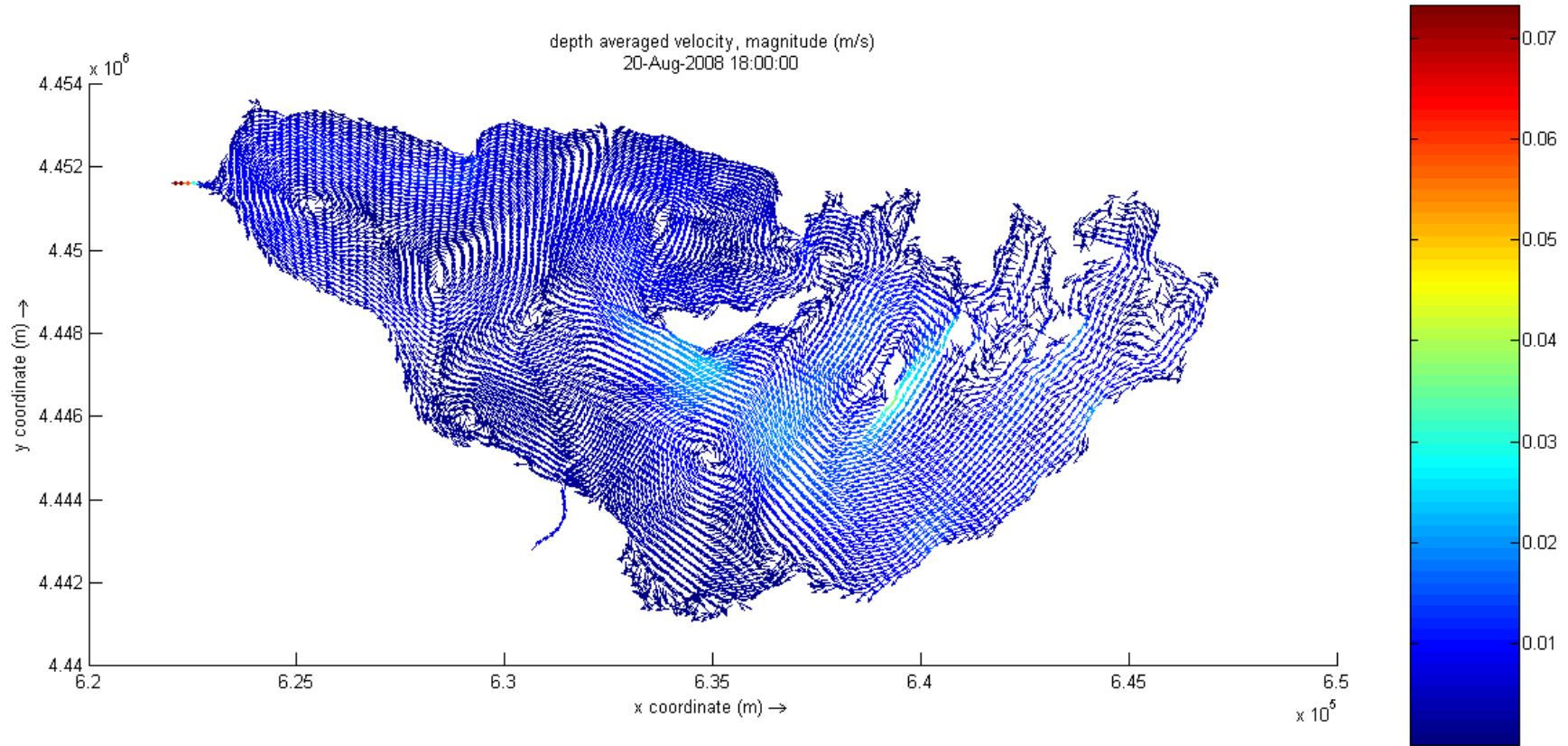
Çalışmamızda da S-2 koşulu altında 20 Ağustos tarihinde göl genelinde akım, vejetasyonun olmadığı bölgelerde 0,03 m/sn seviyesine ulaşırken, saat 18:00'dan sonra su yüzeyindeki hareketler azalmış ancak adalar kesiminde ve derinliğin nispeten daha fazla olduğu bölgelerde akım hızında artış gözlemlenmiştir.



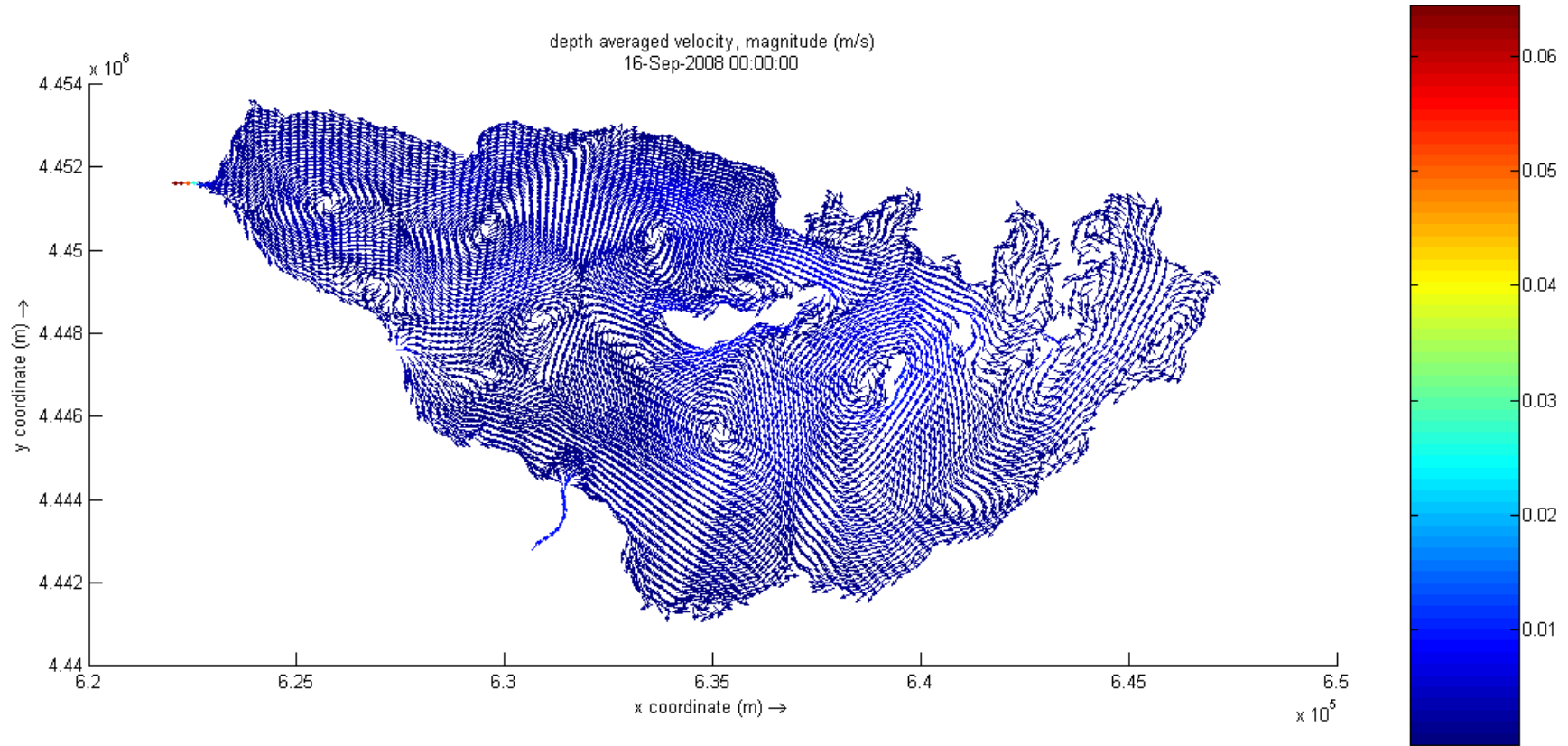
Şekil 5.40 20 Ağustos 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.41 20 Ağustos 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

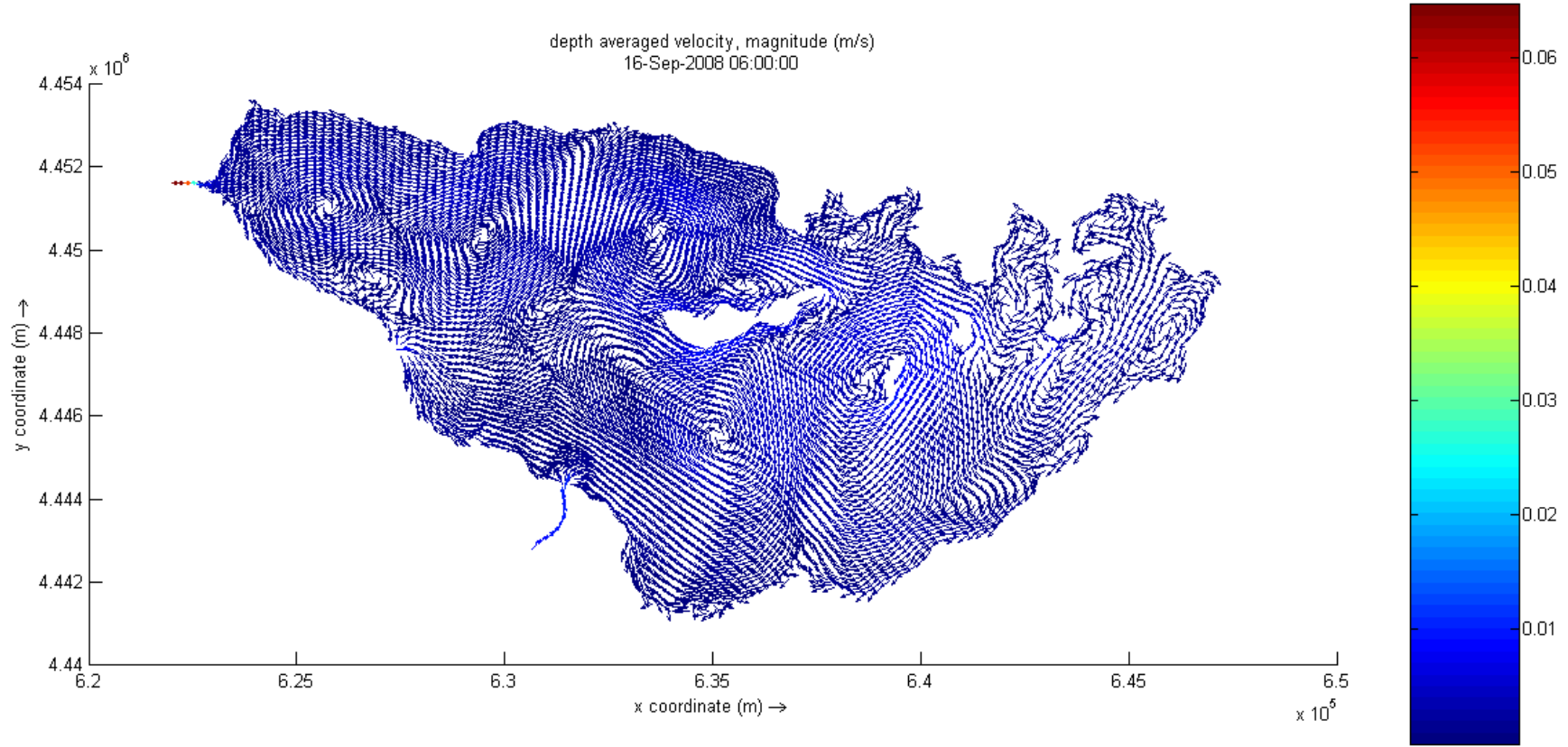


Şekil 5.42 20 Ağustos 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

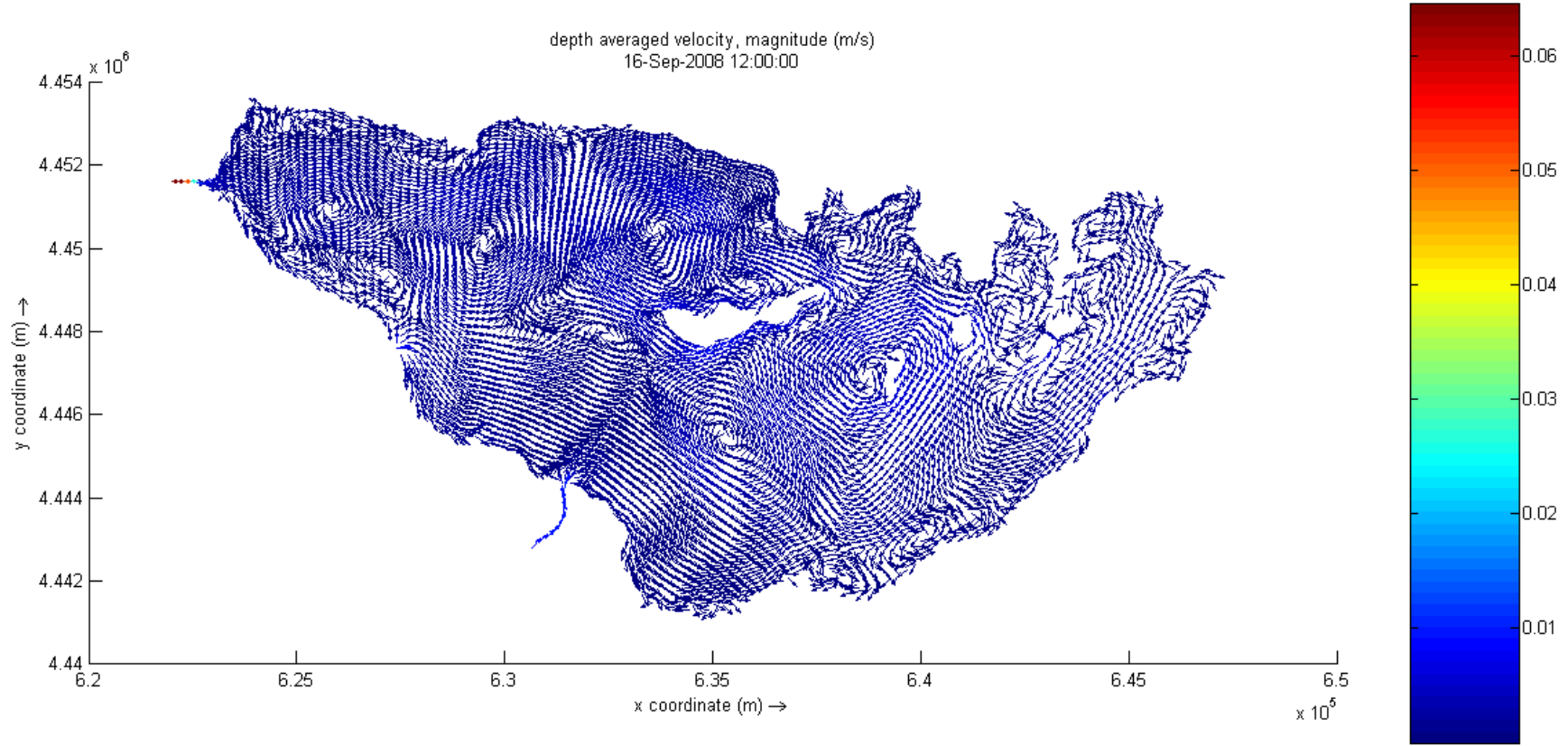


Şekil 5.43 16 Eylül 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



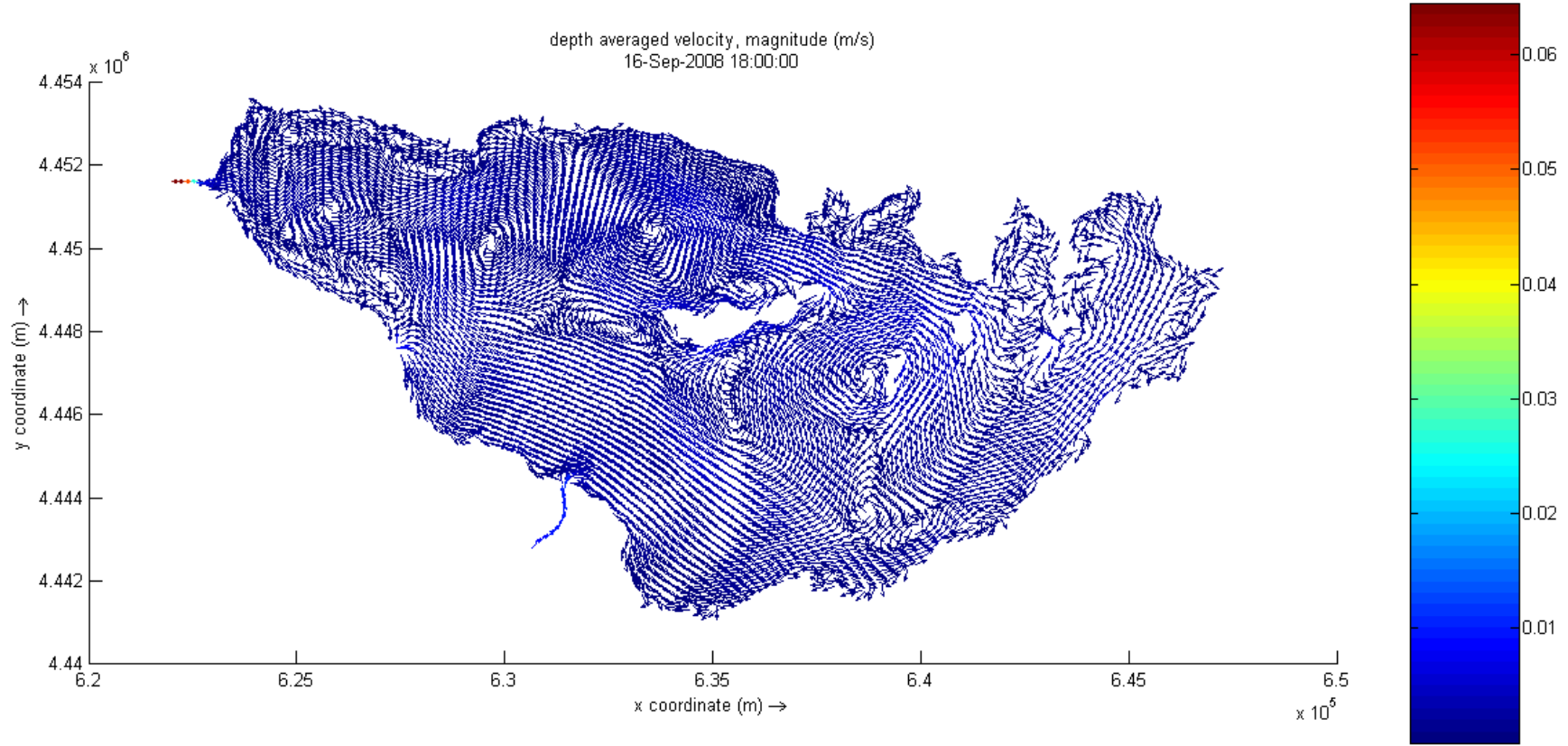


Şekil 5.44 16 Eylül 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.45 16 Eylül 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı





Şekil 5.46 16 Eylül 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

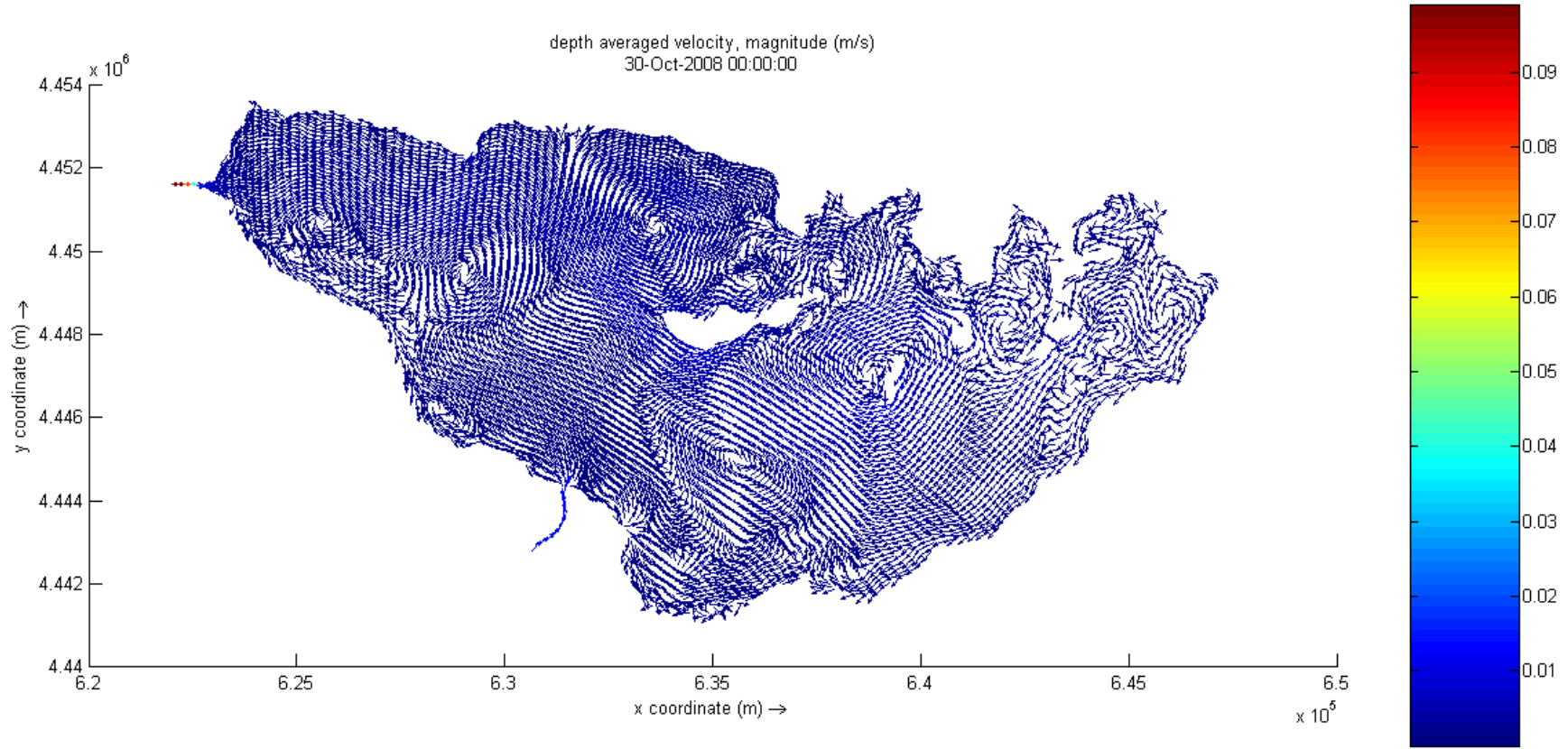
16 Eylül tarihinde, vejetasyonun tanımlandığı bölgelerde neredeyse sıfıra yakın hız değerlerine ulaşan akım değerlerinin, gölün derin olan kesimlerinde ise vejetasyonun olduğu kesime göre yüksek akım değerlerinin gözlemlendiği, bunun yanında rüzgarın etkisiyle göl suyu üzerindeki çevrimlerin gölde karışımı sağladığı söylenebilmektedir.

Göldeki akım hızının düşük olduğu bilindiğinden S1 koşulundan farklı olarak vejetasyonun tanımlandığı sazlık bölgelerde akım hızının 0 m/sn mertebesine yaklaştığı ancak göl yüzeyinde rüzgarın etkisiyle beraber gün içerisinde karışımın olduğunu görmek mümkündür. Kocasu Çayı'ndan gölü boşaltan akım hızı ise S1 koşulu ile aynı mertebede gözlenmiştir.

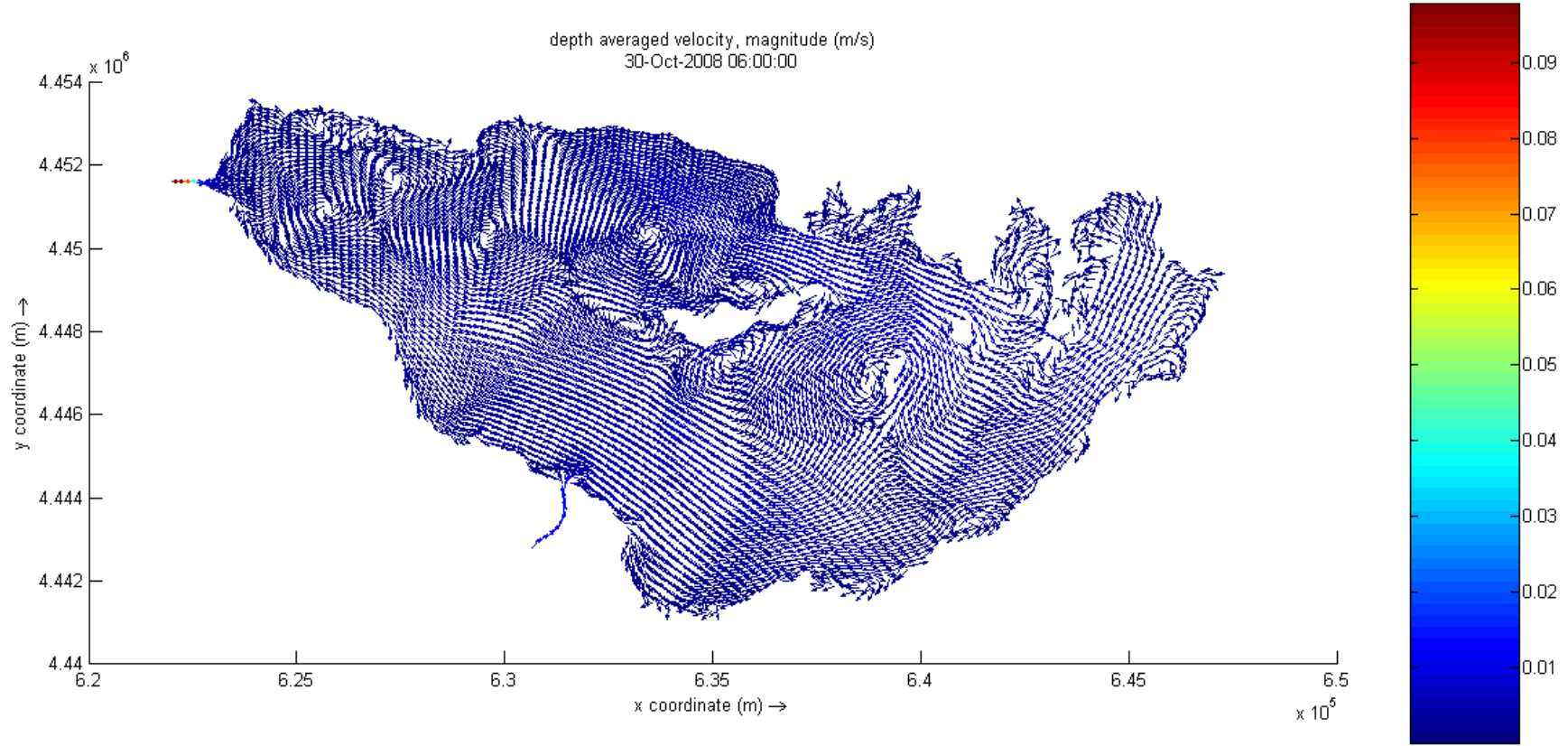
30 Ekim tarihli simülasyon çıktılarında özellikle MKP Çayı'nın giriş ağzında tanımlanmış olan vejetasyonların, göle gelen akımın hızını engellediği, bu akımın Halilbey adası etrafından dolanan akımla karşılaşarak gölün doğu kesimine geçiş yaptığı vektörel gösterimden anlaşılmaktadır.

Taban pürüzlülüğündeki değişimin sıcaklık üzerinde etkisinin görülmesi amacıyla Şekil 5.26 ile karşılaştırıldığında pürüzlülüğün mekansal ve zamansal olarak sıcaklık dağılımı üzerine etkisi görülmemektedir.

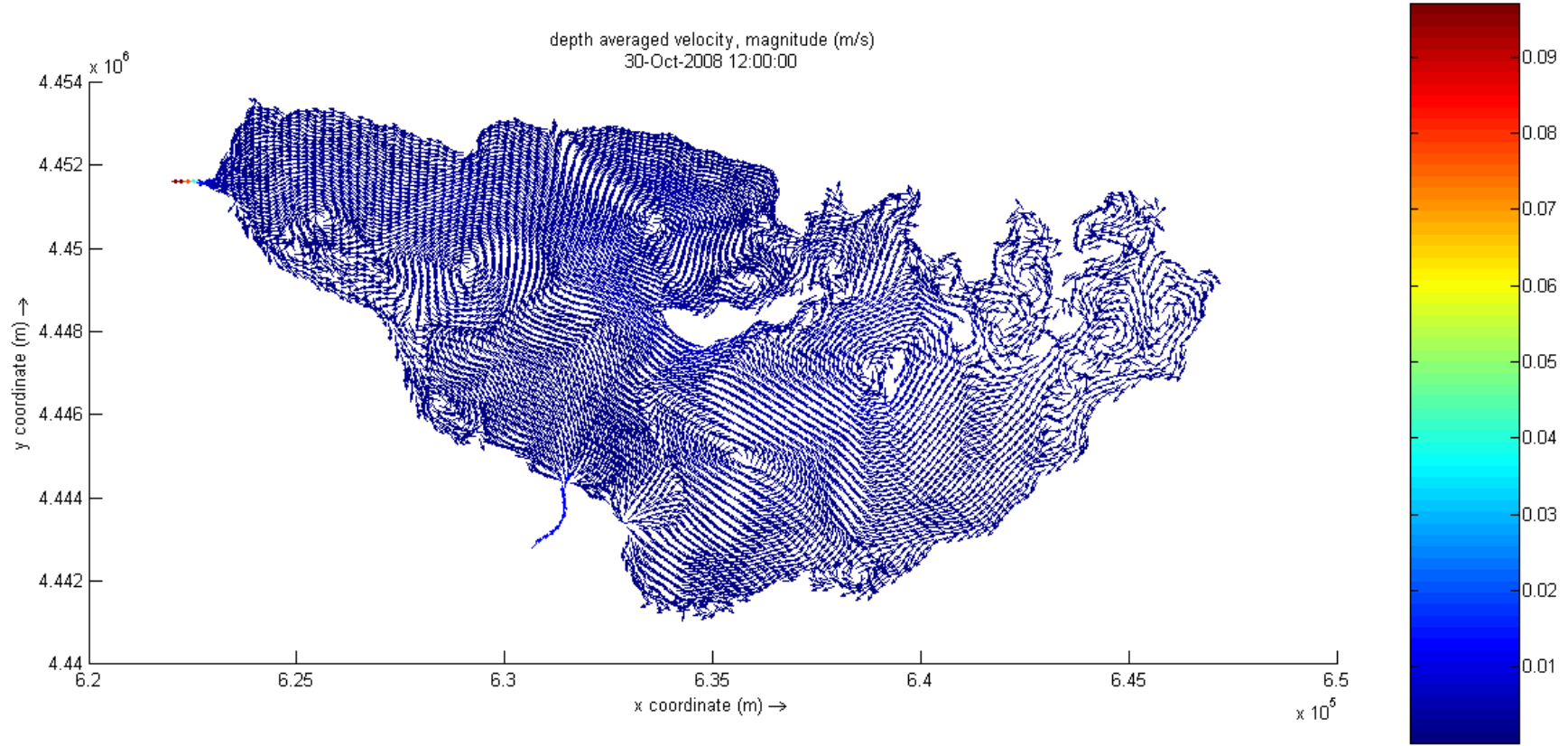
Akım hızı ve yönü ile sıcaklık değişiminin dönem içerisinde daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla oluşturulan simülasyonlar Ek-2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 30 Ekim 2008 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

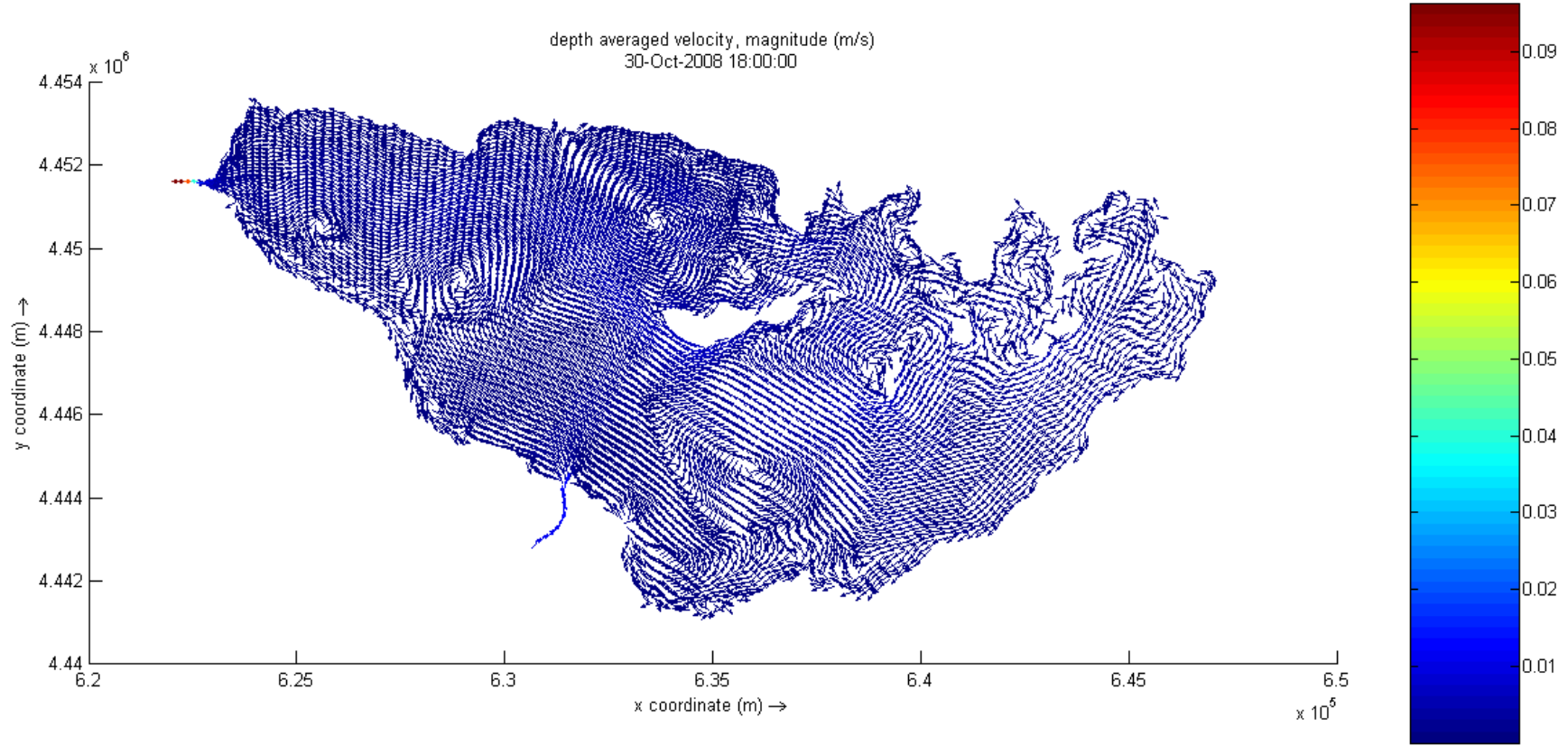


Şekil 5.48 30 Ekim 2008 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

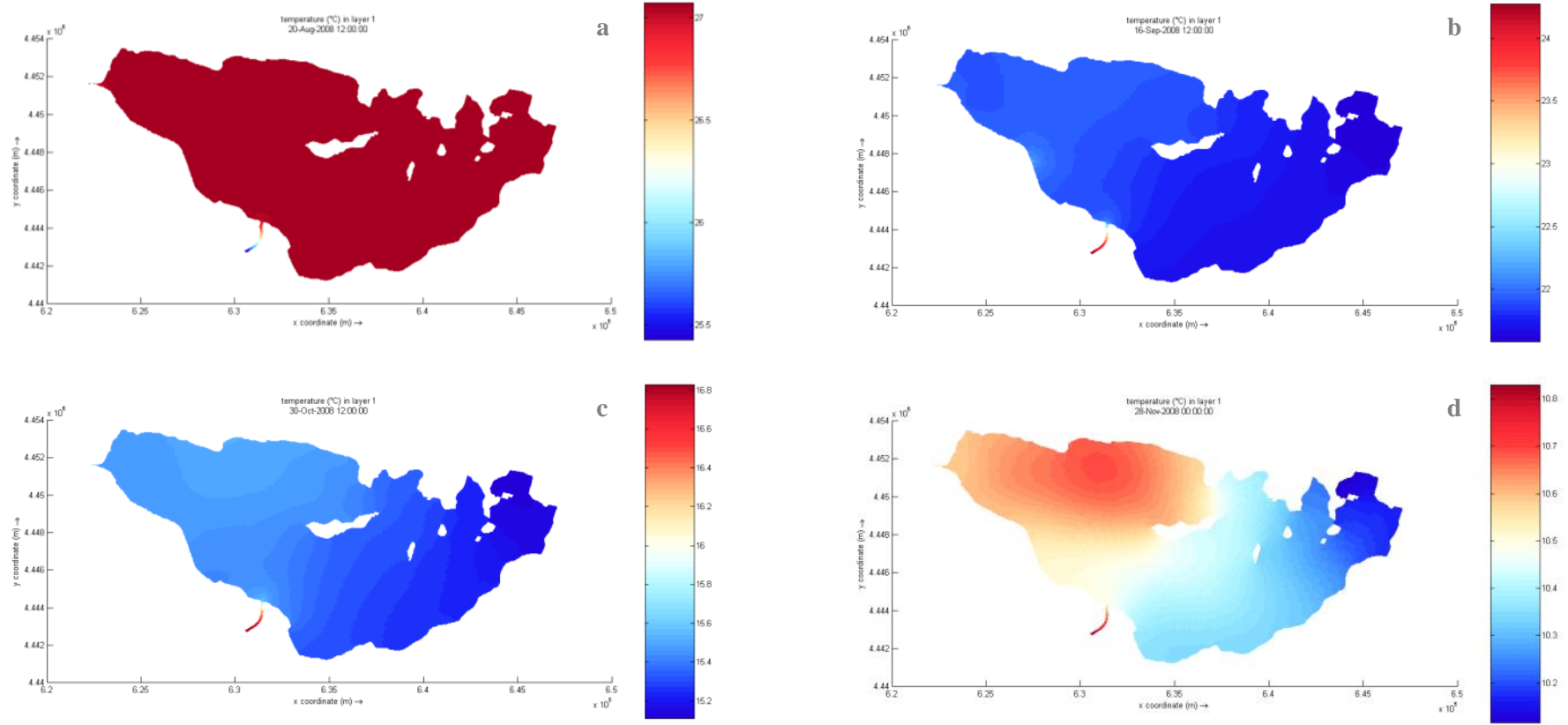


Şekil 5.49 30 Ekim 2008 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı





Şekil 5.50 30 Ekim 2008 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

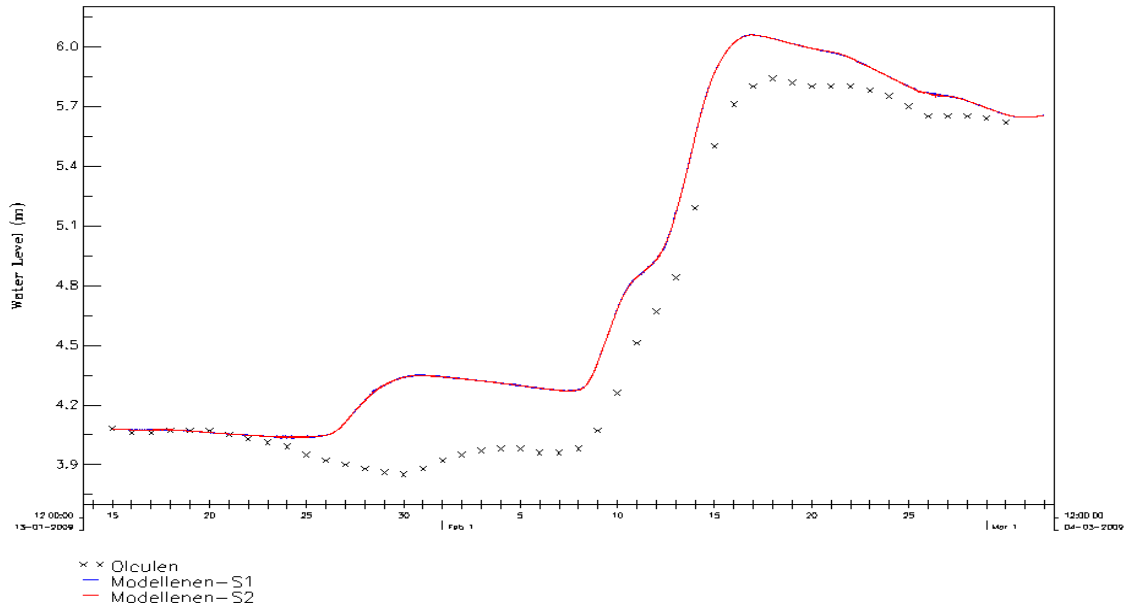


Şekil 5.51 Dönem-2 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı  
a) 20Ağustos b) 16 Eylül c) 30 Ekim d) 28 Kasım

### 5.2.3. Dönem-3

Modelleme sürecinin üçüncü dönemi, 15 Ocak 2009 ile 4 Mart 2009 tarihlerini kapsarken 3 adet örnekleme gününü içine almaktadır. Dönem-2 ile aynı grid ağı ve batimetri tanımlanmıştır. Bu nedenle Courant sayısı ile zaman aralığı arasındaki ilişki bir önceki dönemle aynı olup, benzer gerekçelerden 5 dk'lık zaman aralığı Dönem-3 için uygun bulunmuştur.

Dönem-3'ye ait sürtünme katsayılarının tahminlenmesine yönelik senaryo ve arazi ölçüm sonuçları Grafik 5.17'de karşılaştırılmıştır. Su seviyesinin değişiminin model ve ölçüm sonuçları simülasyonun başlangıcından itibaren yaklaşık 20 günlük süreçte birebir örtüşürken, sonrasında farklılıklar göstermesine karşın benzer trendi izlemiş ve simülasyon sonucunda aynı mertebeye ulaşmıştır.



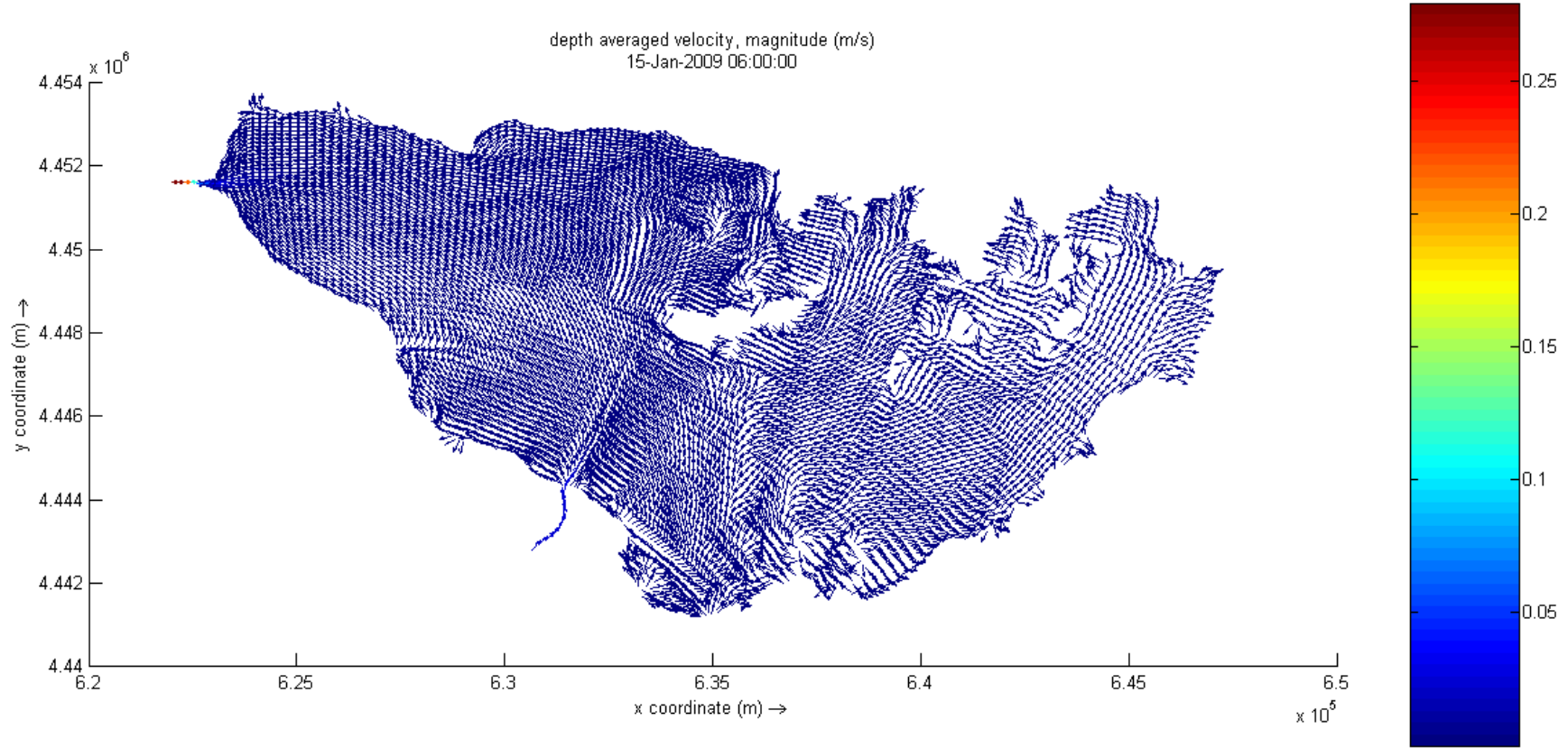
**Grafik 5.17** 15 Ocak – 4 Mart Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması

Model sonuçlarının yorumlanmasında örnekleme günlerinden faydalanılmış, akım hızının vektörel büyüklüğü ve sıcaklık değişimleri tartışılmıştır.

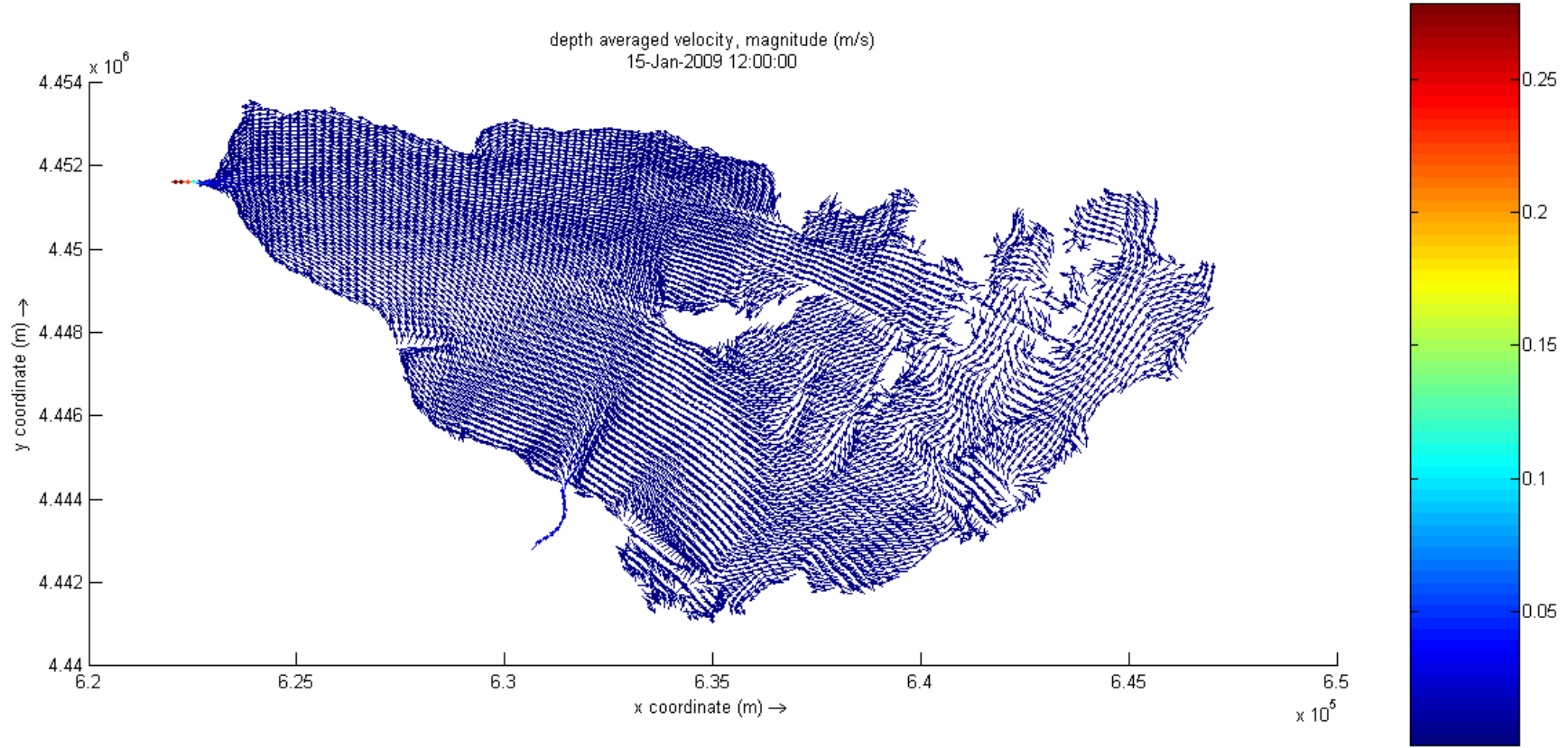


Bu dönemde akım hızı değerlerinin artış gösterdiği, göl genelinde 0,05 m/sn mertebesinde Kocasu Çayı'nda ise 0,25 m/sn'ye ulaştığı görülmektedir. S1 koşulu altında Dönem-3'e ait simülasyonun başlangıç günü 15 Ocak tarihinde, gölde uniform akışlar gözlenirken akım hızının gölün sığ olan bölgelerinde daha düşük seviyelerde olduğunu söylemek mümkündür.

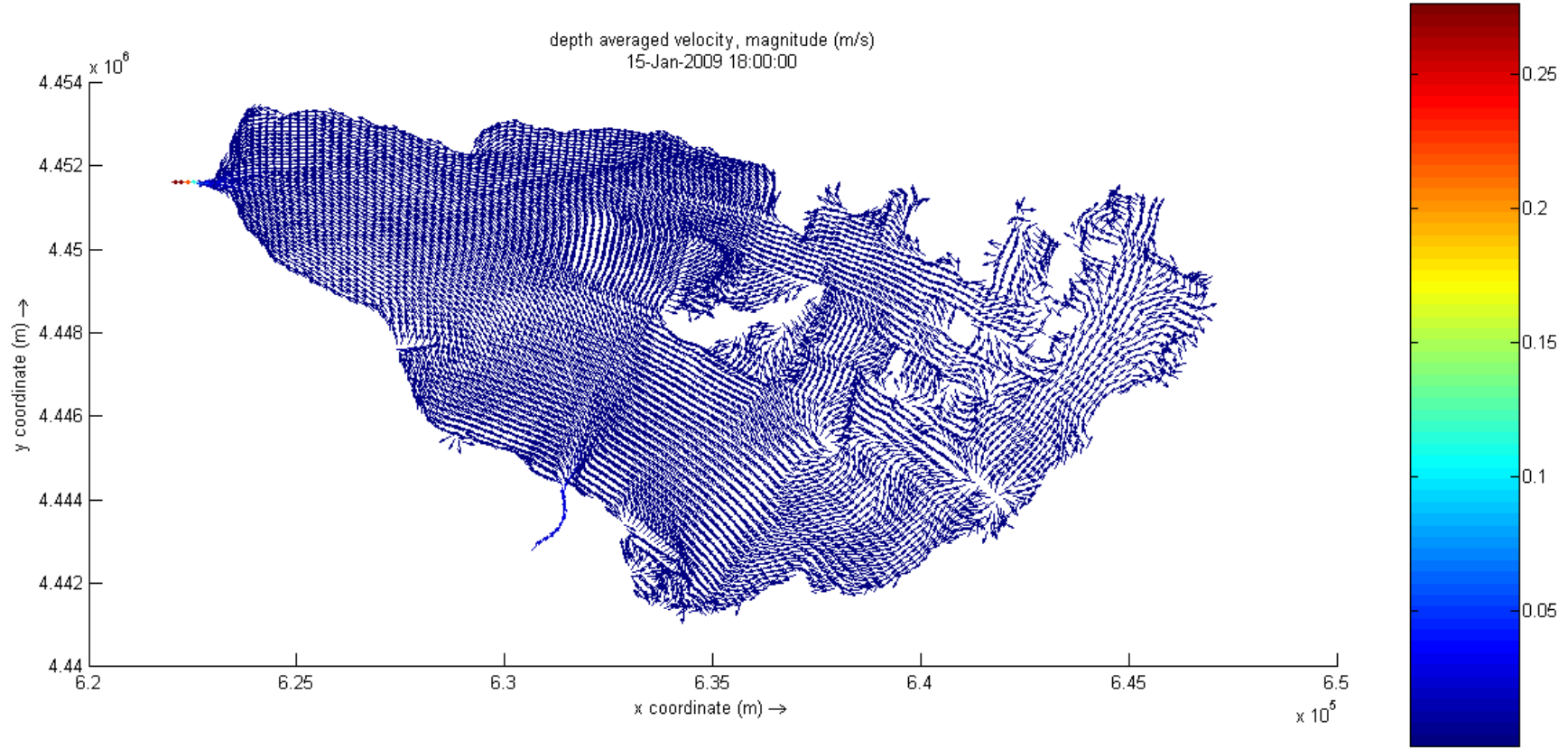
Bununla beraber güneydoğudan esen hakim rüzgarların etkisiyle gölün doğu kesiminde yüzeysel hareketlerde artış göze çarparken batı kesiminde akışın bir kısmı Kocasu Çayı'na bir kısmı da Halilbey Adası'nın kuzeyinden gölün doğu kısmına geçmektedir. Liu ve ark. (2011) vurguladığı gibi, göldeki akım şartlarının göle gelen akışları ile rüzgar kaynaklı kayma gerilmesinden etkilendiği görülmektedir.



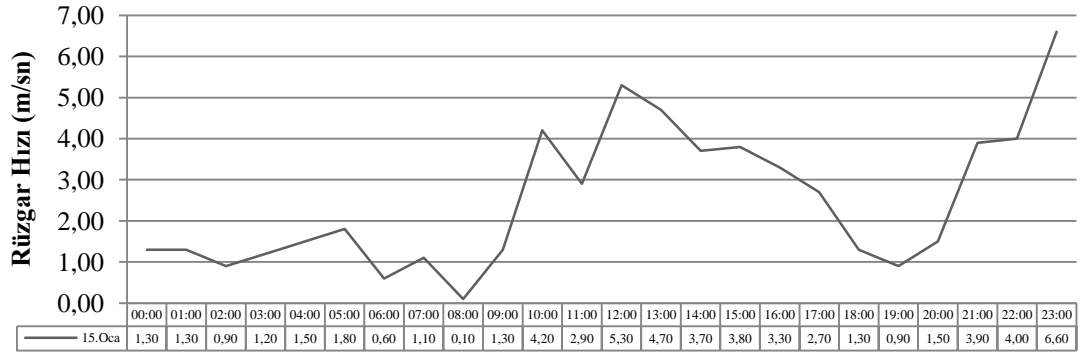
Şekil 5.52 15 Ocak 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



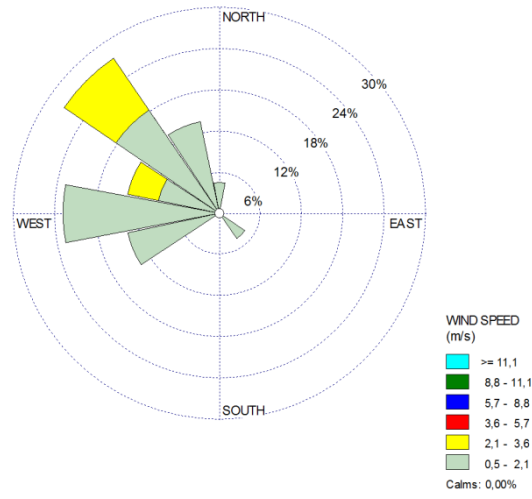
Şekil 5.53 15 Ocak 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.54 15 Ocak 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

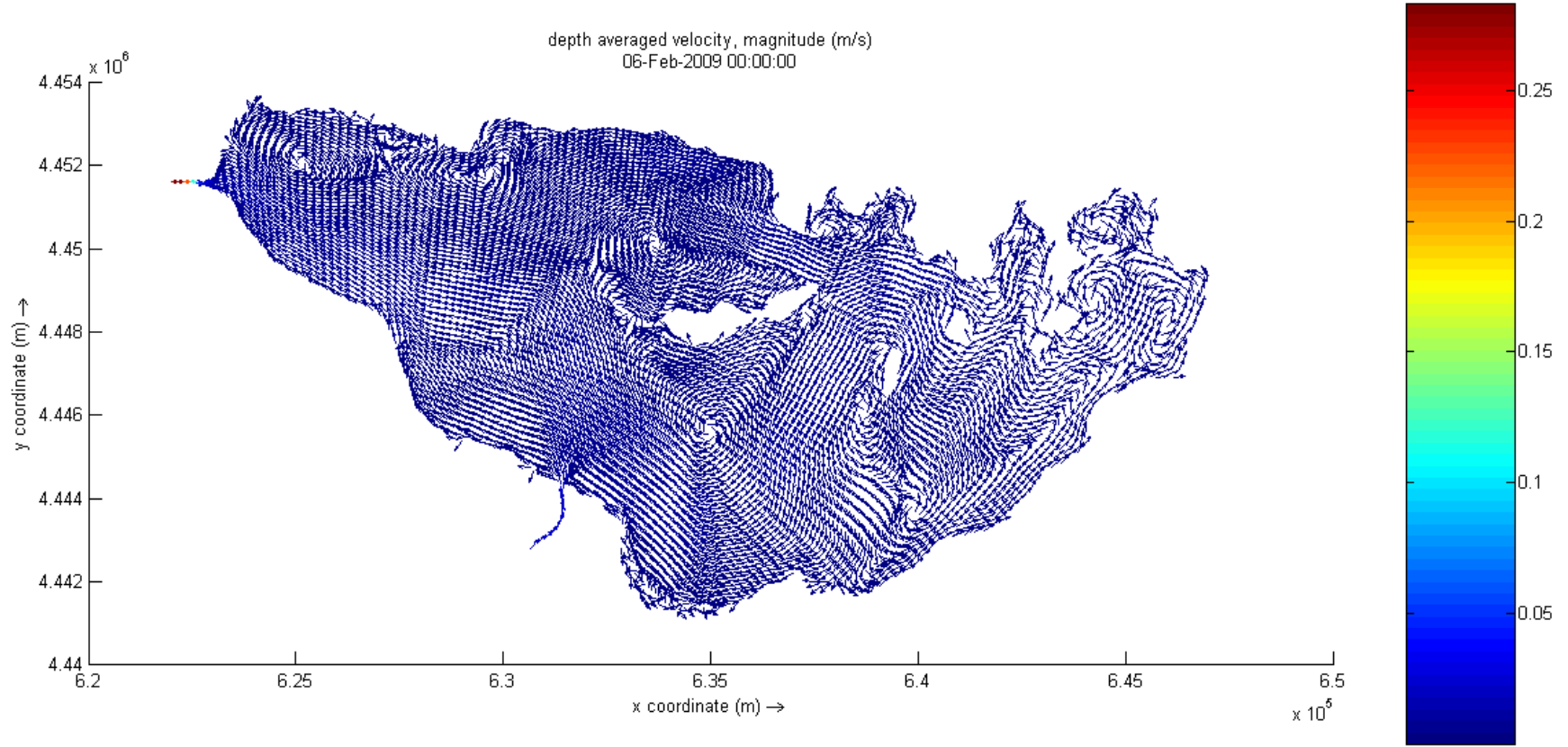


**Grafik 5.18** 15 Ocak 2009 Günü Rüzgar Hızı



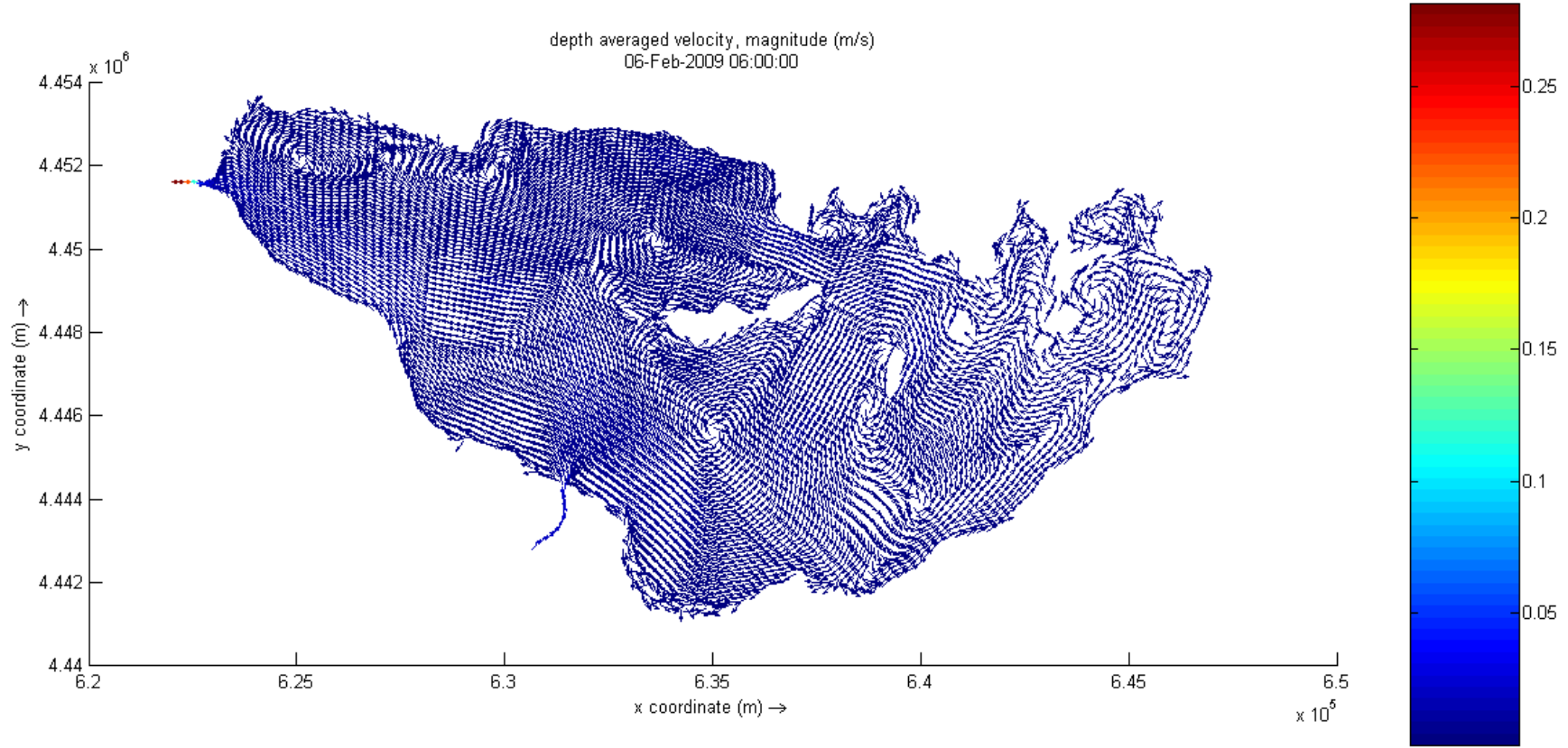
**Grafik 5.19** 15 Ocak 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

Dönemin bir diğer örnekleme gününde de akım hızının mertebesi göl genelinde 0,05m/sn mertebesinde seyrederken Kocasu Çayı çıkışında akım hızı 0,25 m/sn'yi geçmektedir. Hakim rüzgar yönünün etkisiyle gölün doğu kesimindeki yüzeysel hareketlenmelerin yanında gölün batı kesiminde karşılaşılan akımlar da türbülans oluşturmakta daha sonrasında ise birbirlerinin hızlarını kesmektedirler.

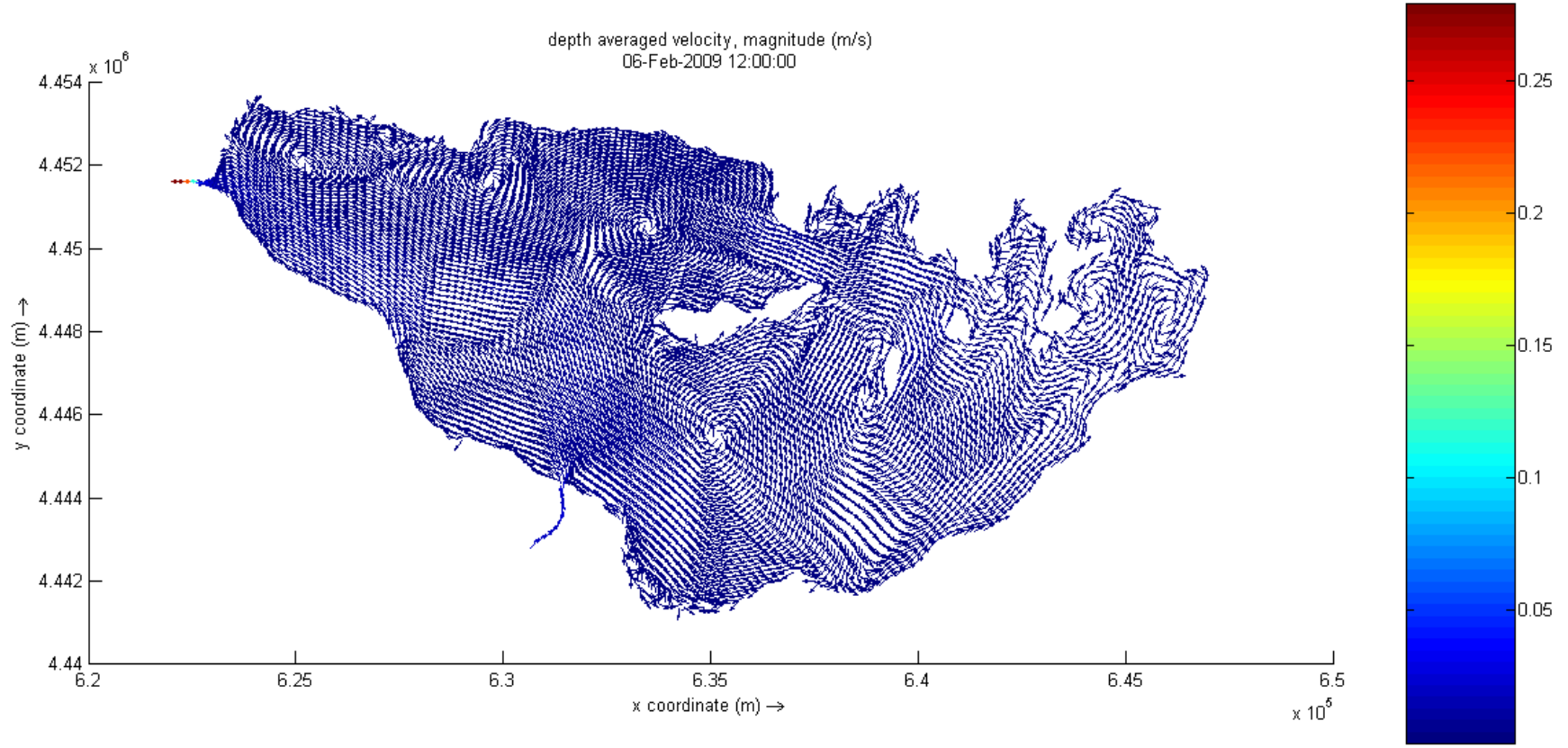


Şekil 5.55 6 Şubat 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



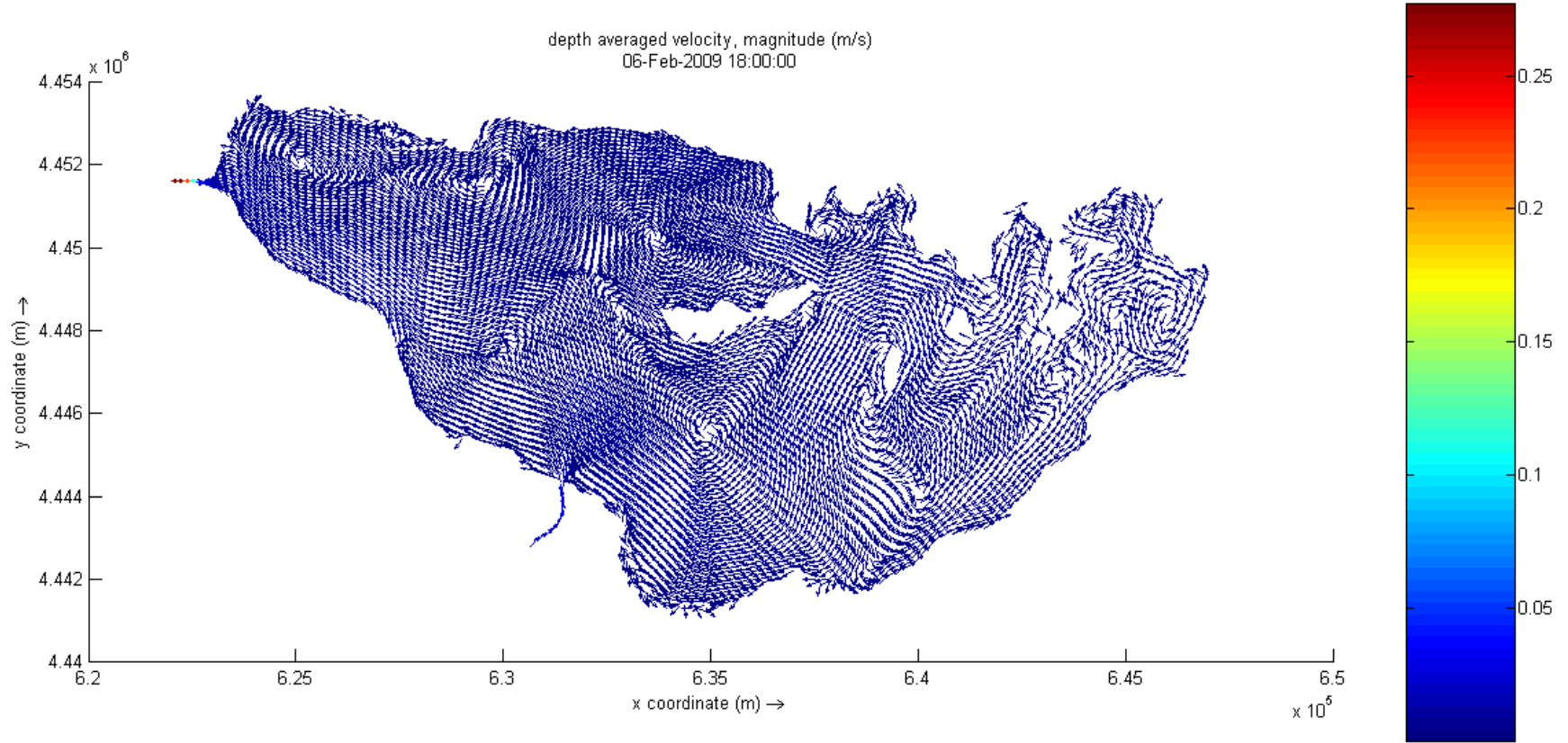


Şekil 5.56 6 Şubat 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

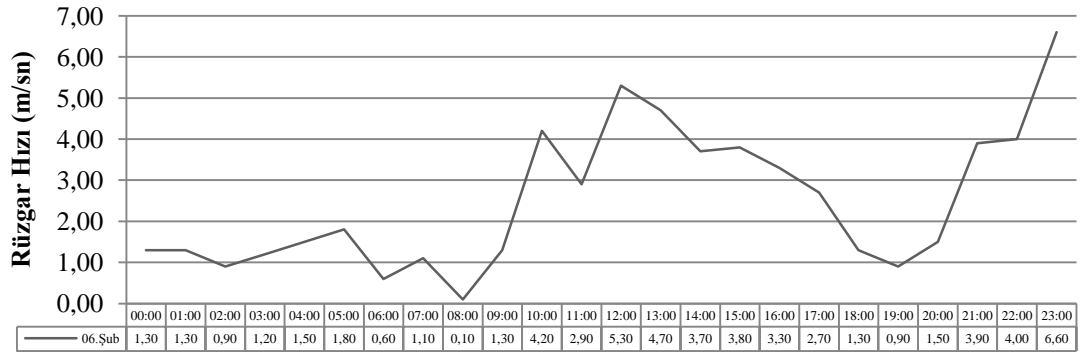


Şekil 5.57 6 Şubat 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

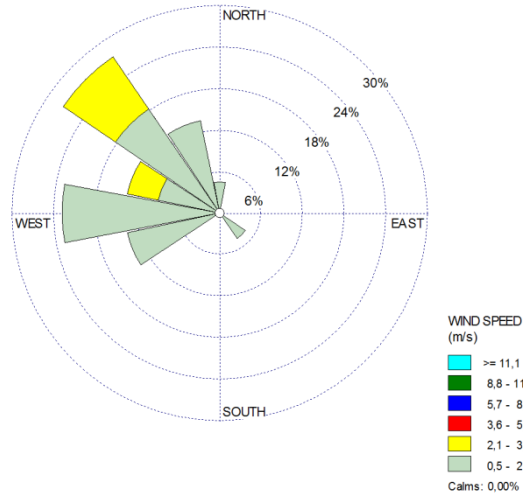




Şekil 5.58 6 Şubat 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

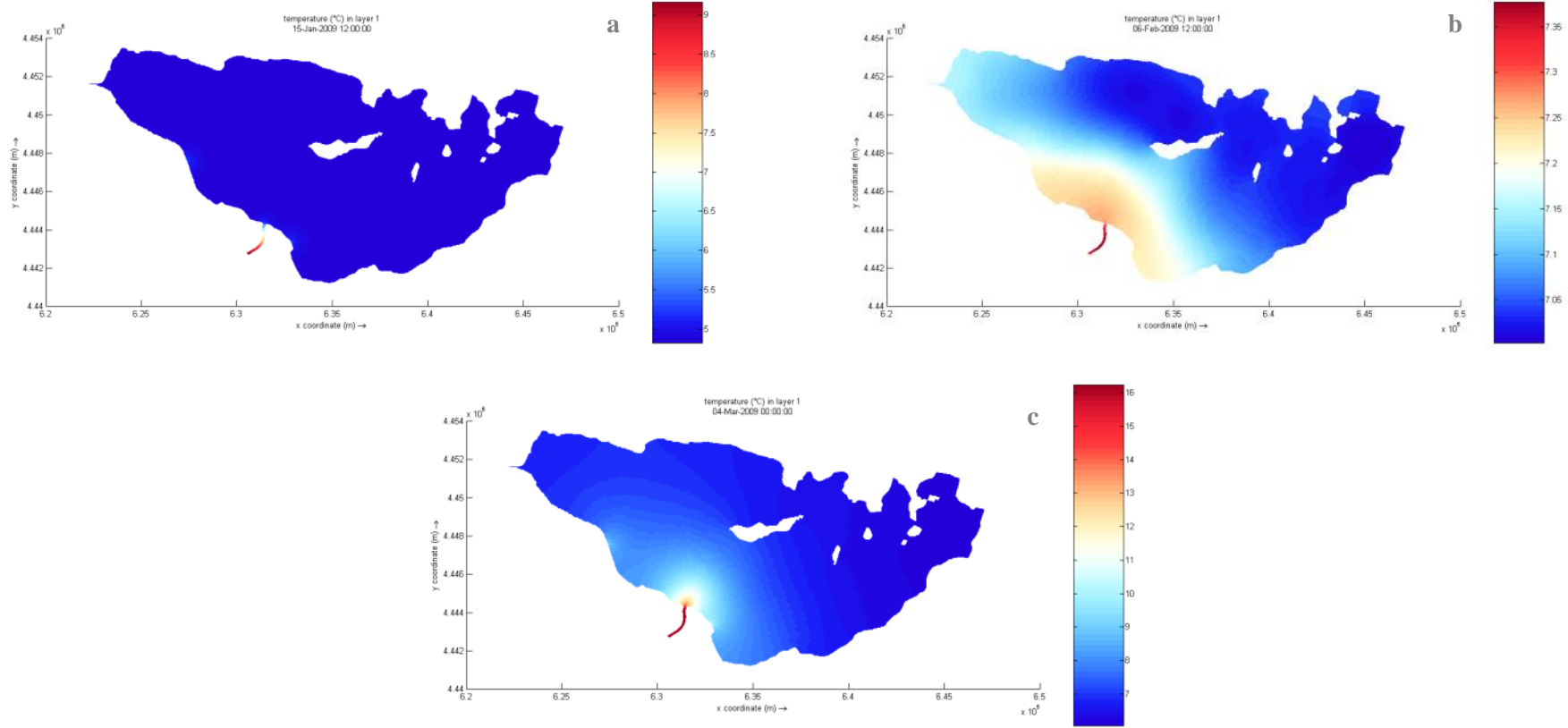


**Grafik 5.20** 6 Şubat 2009 Günü Rüzgar Hızı

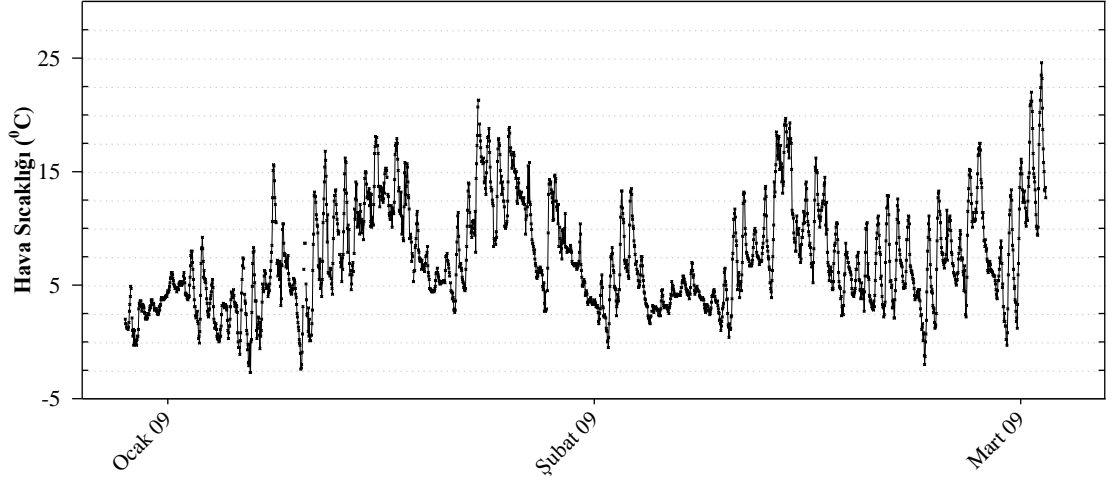


**Grafik 5.21** 6 Şubat 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

Dönem içerisinde hava sıcaklığı lineer olarak artış göstermemiş salınımlar yapmıştır. Göl suyu sıcaklığı 15 Ocak tarihinde 5°C’de iken diğer günlerde artış göstermiş ve 7°C’ye ulaşmıştır. Ancak MKP Çayı’ndan gelen akışın sıcaklığı 15 Ocak tarihinde 9°C, 6 Şubat tarihinde 7,5°C ve 4 Mart tarihinde 16°C olarak modellenmiştir. Sıcaklık değişiminde etken MKP Çayı’nın taşıdığı akış olarak görülmektedir.



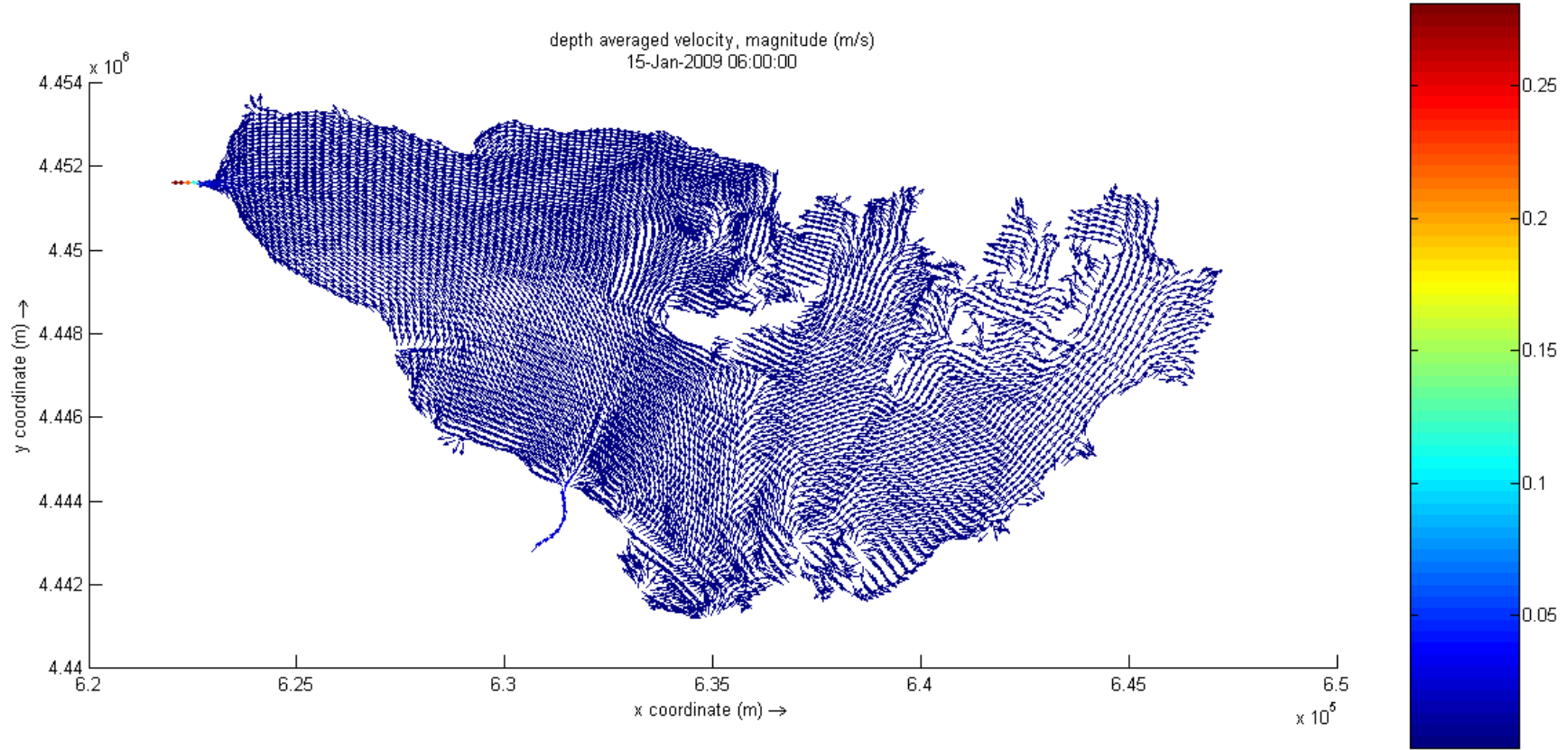
Şekil 5.59 Dönem-3 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı  
a) 15 Ocak b) 6 Şubat c) 4 Mart



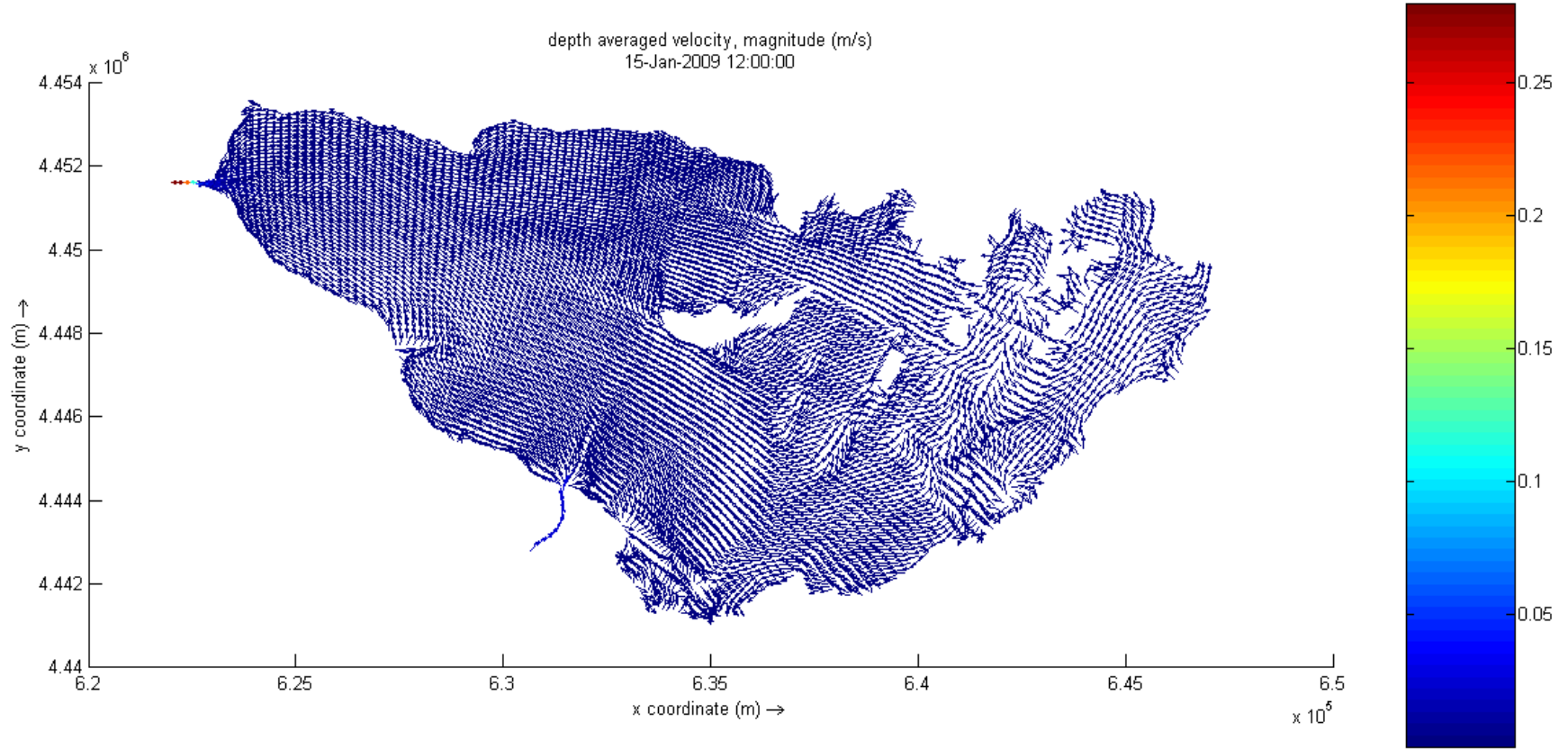
**Grafik 5.22** Dönem-3'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi

Senaryo-2 koşulu altında simülasyon başlangıcında göl geneli 0,05 m/sn, vejetasyon olan bölgeler 0,05 m/sn'nin altında gözlenmiştir. Bununla beraber göldeki su derinliğinin artmasına bağlı olarak vejetasyonun akış hızı üzerinde olan etkisinin azaldığını söylemek mümkündür. Wang ve Wang (2011), vejetasyon bulunan bölgelerde su kolunu boyunca akım hızının derinliğin arttıkça artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

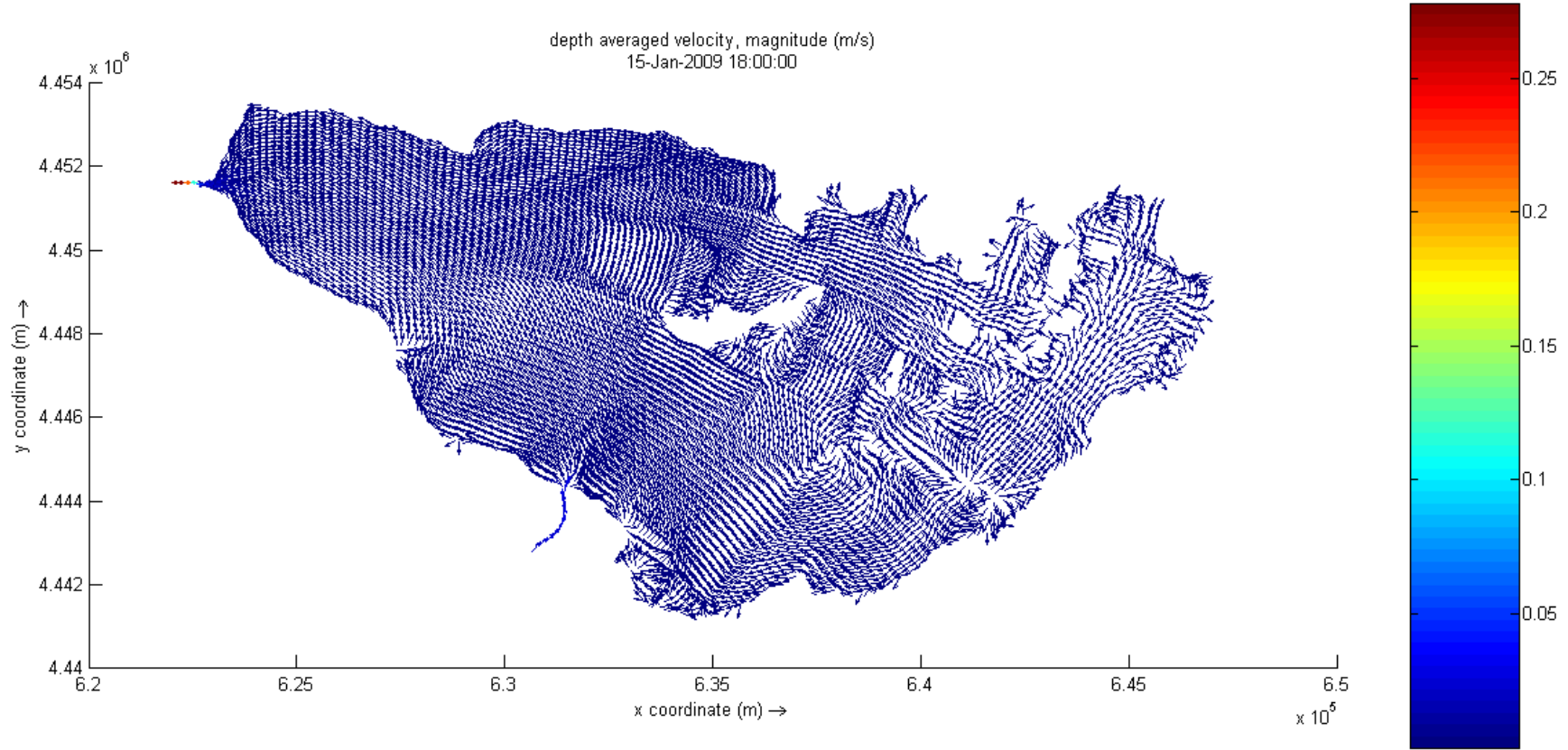
Akım hızı üzerindeki azalan vejetasyon etkisi ile yüzey akış hızlarını daha çok hakim rüzgarın belirlediği düşünülmektedir.



Şekil 5.60 15 Ocak 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

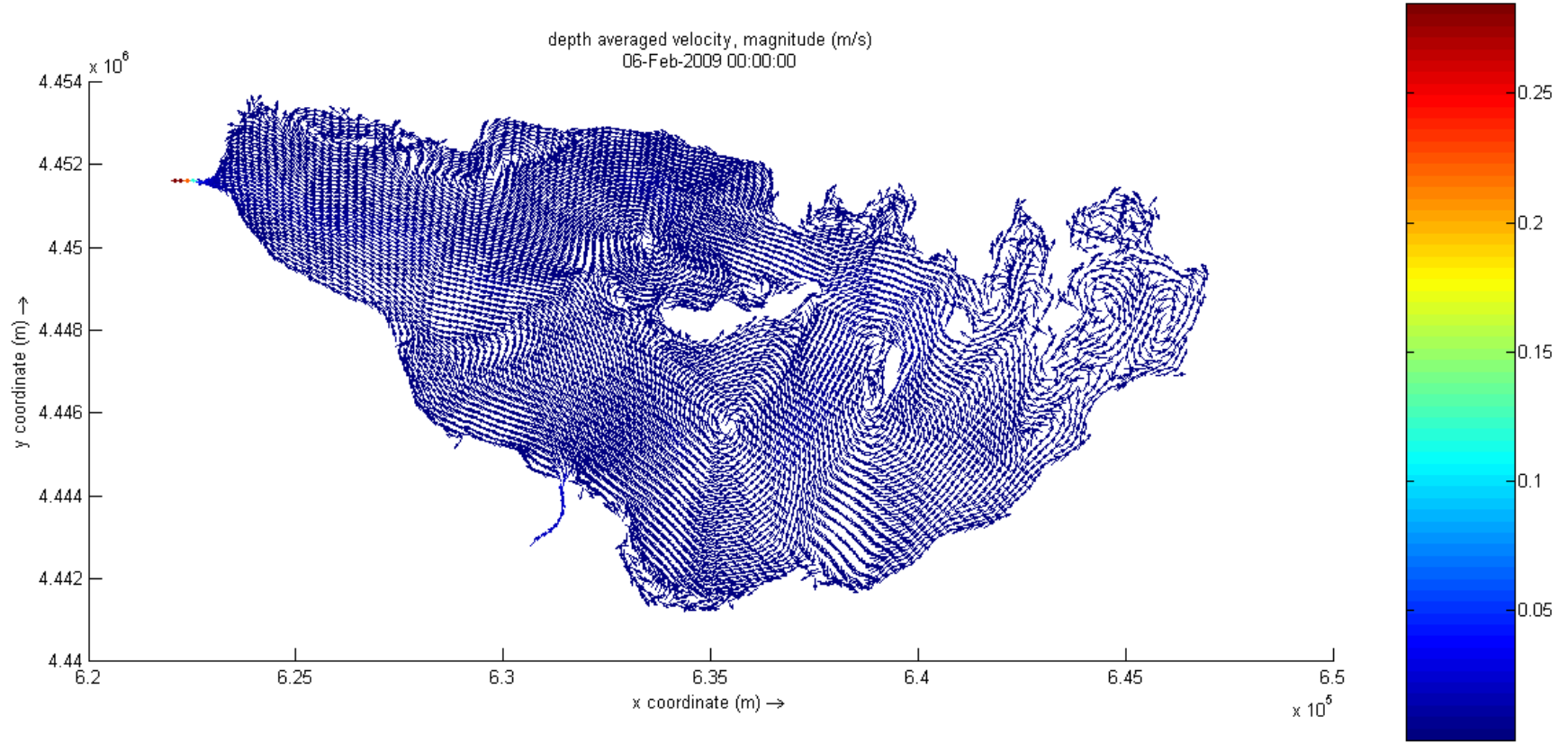


Şekil 5.61 15 Ocak 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



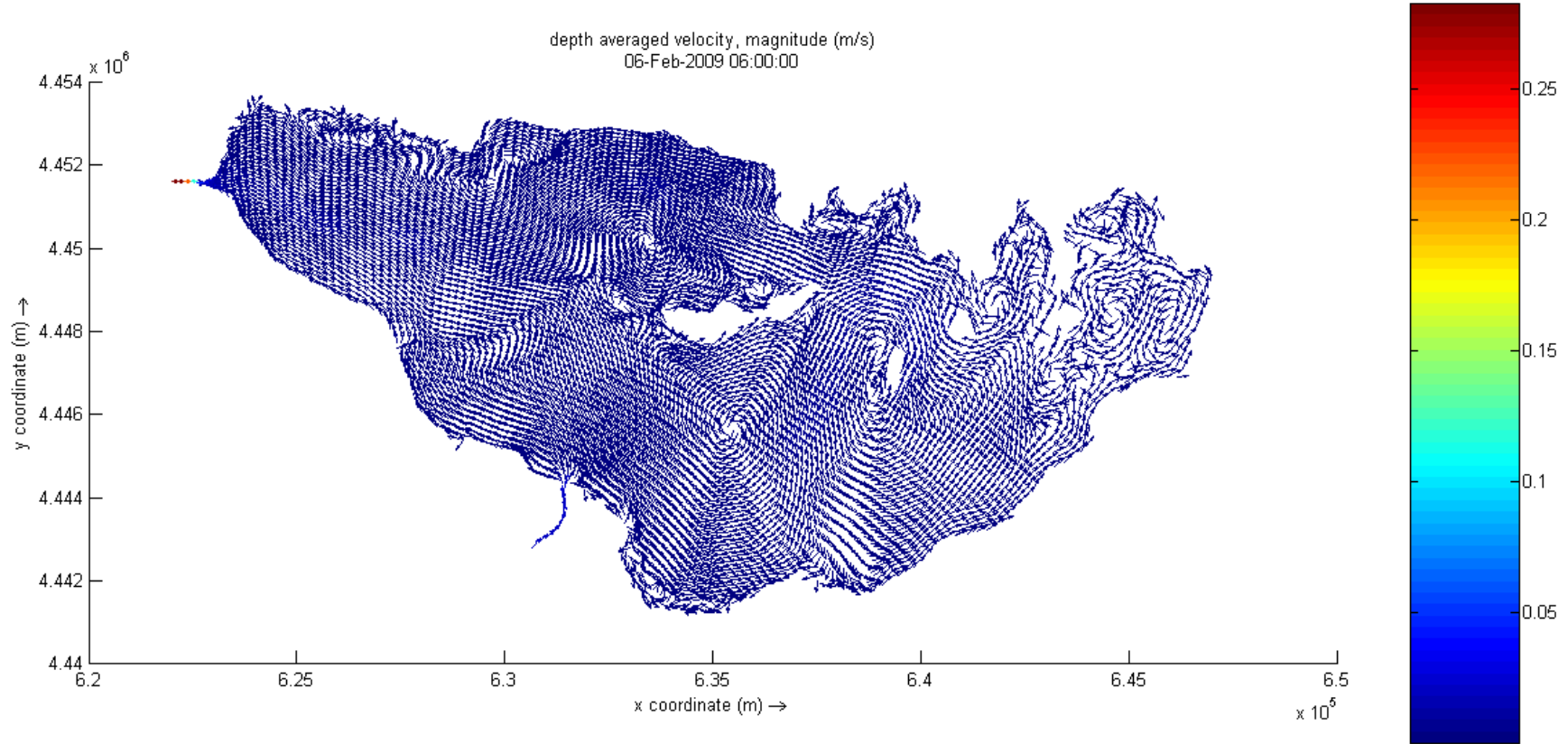
Şekil 5.62 15 Ocak 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



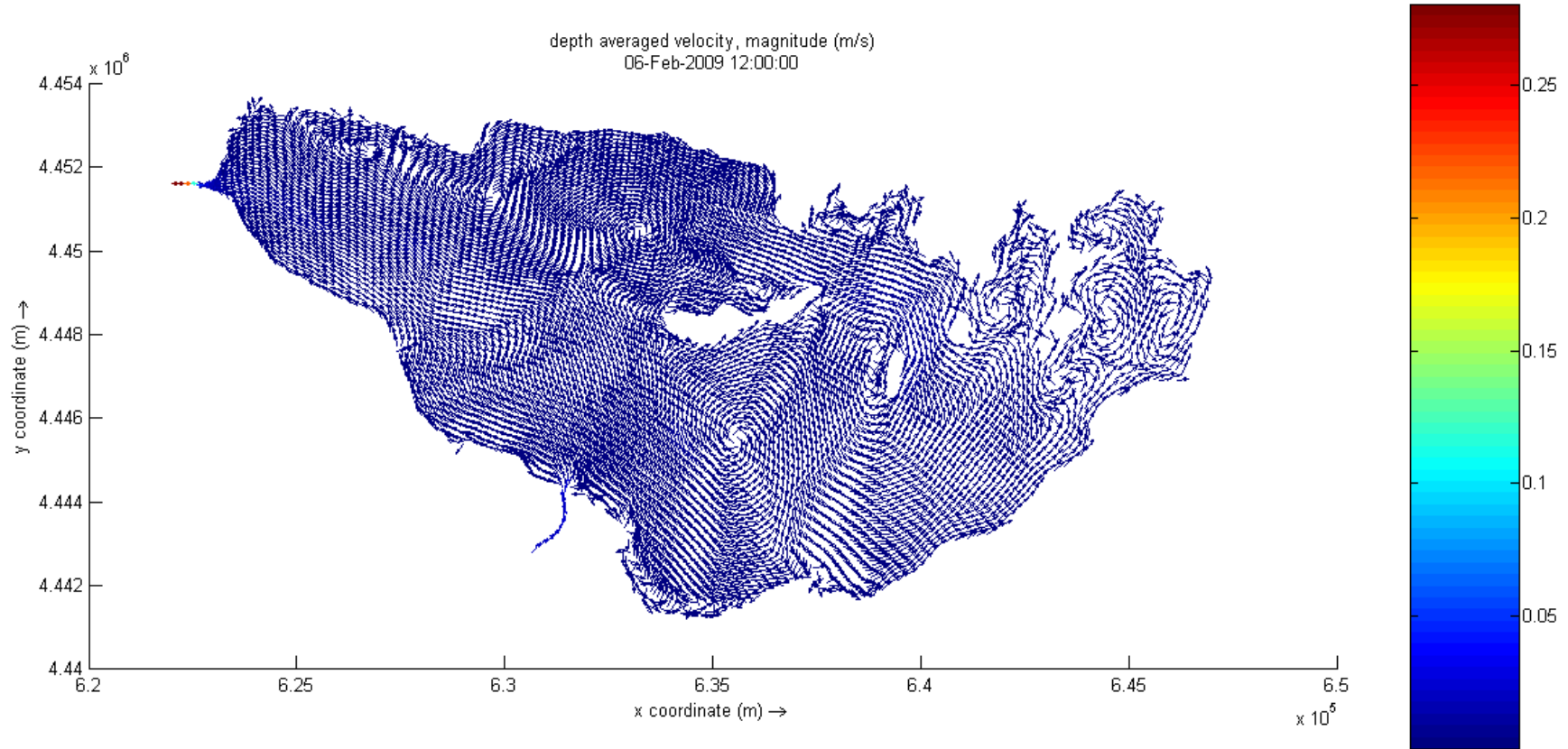


Şekil 5.63 6 Şubat 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

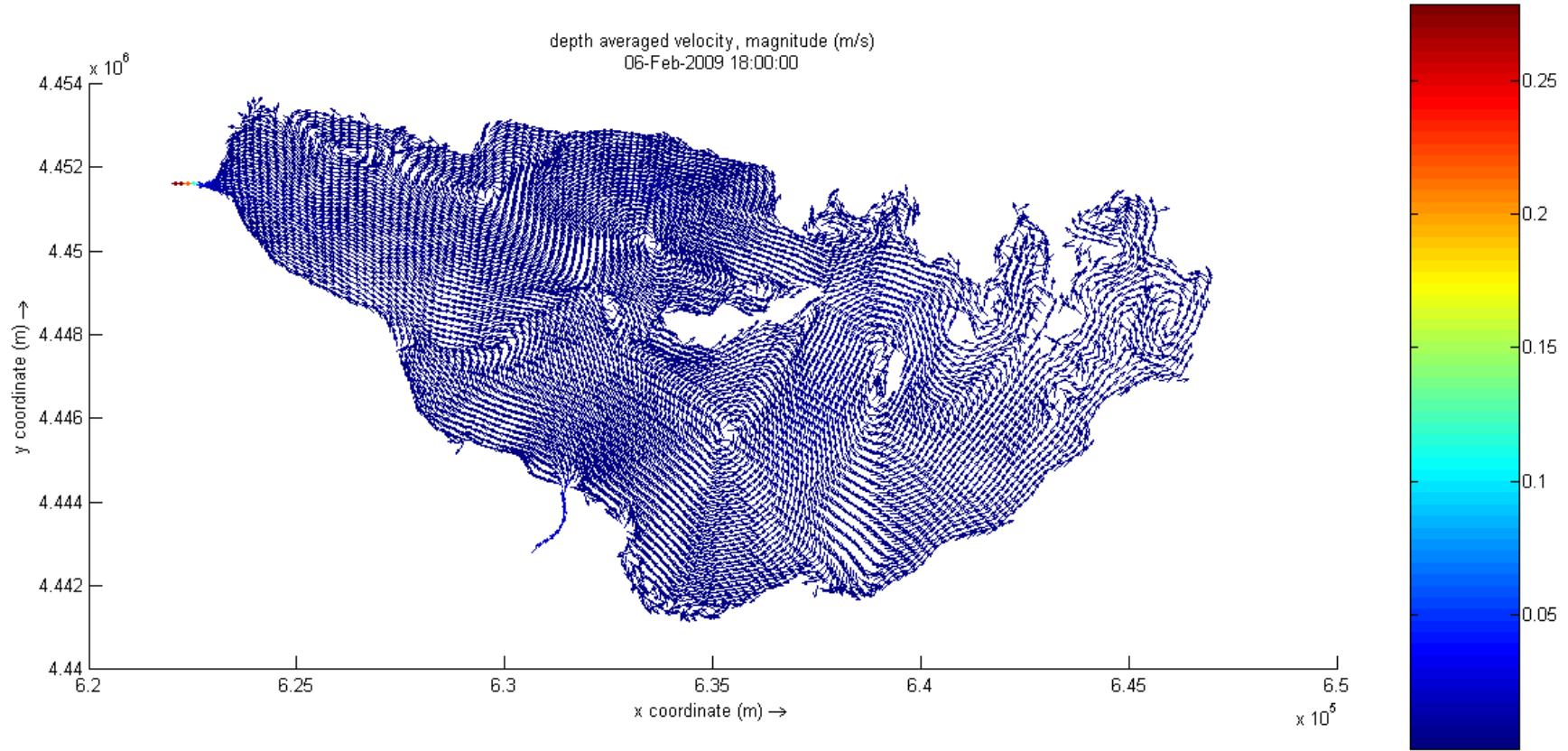




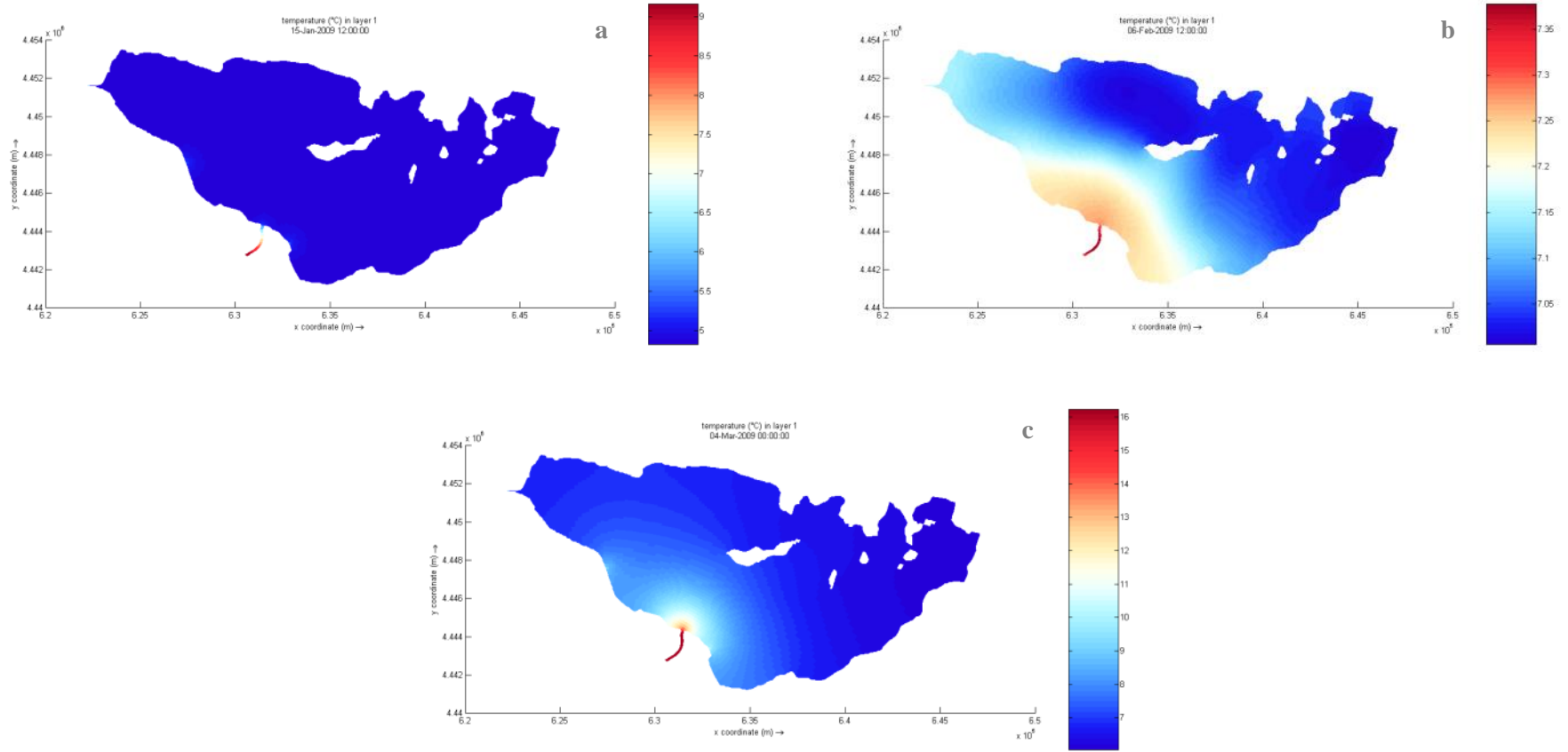
Şekil 5.64 6 Şubat 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.65 6 Şubat 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.66 6 Şubat 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



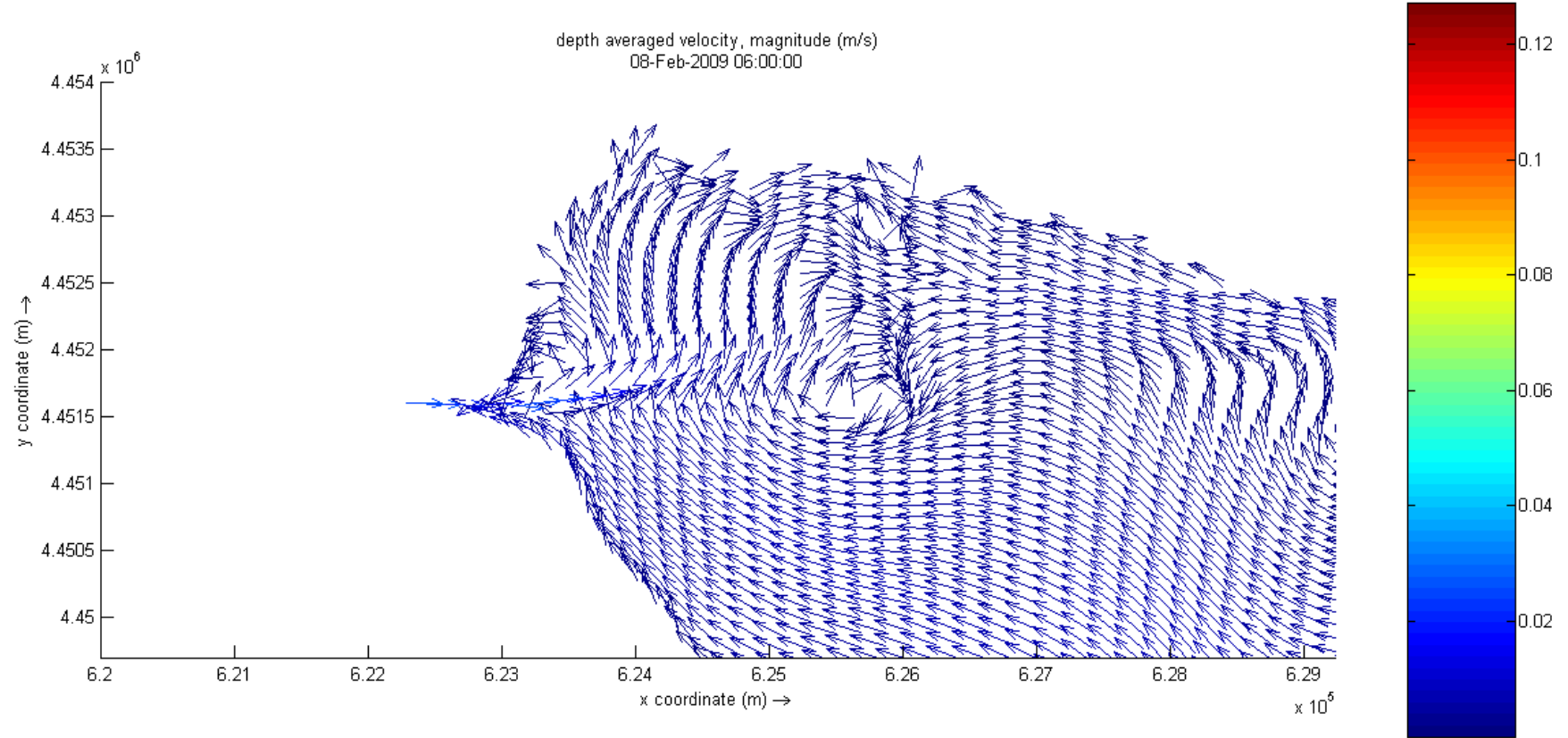
Şekil 5.67 Dönem-3 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı  
a) 15 Ocak b) 6 Şubat c) 4 Mart

Vejetasyonun su sıcaklığı üzerinde etkisinin gözlenmediği diğer dönemlerde olduğu gibi görülmüştür. S-1 koşulu altındaki durumlar geçerliliğini korumaktadır.

Gerek arazi çalışmaları gerekse su bütçesi çalışmaları sırasında edinilen bilgilerden ve literatürdeki bilgilerden Kocasu Çayı'ndan geri beslemeler olduğu bilinmektedir. Örneklem süreci içerisinde özellikle Ocak ve Şubat aylarının bazı günlerinde Kocasu Çayı'nda geri beslemeler tespit edilmiştir. Bu günler, 27-28-29 Ocak ile 9-10-13-14-15 Şubat tarihleridir.

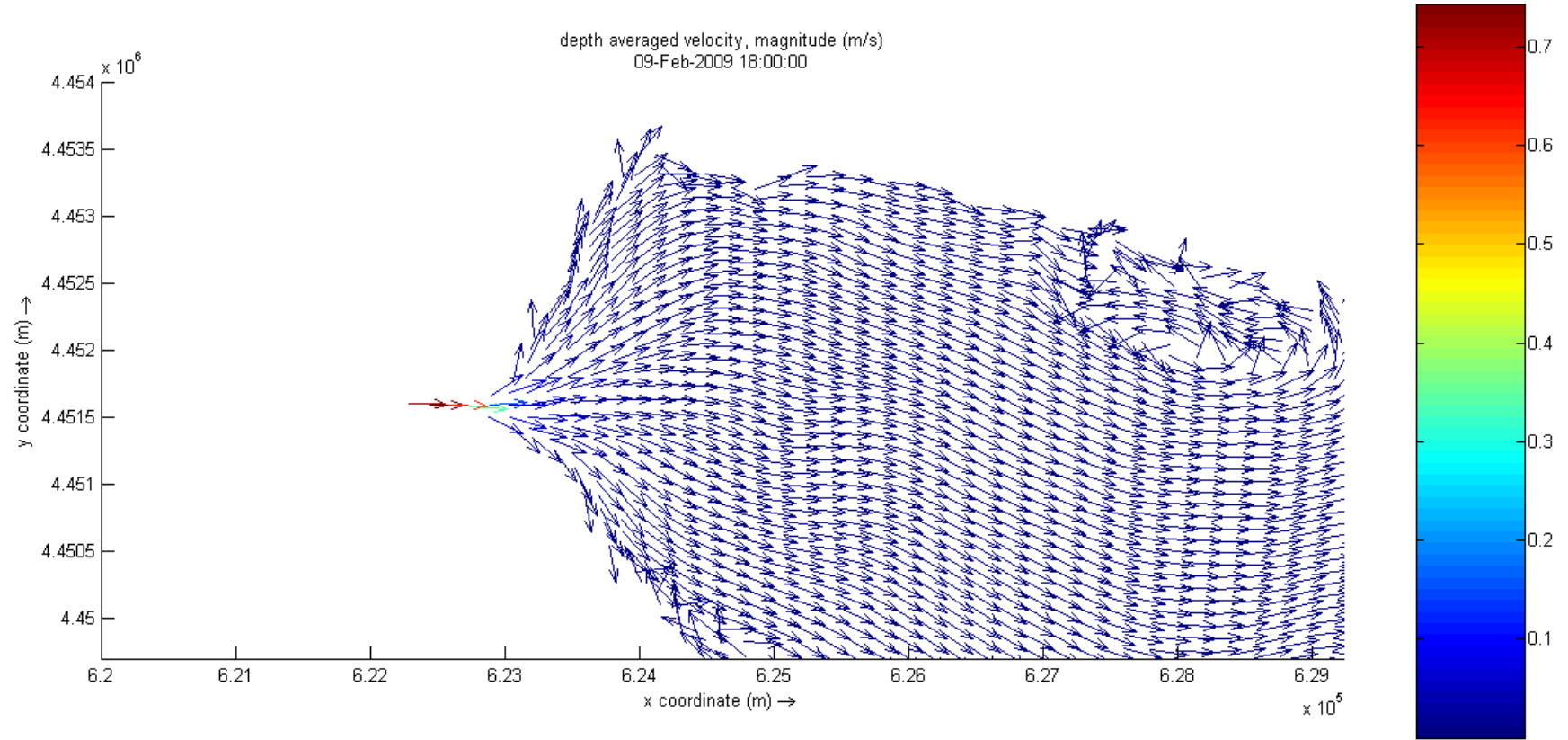
Modelleme çalışmalarında tespit edilen günler, Dönem-3 içerisinde ele alınmış ve örnek olarak Şubat ayındaki günlerde geri beslemenin başlangıç ve bitiş periyotları irdelenmiştir.

Şekil 5.68'de 8 Şubat tarihinde geri beslemenin başladığı görülmektedir. Kocasu Çayı'ndan geri beslenen suyun gölden çıkış eğilimde olan suyla karşılaştığı ve akış potansiyelini yitirdiği anlaşılmaktadır. Daha sonrasında akışın 9 Şubat tarihinde 0,7 m/sn ile en yüksek seviyesine gelerek gölü beslediği ve 10 Şubat tarihinde ise göldeki suyun seviyesindeki artışla beraber gölün boşalma eğilimine geçtiği ve Kocasu Çayı'ndan gelen akımla karşılaşarak akış potansiyelini yavaşlattığı gözlemlenmektedir.

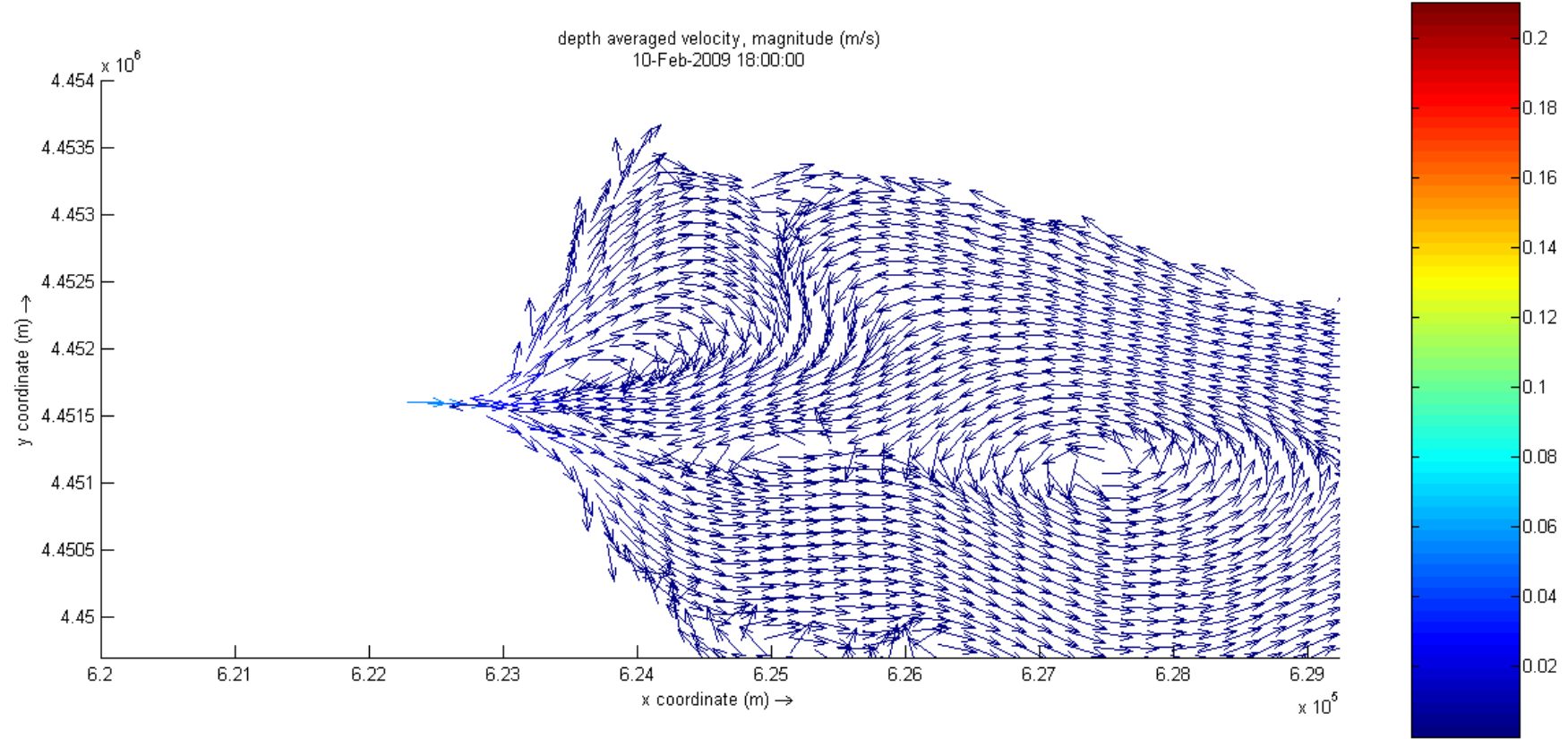


Şekil 5.68 8 Şubat tarihinde Kocasu Çayı'ndan Başlayan Geri Besleme





Şekil 5.69 10 Şubat tarihinde Kocasu Çayı Geri Beslemesinin Akım Hızı



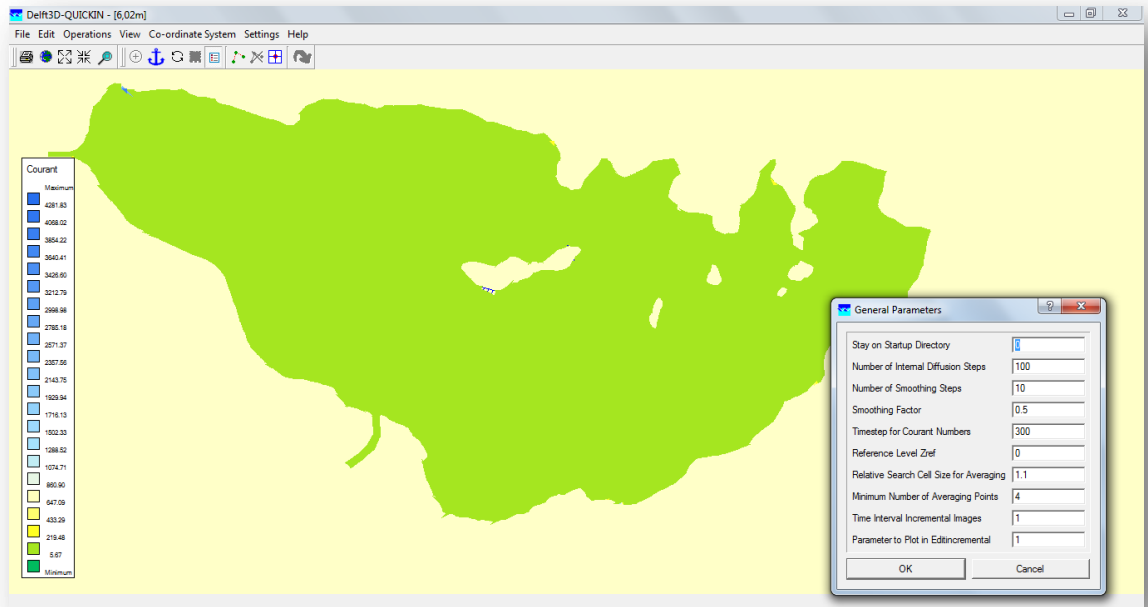
Şekil 5.70 10 Şubat tarihinde Kocasu Çayı'nda Geri Beslemenin Bitişi



Akım hızı ve yönü ile sıcaklık değişiminin dönem içerisinde daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla oluşturulan simülasyonlar Ek-3’de gösterilmiştir

#### 5.2.4. Dönem-4

4 Mart 2009 ile 15 Mayıs 2009 tarihlerinin incelendiği son modelleme döneminde 4 adet örnekleme günü bulunmaktadır. Su seviyesindeki değişimler nedeniyle farklı tanımlanan batimetri, seçilen zaman aralığının doğruluğunun kontrolünü gerektirmektedir. Önceki dönemlerde olduğu gibi QUICKIN modülünden yararlanarak Courant sayısı ve zaman aralığı ilişkisi kontrol edilmiştir.

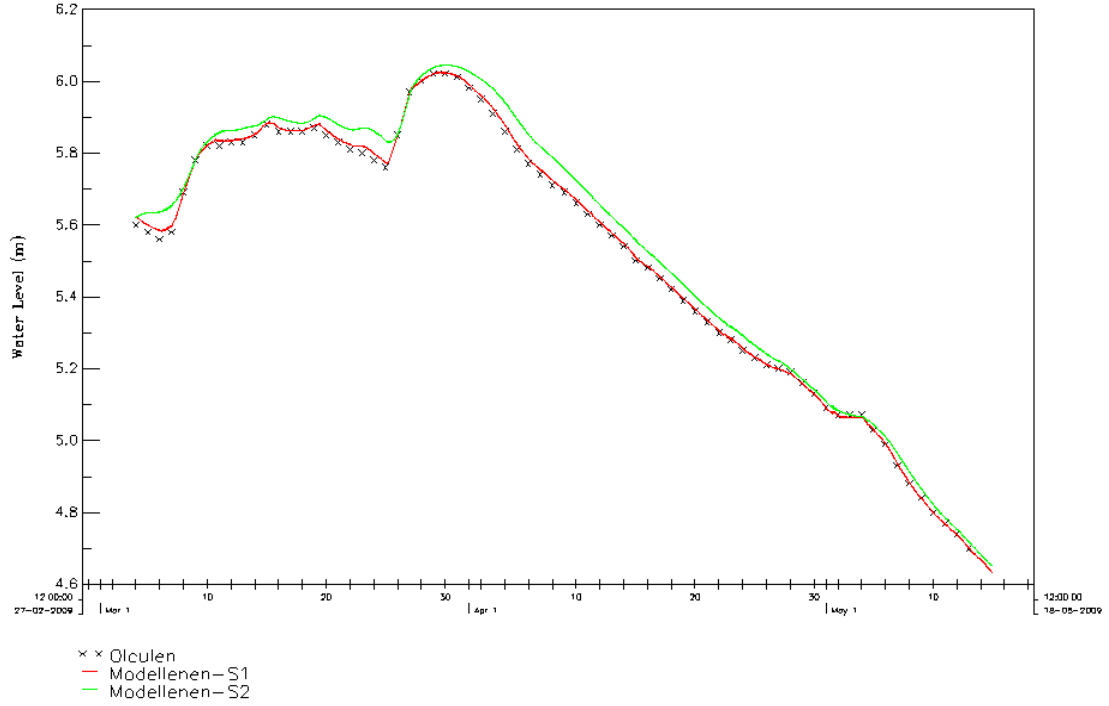


Şekil 5.71 Dönem-4 Courant Sayısı ve Zaman Aralığı Arasındaki İlişki

Seçilen 15 dk’lık zaman aralığı için göl genelinde Courant sayısı 11,34 değerini alırken 5 dk’lık zaman aralığı için 5,67 değerini aldığı Şekil 5.71’de görülmektedir. Anonim (2010) tarafından sınır değeri sağladığı için 5 dk zaman aralığı için uygun bulunmuş, simülasyonlar bu doğrultuda çalıştırılmıştır.

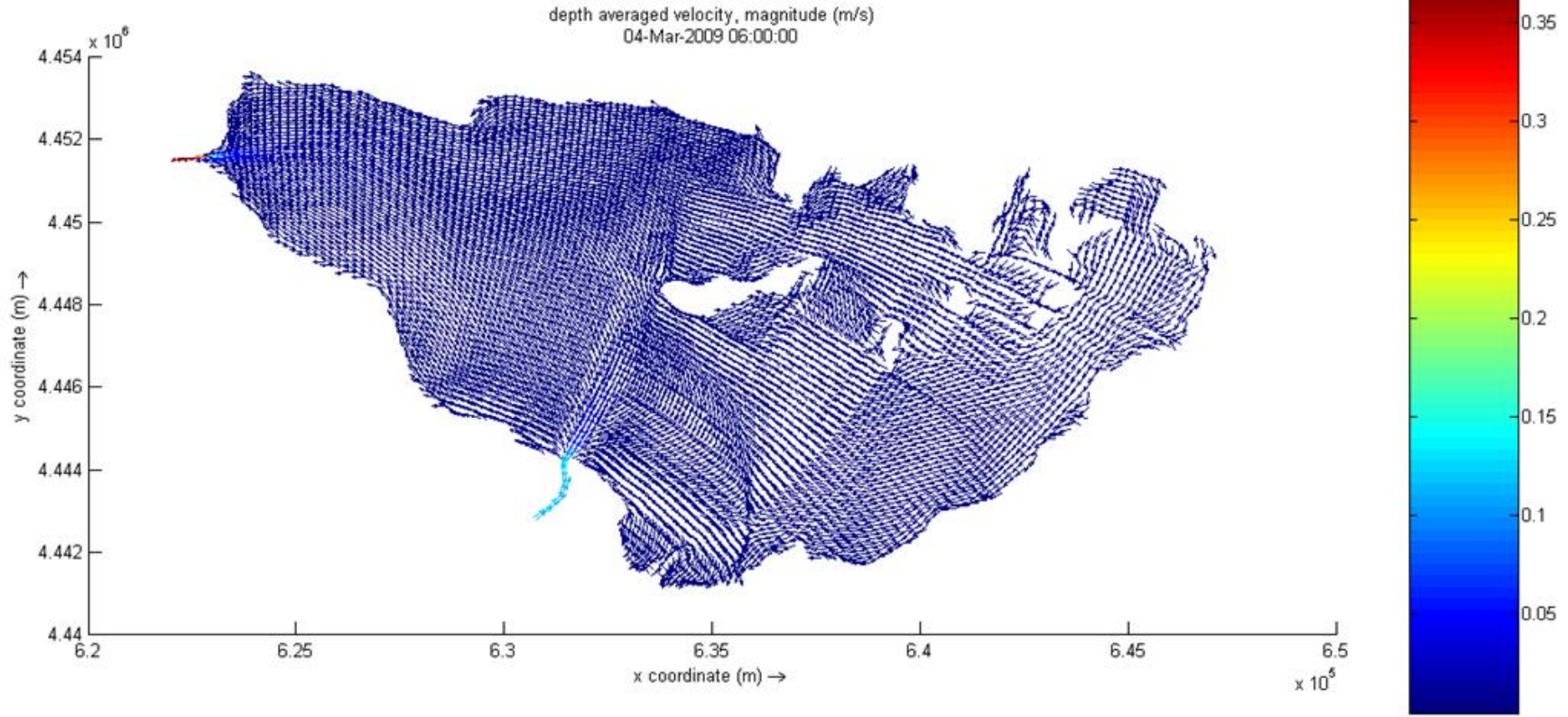
Dönem-4’e ait sürtünme katsayılarının tahminlenmesine yönelik senaryo ve arazi ölçüm sonuçları Grafik 5.23’de karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları ile arazi ölçüm sonuçları tüm dönem içerisinde aynı trendi yakalamıştır. Vejetasyonun varlığının

hidrodinamik koşullara etkisinin irdelendiği 2. senaryoda göl seviyesinin arttığı gözlenmekle beraber, dönem sonunda diğer senaryo sonuçları ile eşleşmiştir.

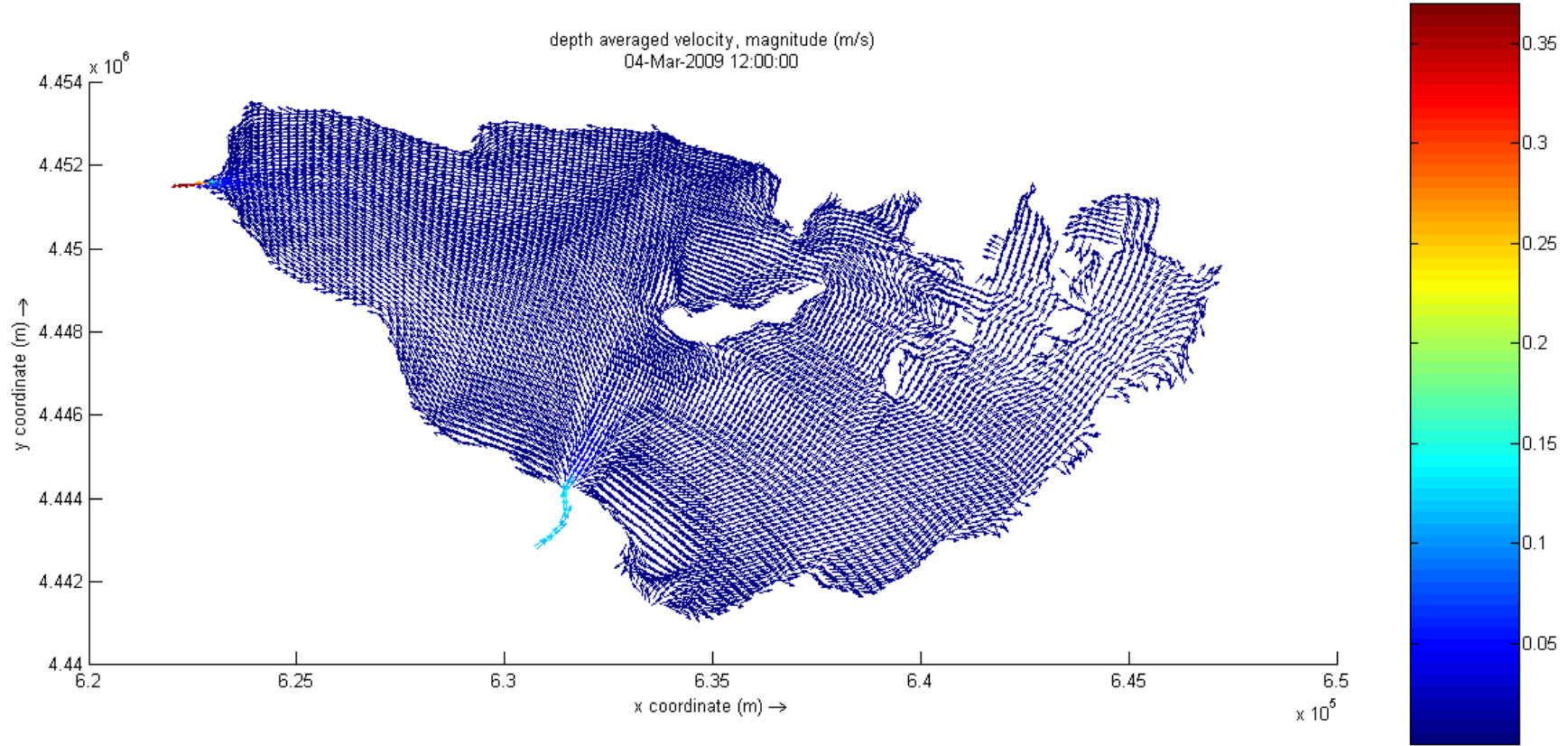


**Grafik 5.23** 4 Mart – 15 Mayıs Senaryo Sonuçları ve Ölçülen Değerlerin Kıyaslanması

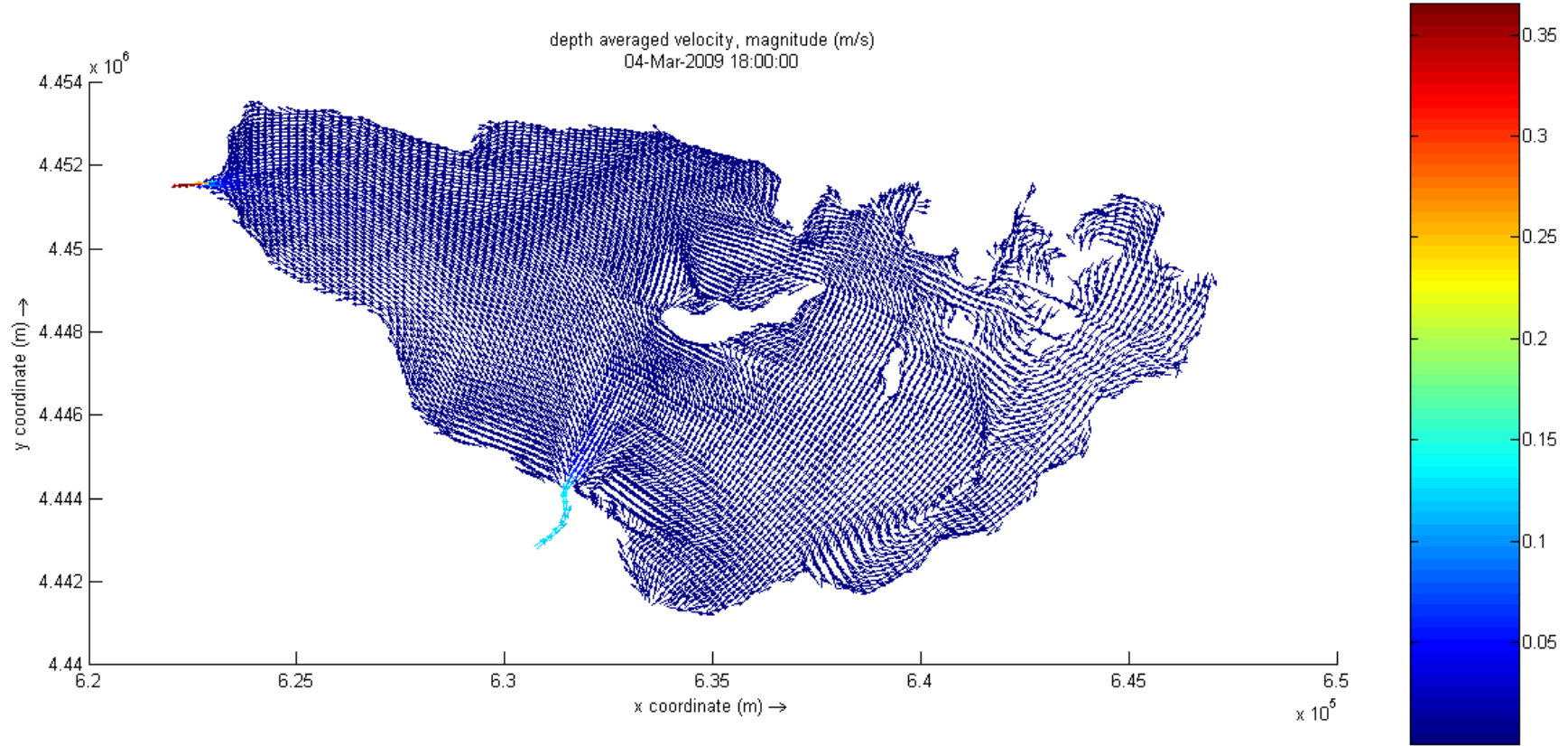
Çalışma sürecini kapsayan son dönemdeki simülasyonların ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla numune alma günlerine ait çıktıları haritalaştırılarak değerlendirilmiştir. Dönem başlangıcında göl genelinde akım hızının 0,05m/sn, MKP Çayı'ndan gelen suyun akımının 0,15 m/sn ve gölü terk eden suyun 0,35 m/sn seviyesinde olduğu görölmektedir. Gün içerisinde değişken olmasına karşın düşük hızlarda esen rüzgarın etkisi diğer dönemlere göre azdır.



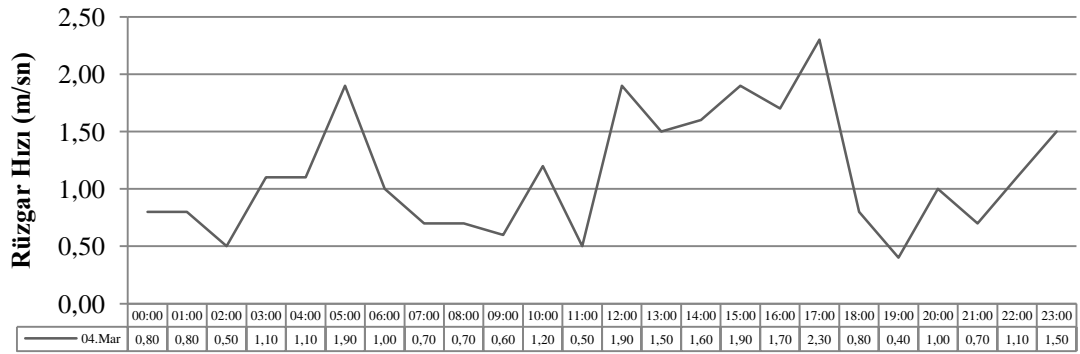
Şekil 5.72 4 Mart 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



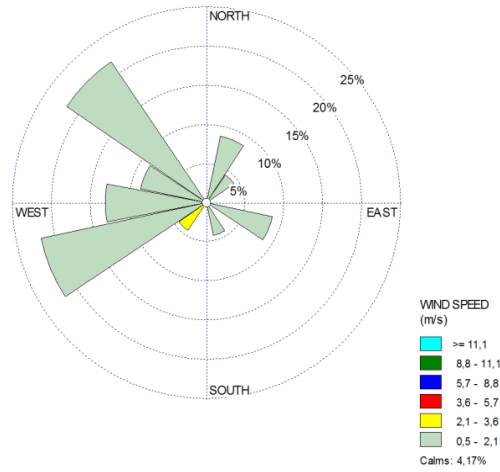
Şekil 5.73 4 Mart 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.74 4 Mart 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



**Grafik 5.24** 4 Mart 2009 Günü Rüzgar Hızı

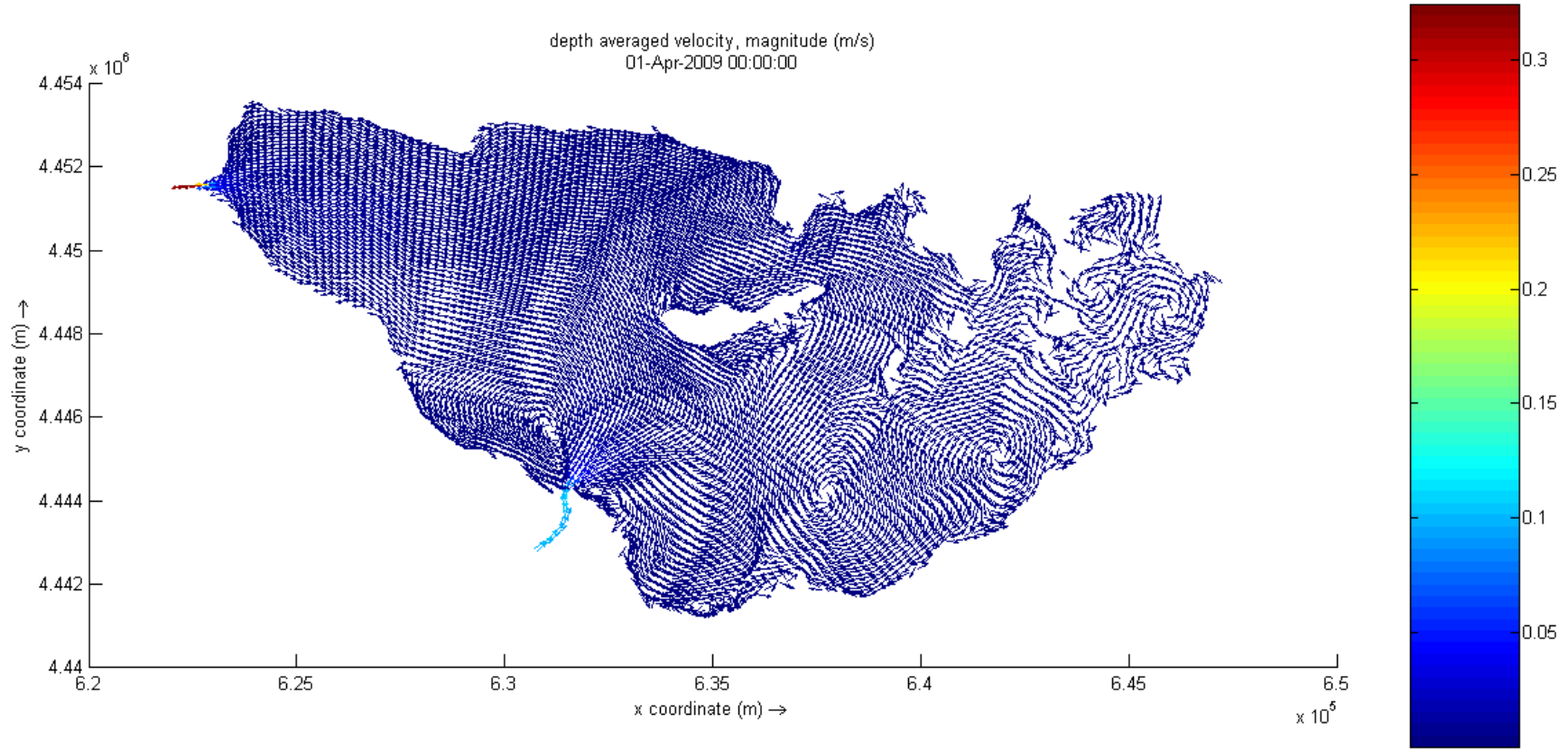


**Grafik 5.25** 4 Mart 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

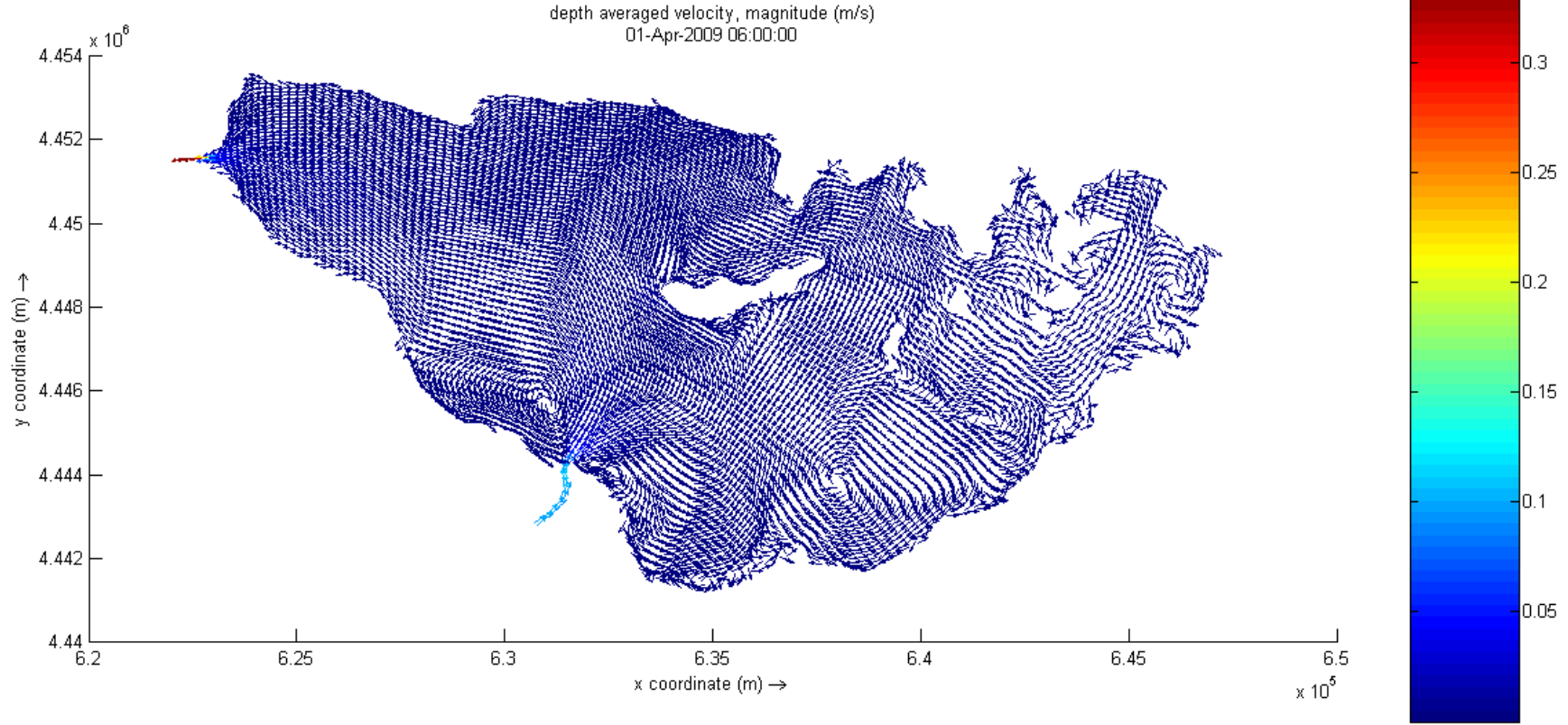
Dönemdeki diğer numune alma gününde akım hızı göl içerisinde 0,05 m/sn seviyesindeyken, Kocasu Çayı'ndan çıkan suyun 0,3m/sn'ye düştüğü görülmektedir. Günün ilerleyen saatlerinde 6,5 m/sn hıza ulaşan rüzgarın hakim olduğu gölün kuzeydoğu kesiminde özellikle adaların bulunduğu bölgede akımda yüzeysel hareketler görülmekle beraber saat 18:00'de Kocasu Çayı'ndan çıkan suyun akım hızı 0,35 m/sn'ye yükselmektedir.

Liu ve ark. (2011) belirttiği gibi, S1 koşulunda, akım koşullarının değişiminde etken faktörün rüzgar olduğu simülasyon sonuçlarından görülmektedir.



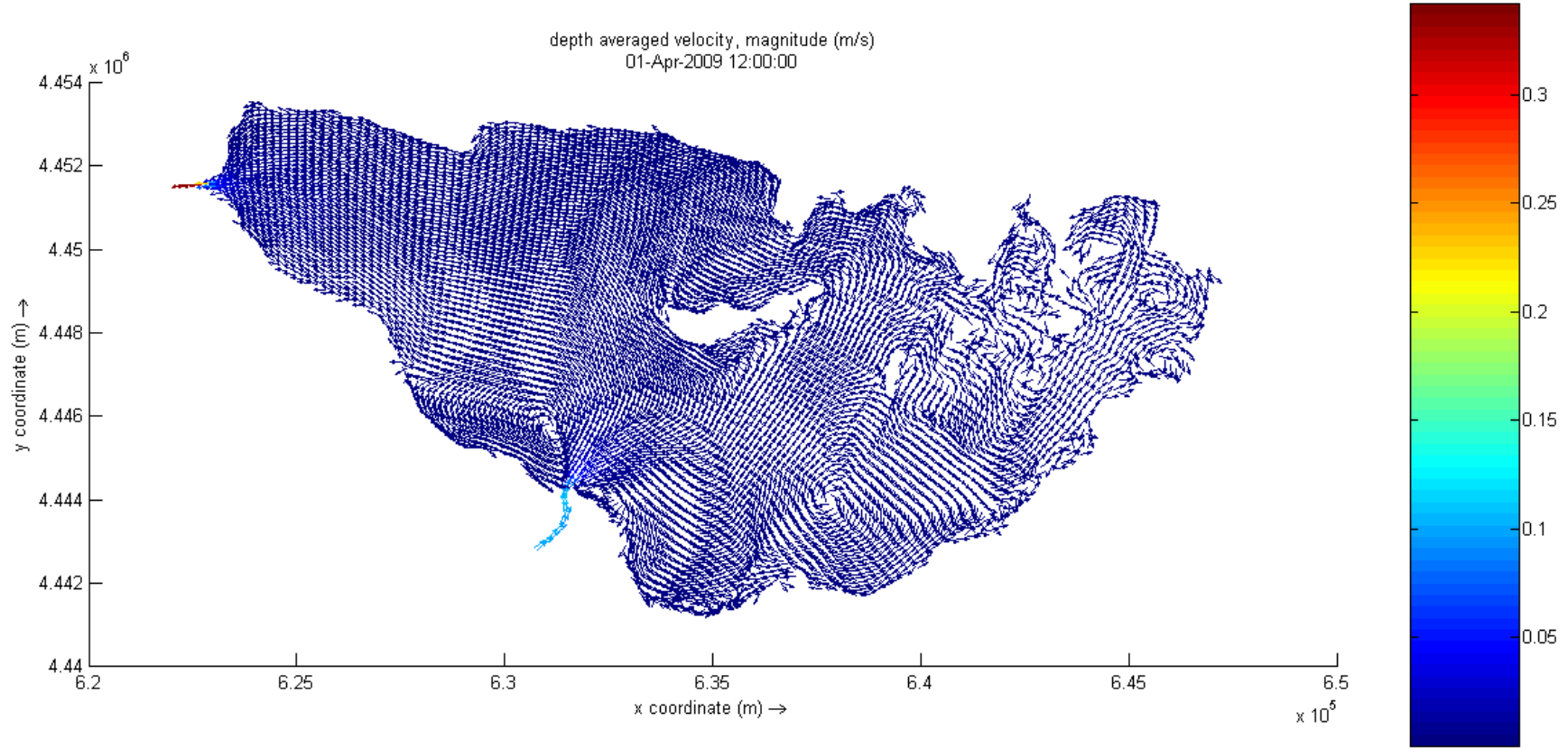


Şekil 5.75 1Nisan 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

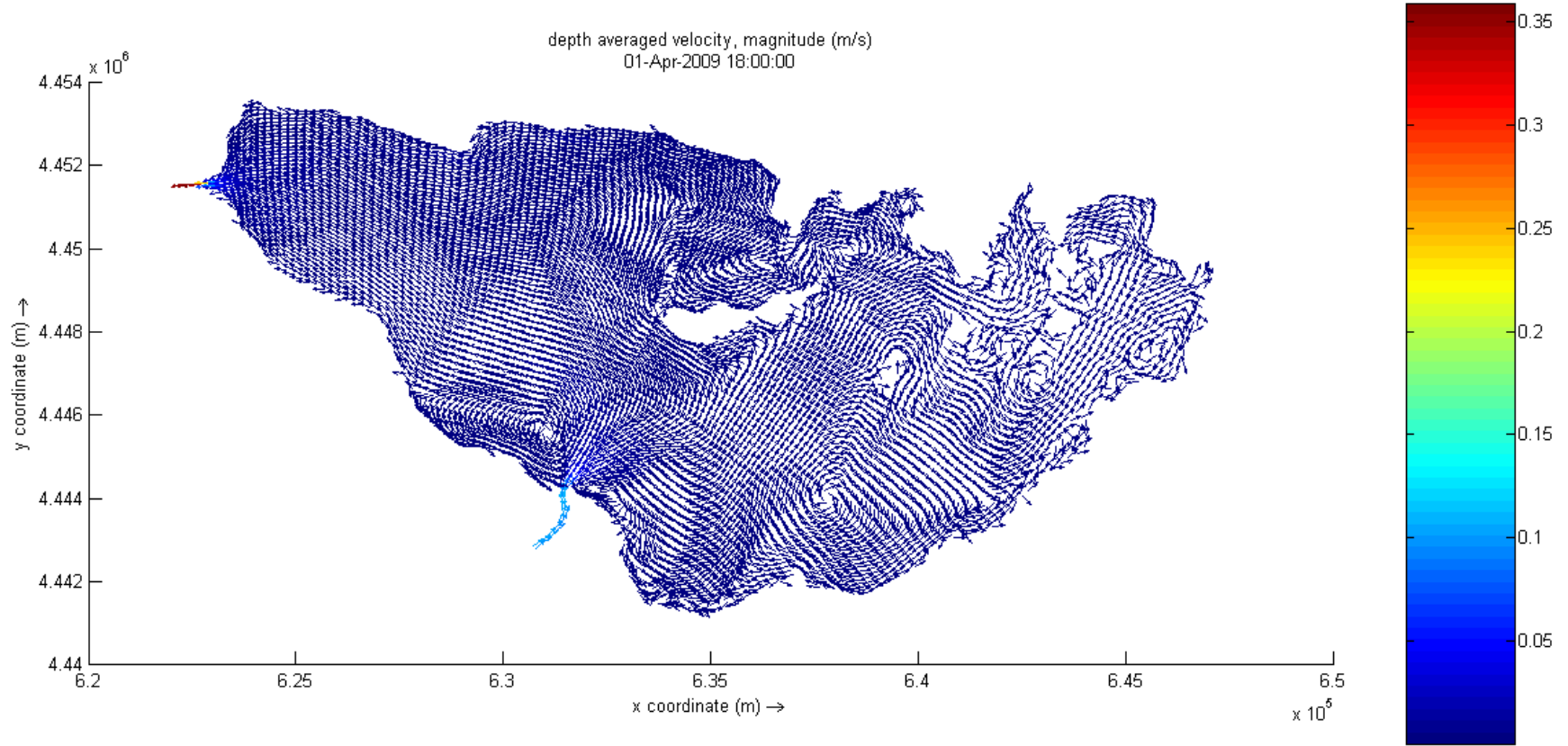


Şekil 5.76 1 Nisan 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

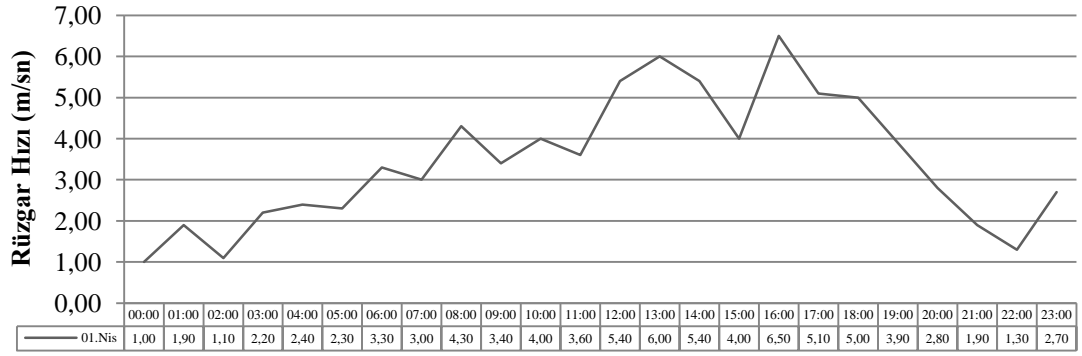




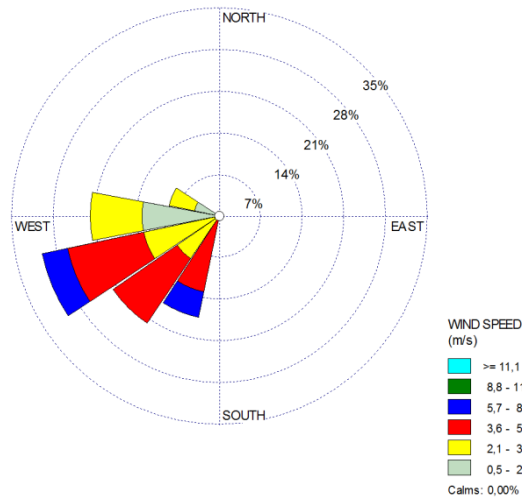
Şekil 5.77 1 Nisan 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.78 1 Nisan 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

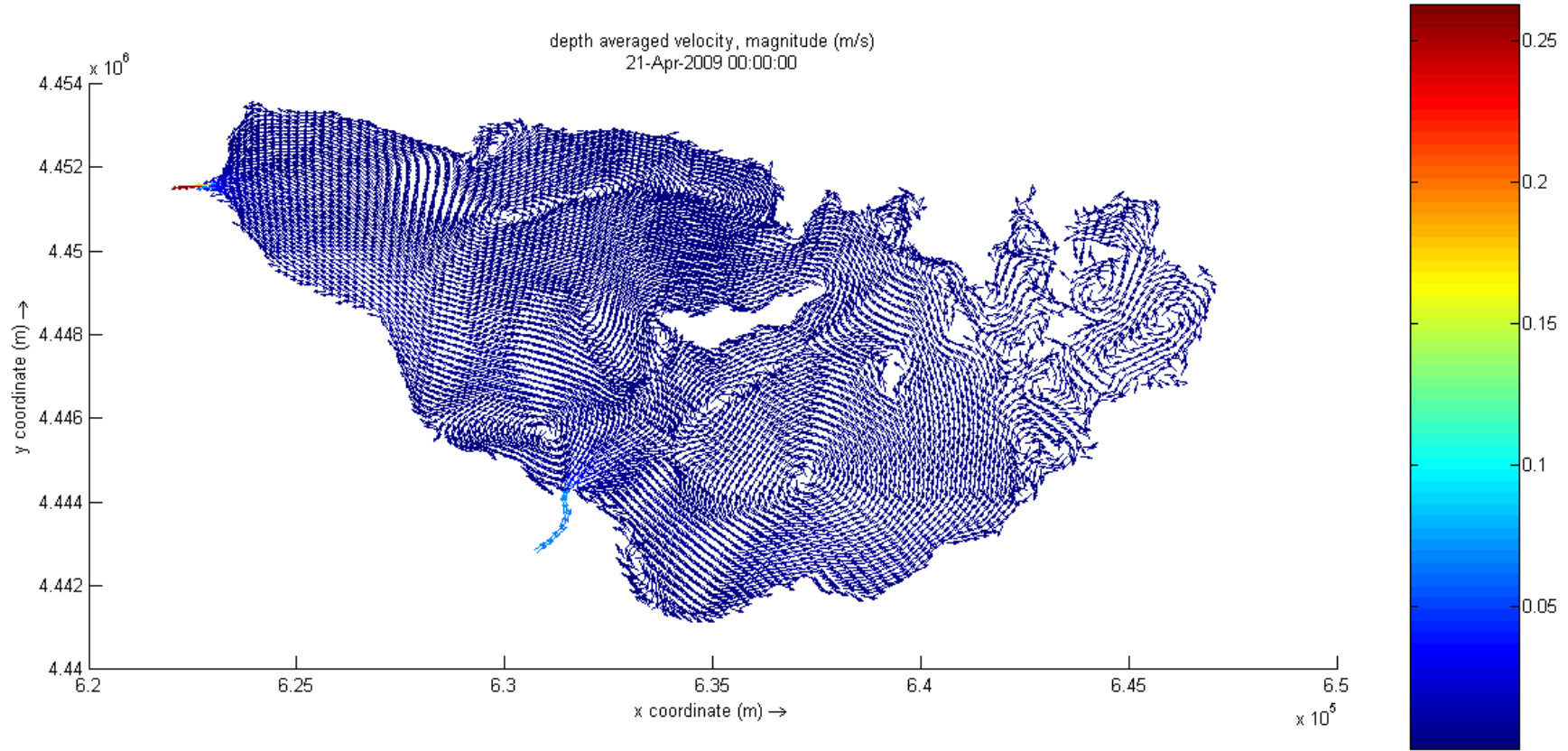


**Grafik 5.26** 1 Nisan 2009 Günü Rüzgar Hızı

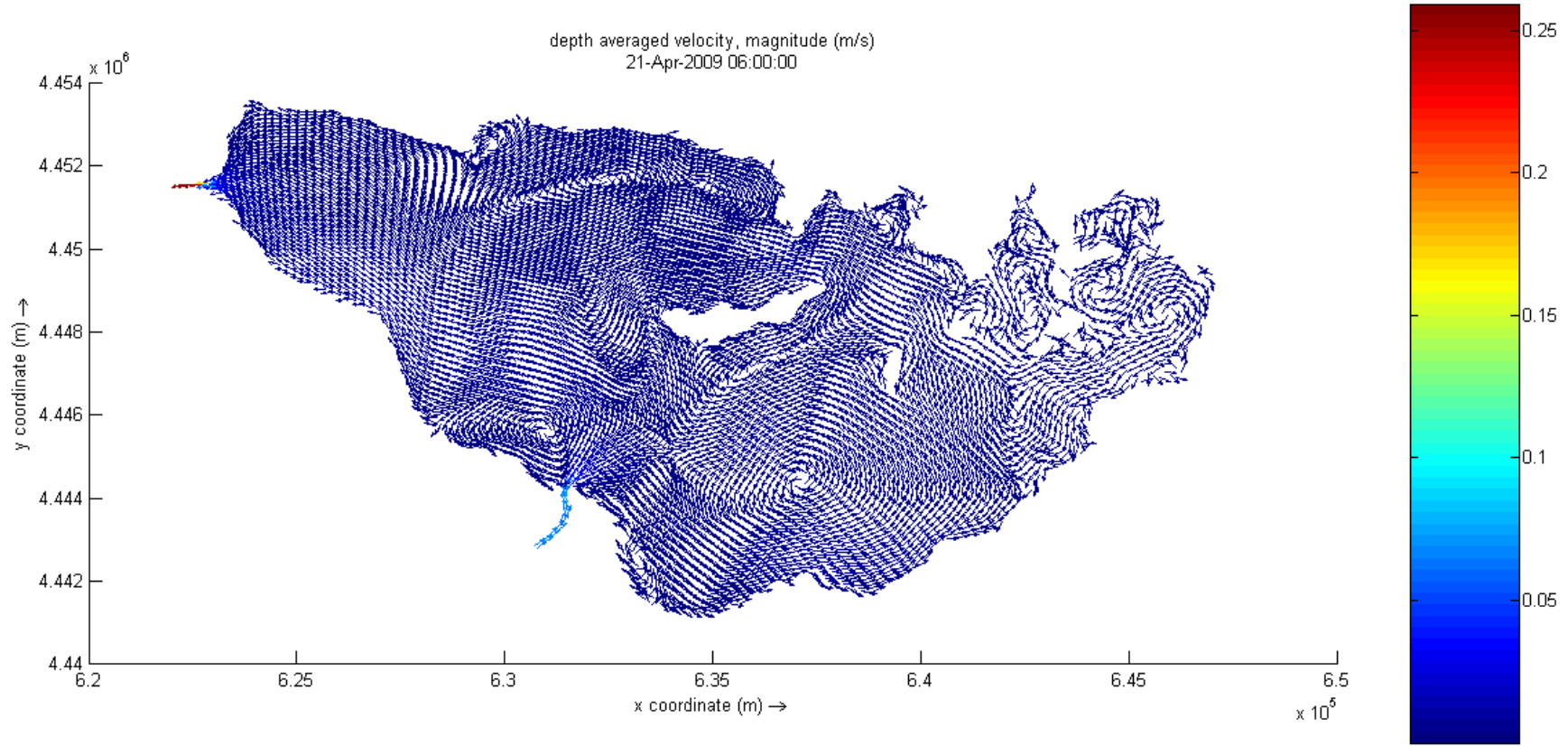


**Grafik 5.27** 1 Nisan 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

21 Nisan tarihli numune alma gününe ait simülasyon incelendiğinde göl içerisinde akım hızının siye aynı seviyede olduğu ancak gölü terk eden suyun 0,25m/sn seviyesine düştüğü görülmektedir. Kuzey doğu hakim yönüyle gölün yüzeysel su hareketlerini etkileyen rüzgarın gün içerisinde değişken ancak düşük seviyelerde esmesine karşın göldeki karışımı etkilediği düşünülmektedir.

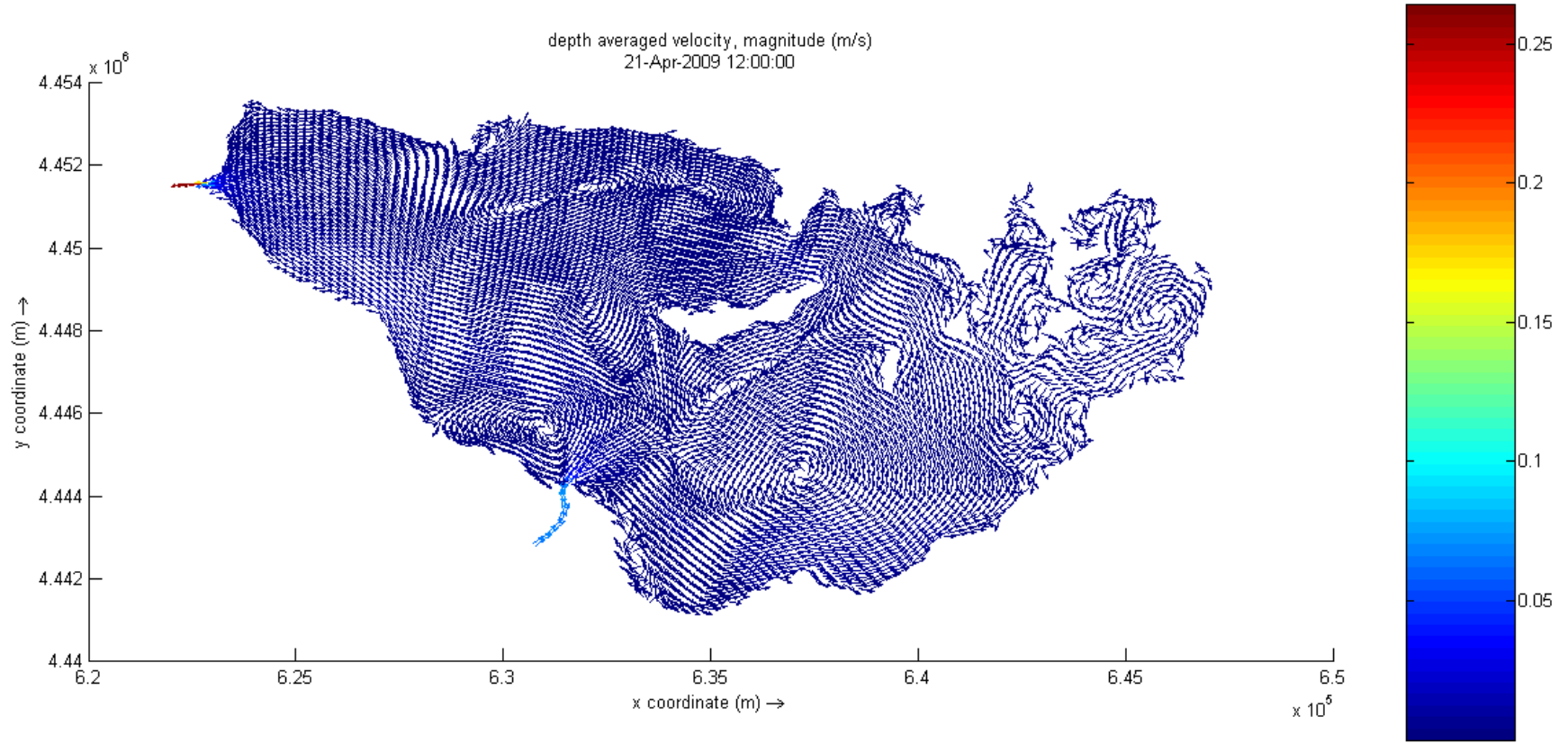


Şekil 5.79 21 Nisan 2009 00:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

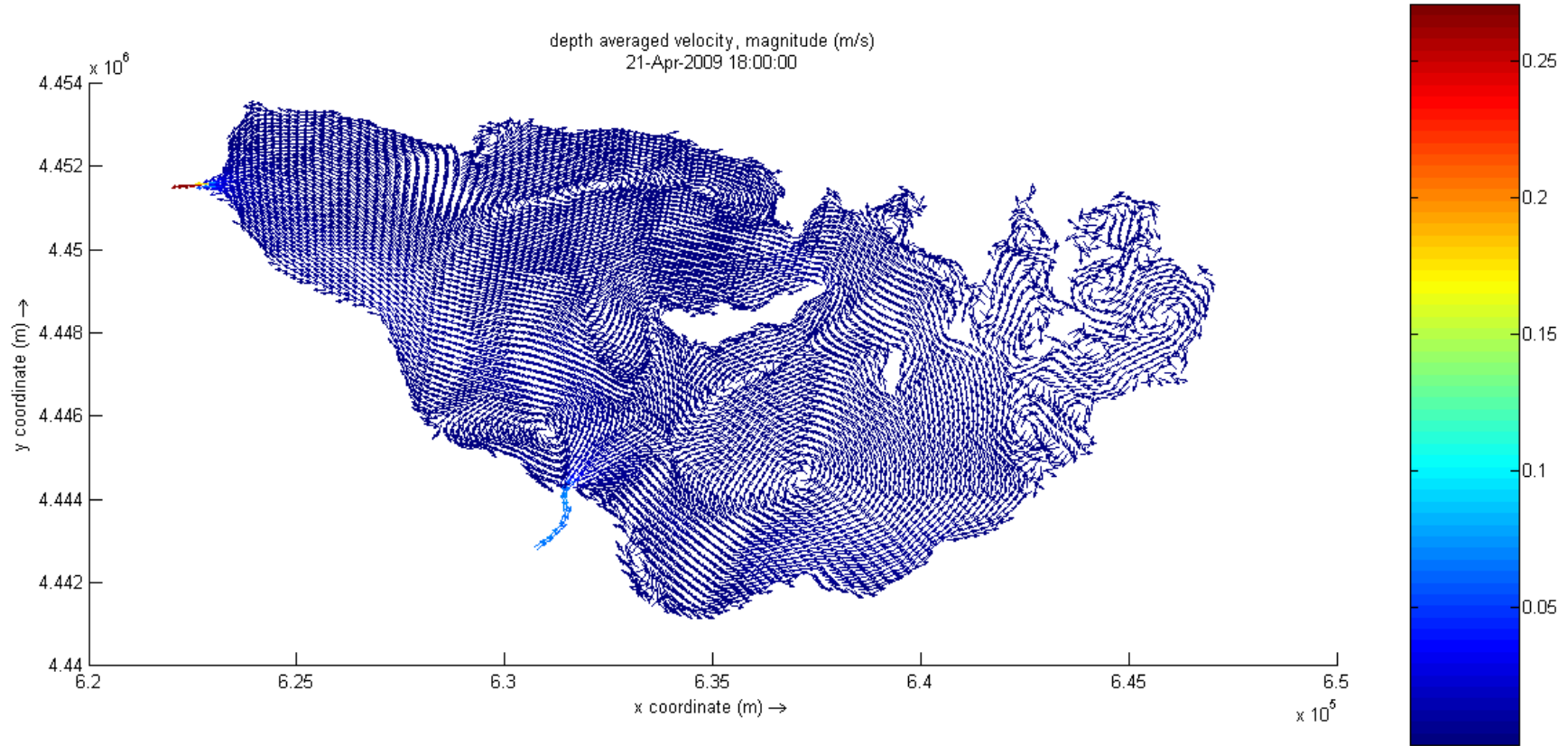


Şekil 5.80 21 Nisan 2009 06:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı

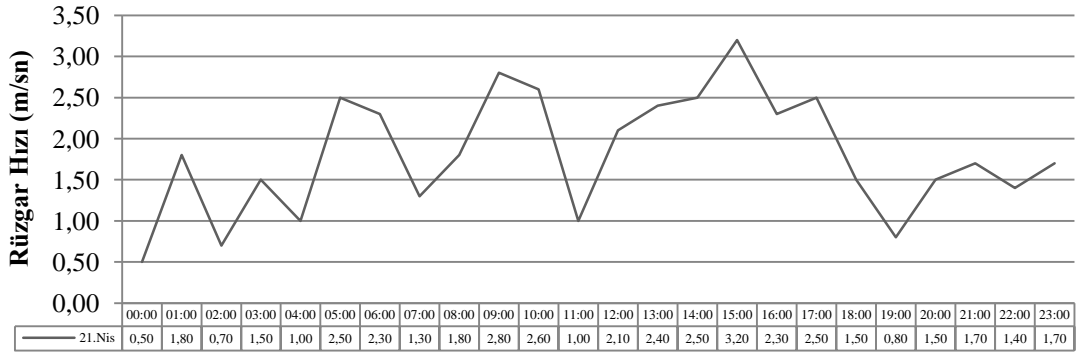




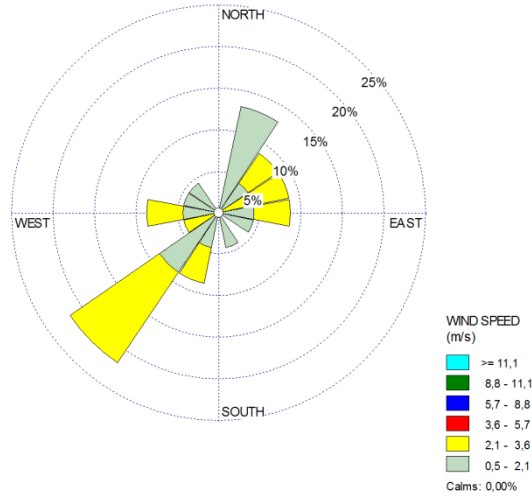
Şekil 5.81 21 Nisan 2009 12:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.82 21 Nisan 2009 18:00 S1 Simülasyonu Akım Hızı



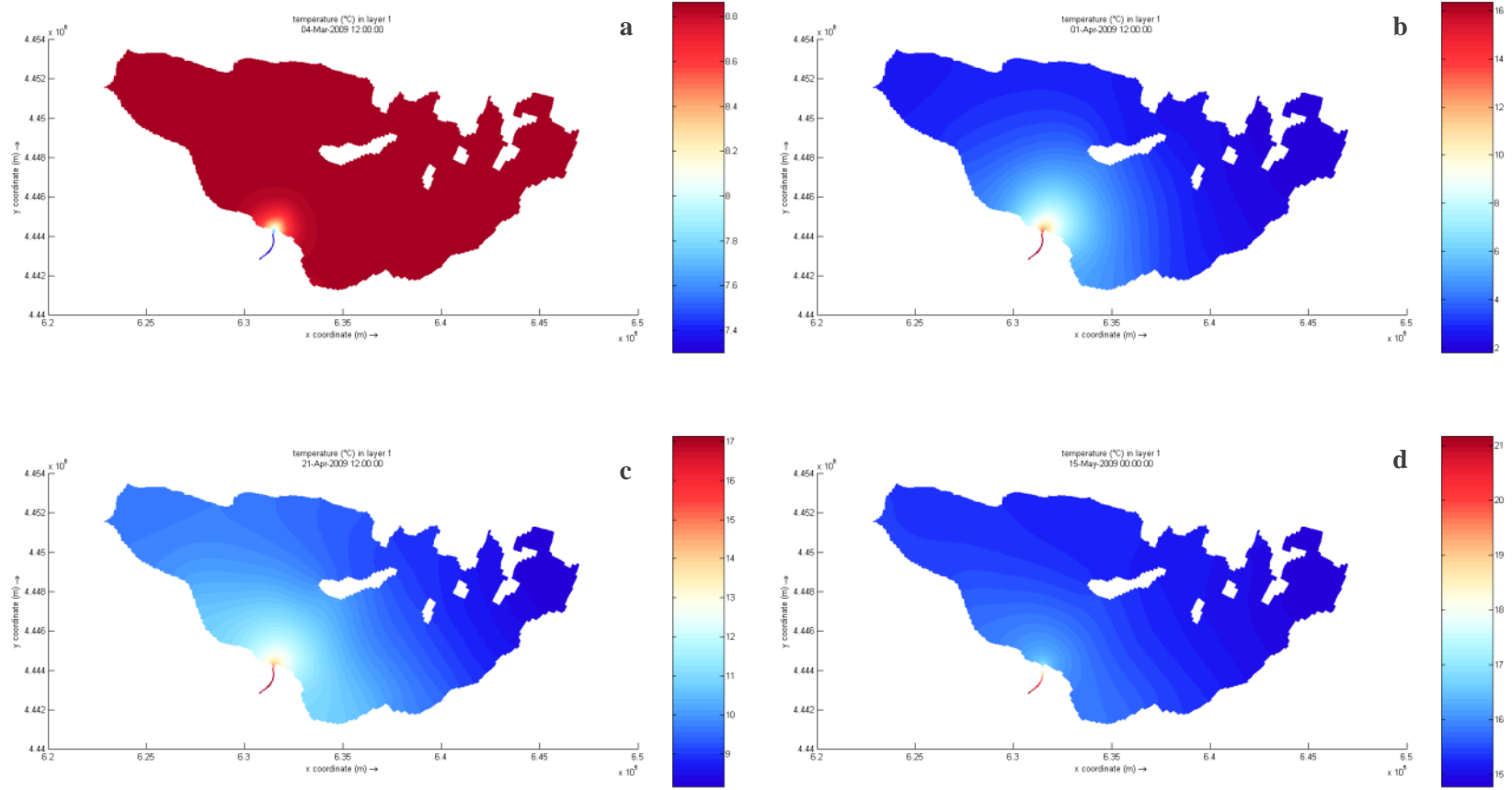
**Grafik 5.28** 21 Nisan 2009 Günü Rüzgar Hızı



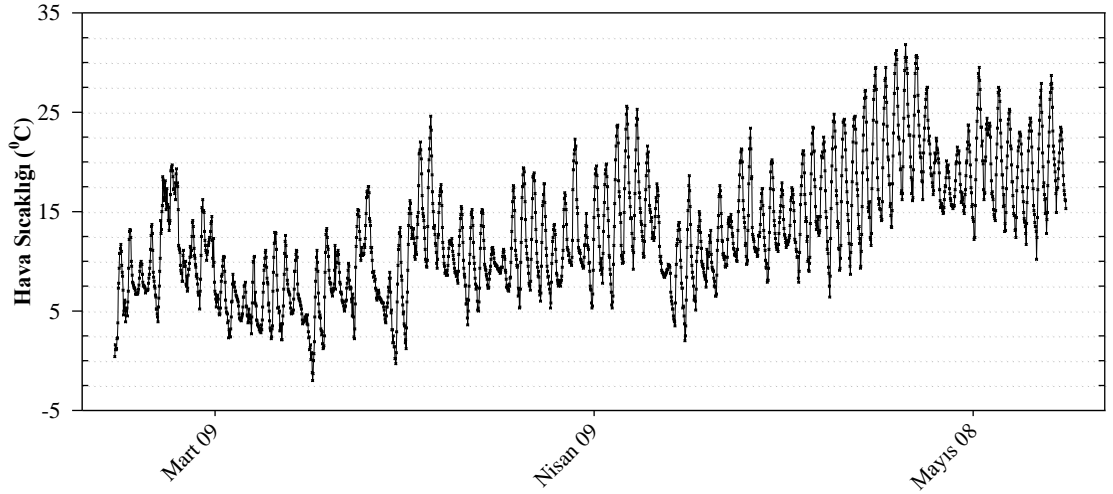
**Grafik 5.29** 21 Nisan 2009 Günü Rüzgar Gülü (Akım Yönü)

4. döneme ait vejetasyon bulunmayan sabit taban pürüzlülüğünü modelleyen senaryoya ait sıcaklık simülasyonunda, gölün sıcaklığını hava sıcaklığının yanında MKP Çayı'ndan gelen suyun sıcaklığının etkilediği görülmektedir. 4 Mart tarihinde göl suyu sıcaklığı 8,8°C iken MKP Çayı suyu 7,4 °C'dir. Dönemin son günü 15 Mayıs tarihine kadar göl suyu ve MKP Çayı suyu sıcaklığı artmış, gölün Akçalar bölgesinde göl geneline göre su sıcaklığının daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun bölgenin en durgun yer olması nedeniyle oluştuğu, akım koşullarından etkilenmediği için MKP Çayı suyunun sıcaklığının bu bölgeye gelmediği düşünülmektedir.





Şekil 5.83 Dönem-4 Senaryo-1 Sıcaklık Dağılımı  
a) 4 Mart b) 1 Nisan c) 21 Nisan d) 15 Mayıs

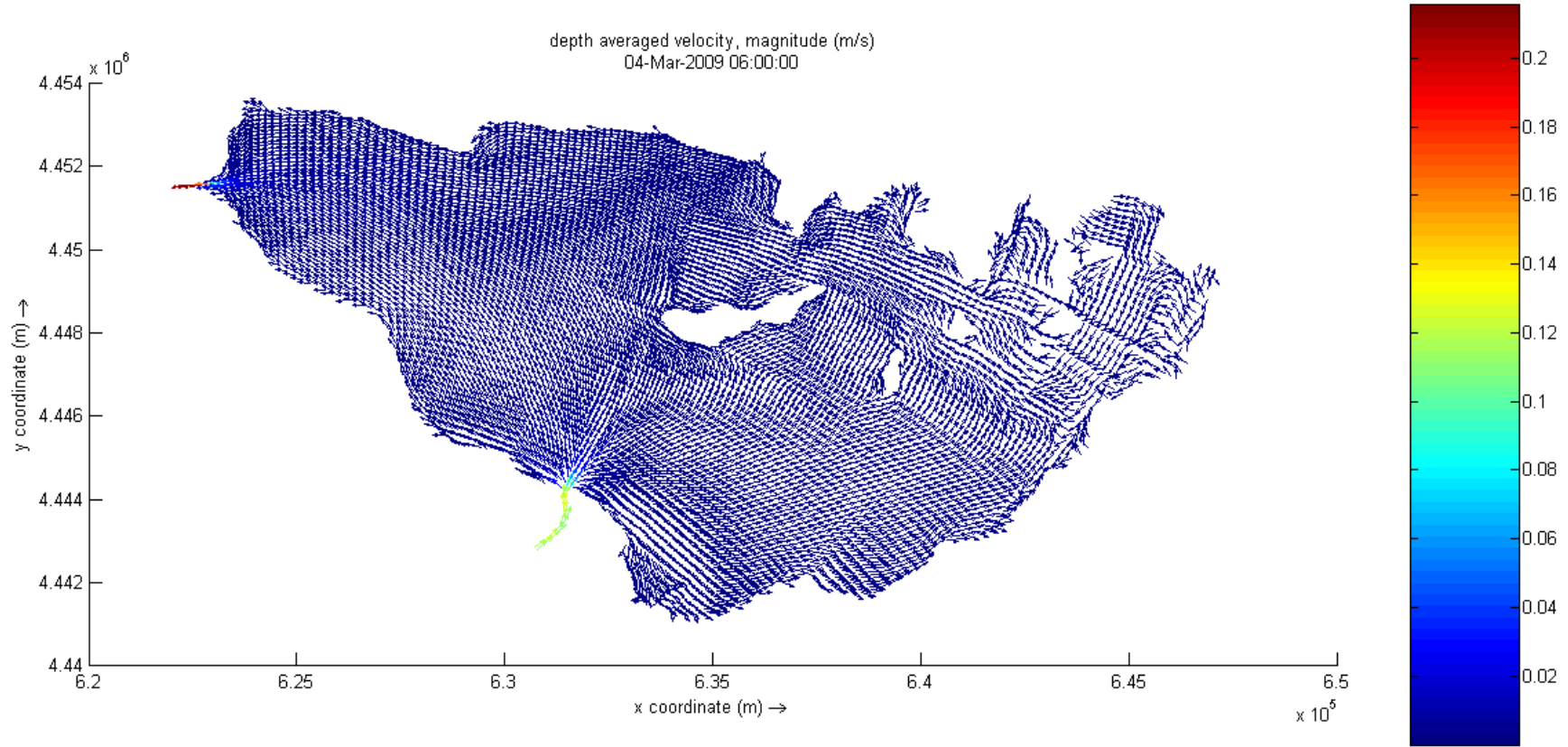


**Grafik 5.30** Dönem-4'e Ait Hava Sıcaklığı Değişimi

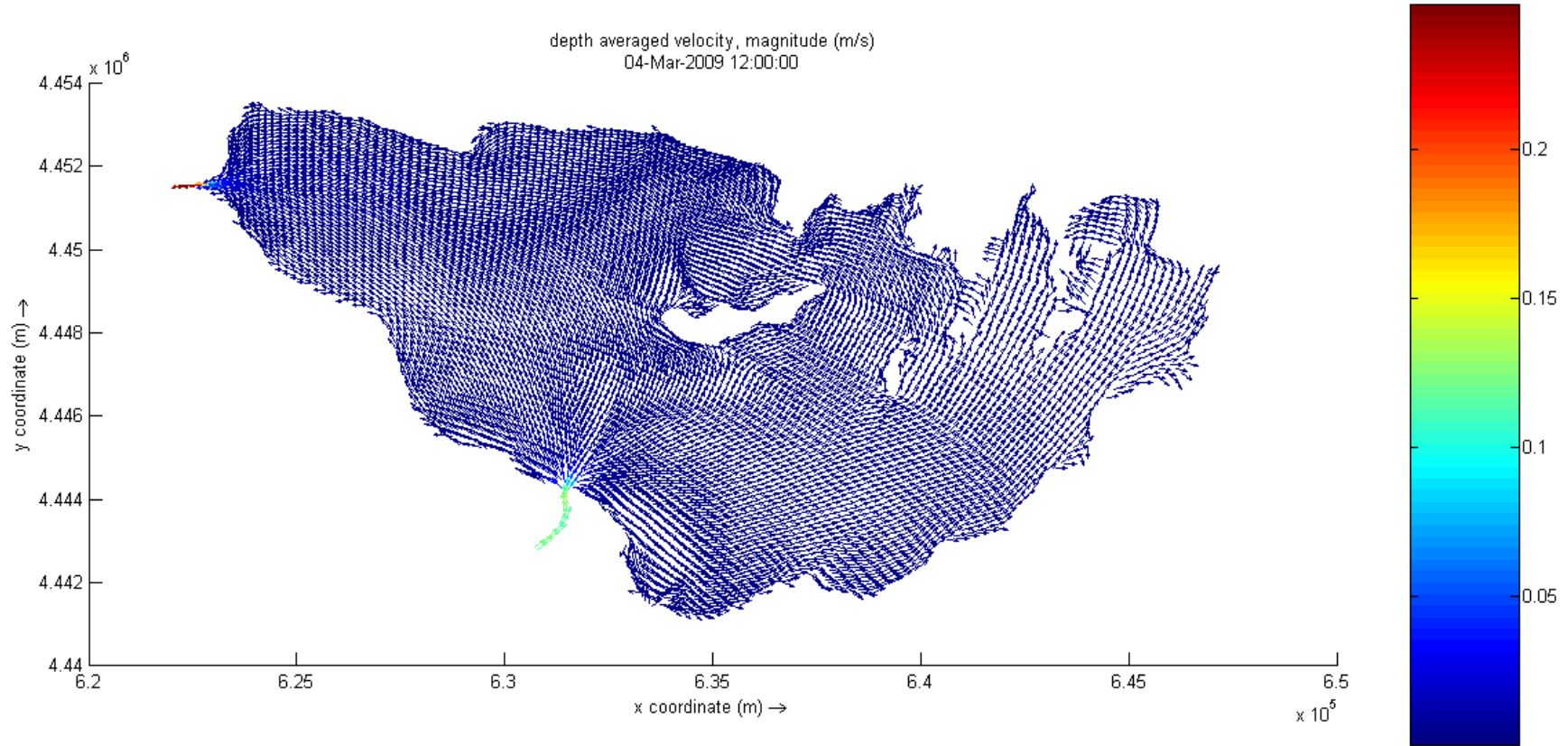
Göl çanağındaki sazlık bölgenin, göl hidrodinamiğine etkisinin araştırıldığı Senaryo-2de vejetasyonun 4 Mart tarihinde akım hızını engellediği ve 0,05 m/sn'den 0,02m/sn'ye düşürdüğü Şekil 5.84'te görülmektedir. Bunun yanında gölün çıkış ayağında bulunan vejetasyonun Kocasu çıkışındaki akımı da etkileyerek hızını 0,2m/sn seviyesine düşürmüştür.

1 Nisan tarihli simülasyonda, genel olarak akım hızlarında 0,05 m/sn'lik düşüş gözlemlenmiştir. Akımın vejetasyonla karşılaştığı bölgelerde yüzey hareketlerinde değişiklikler akım hızında düşüşler mevcuttur.

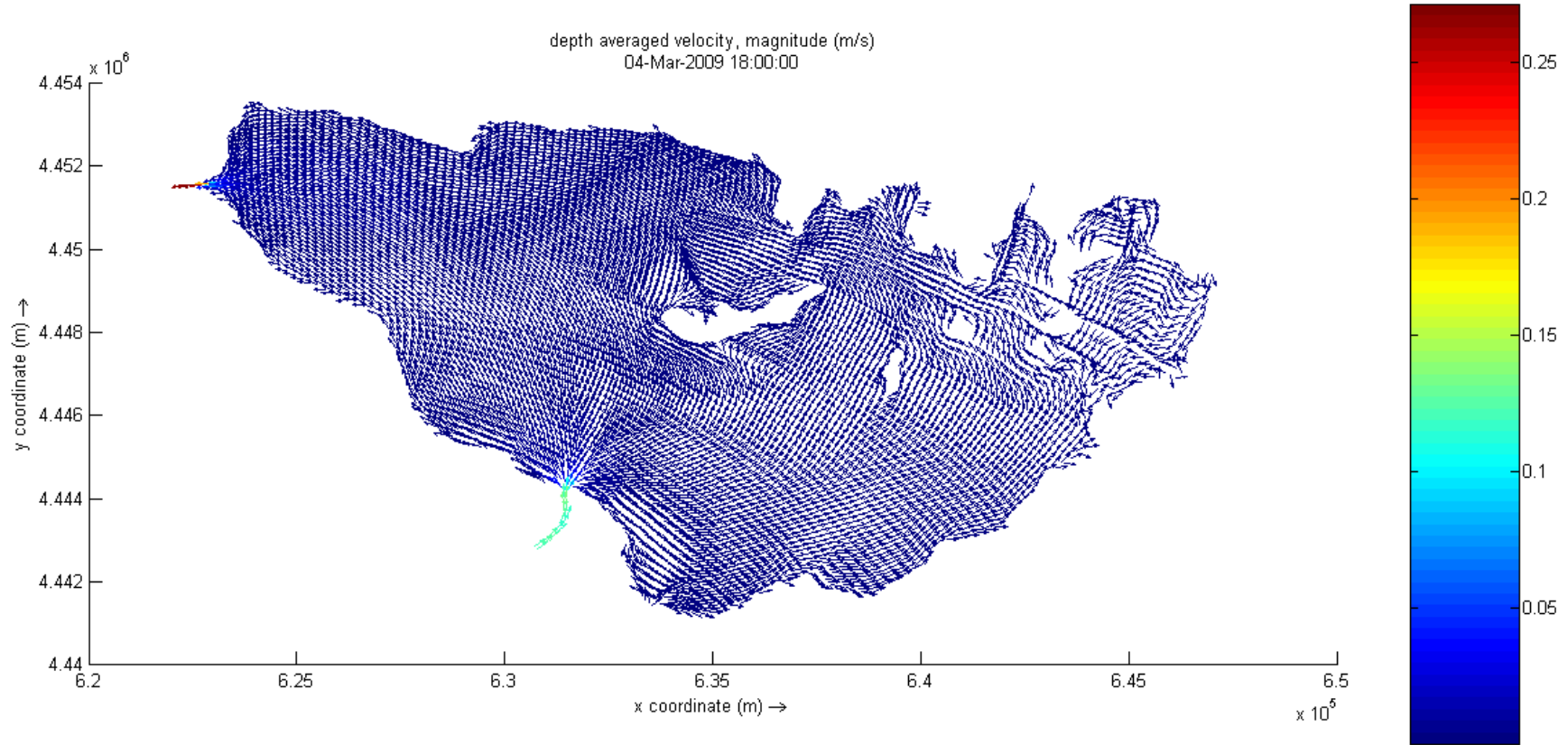
21 Nisan tarihli simülasyonda vejetasyonun tanımlandığı bölgelerde akım hızının S1 Koşuluna göre düştüğü, vejetasyon bulunmayan bölgelerde ise aynı seviyelerde olduğu Şekil.91-94'te görülmektedir.



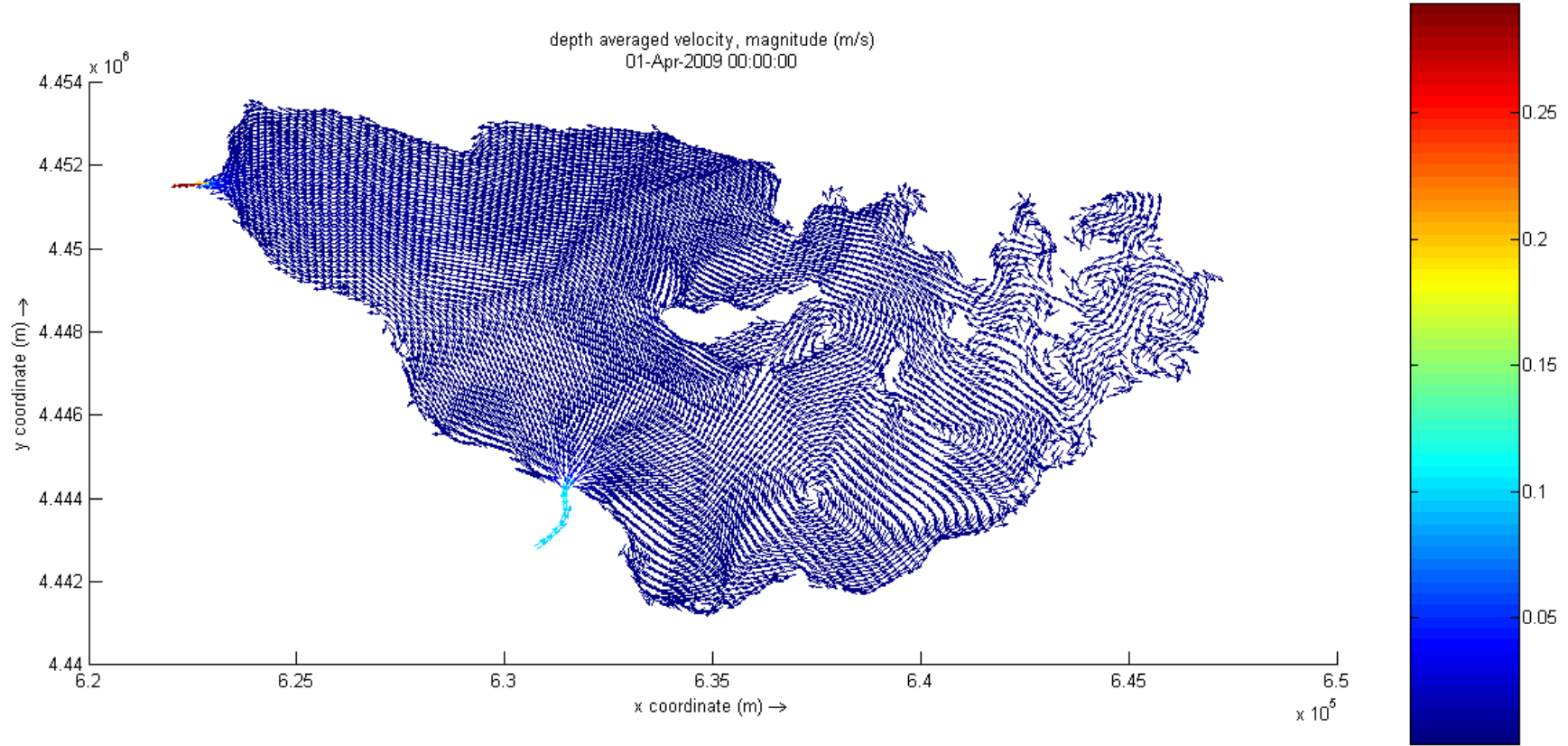
Şekil 5.84 4 Mart 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.85 4 Mart 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

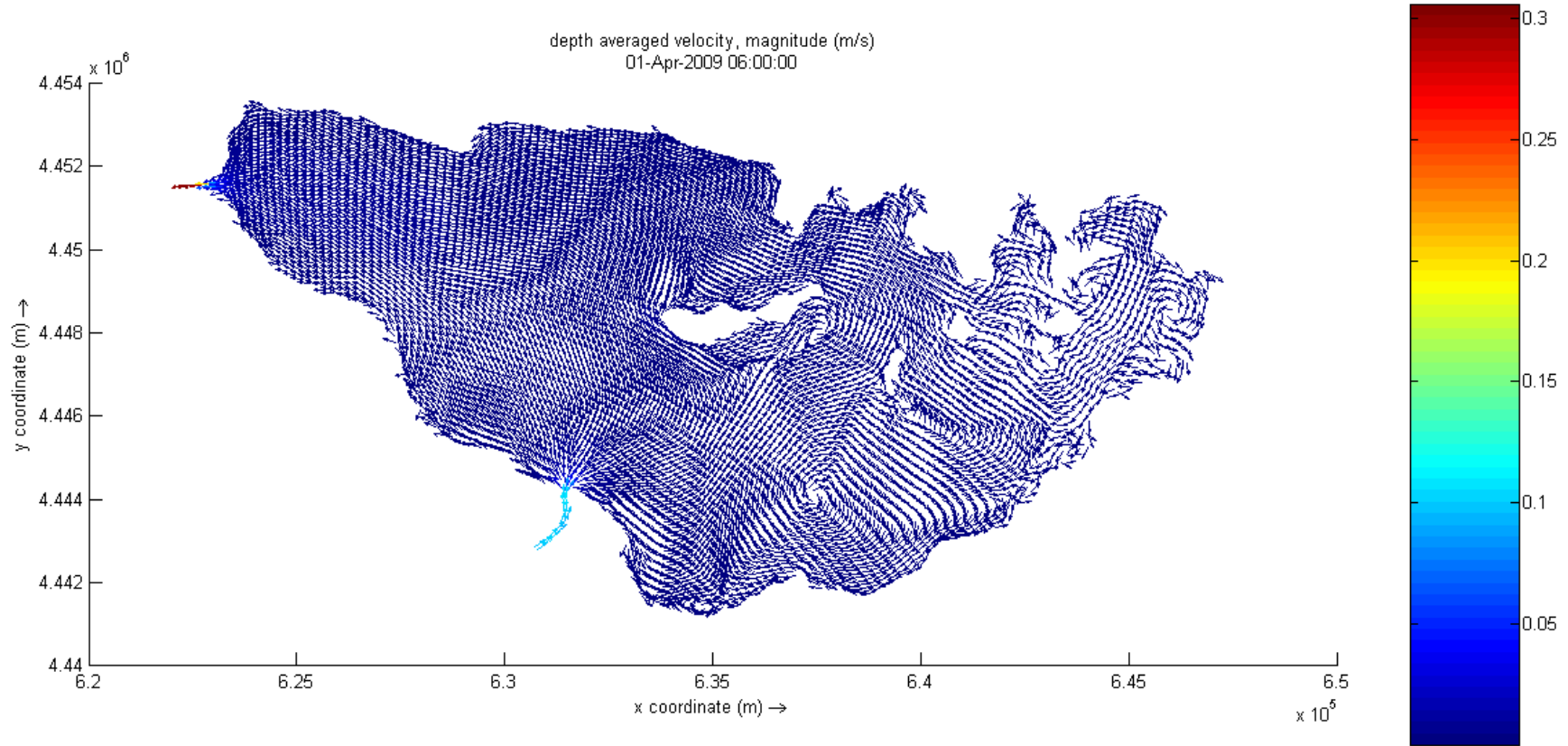


Şekil 5.86 4 Mart 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

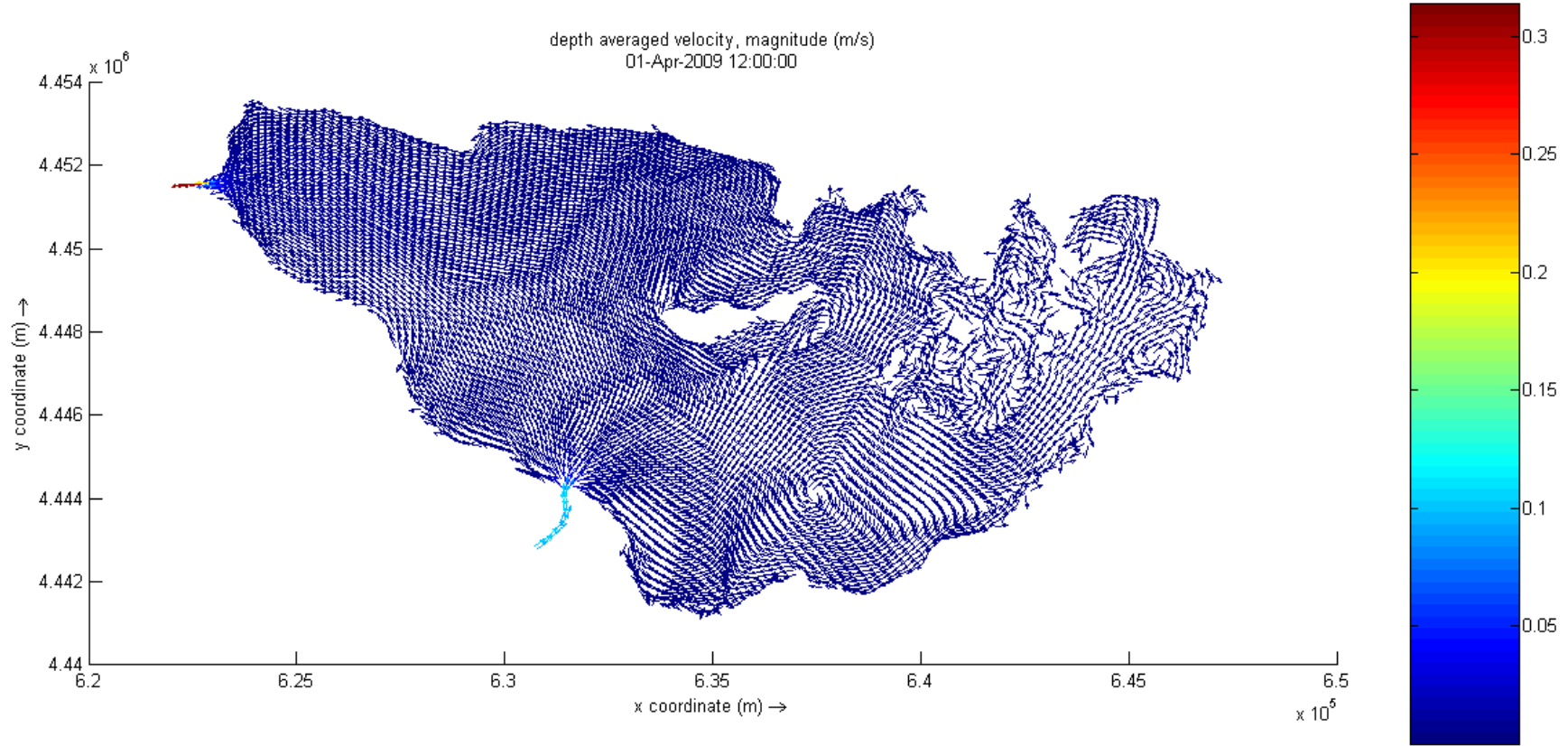


Şekil 5.87 1 Nisan 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



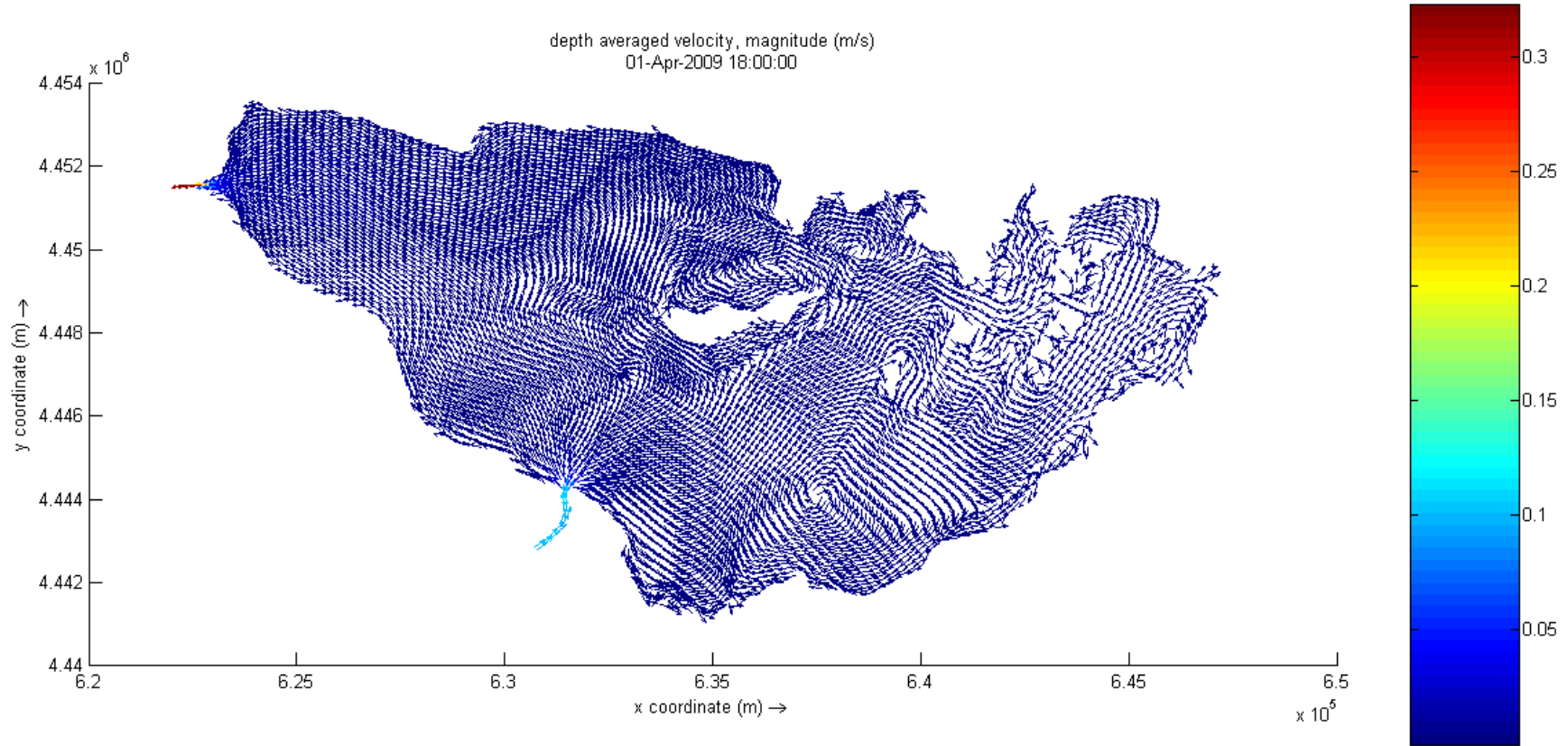


Şekil 5.88 1 Nisan 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

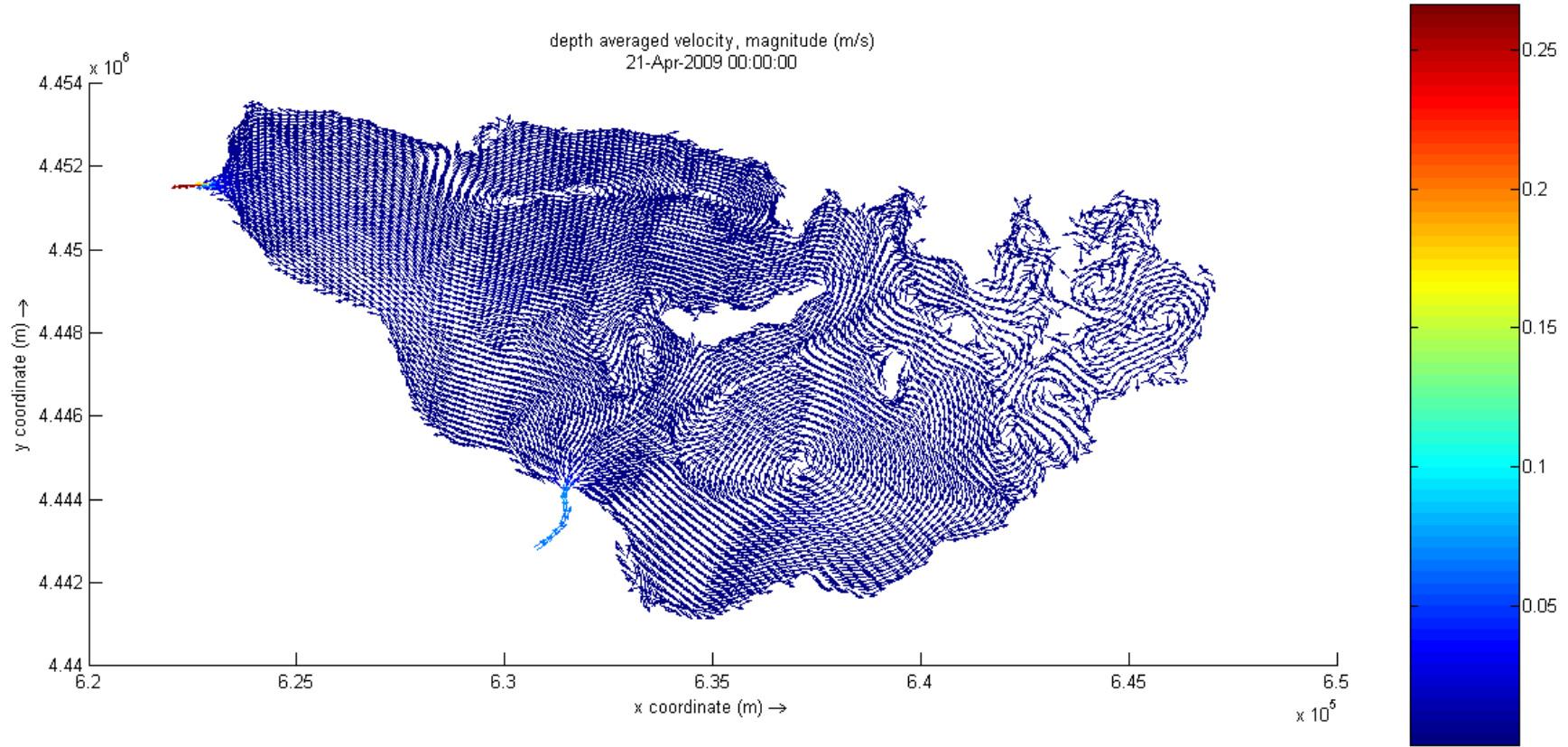


Şekil 5.89 1 Nisan 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı

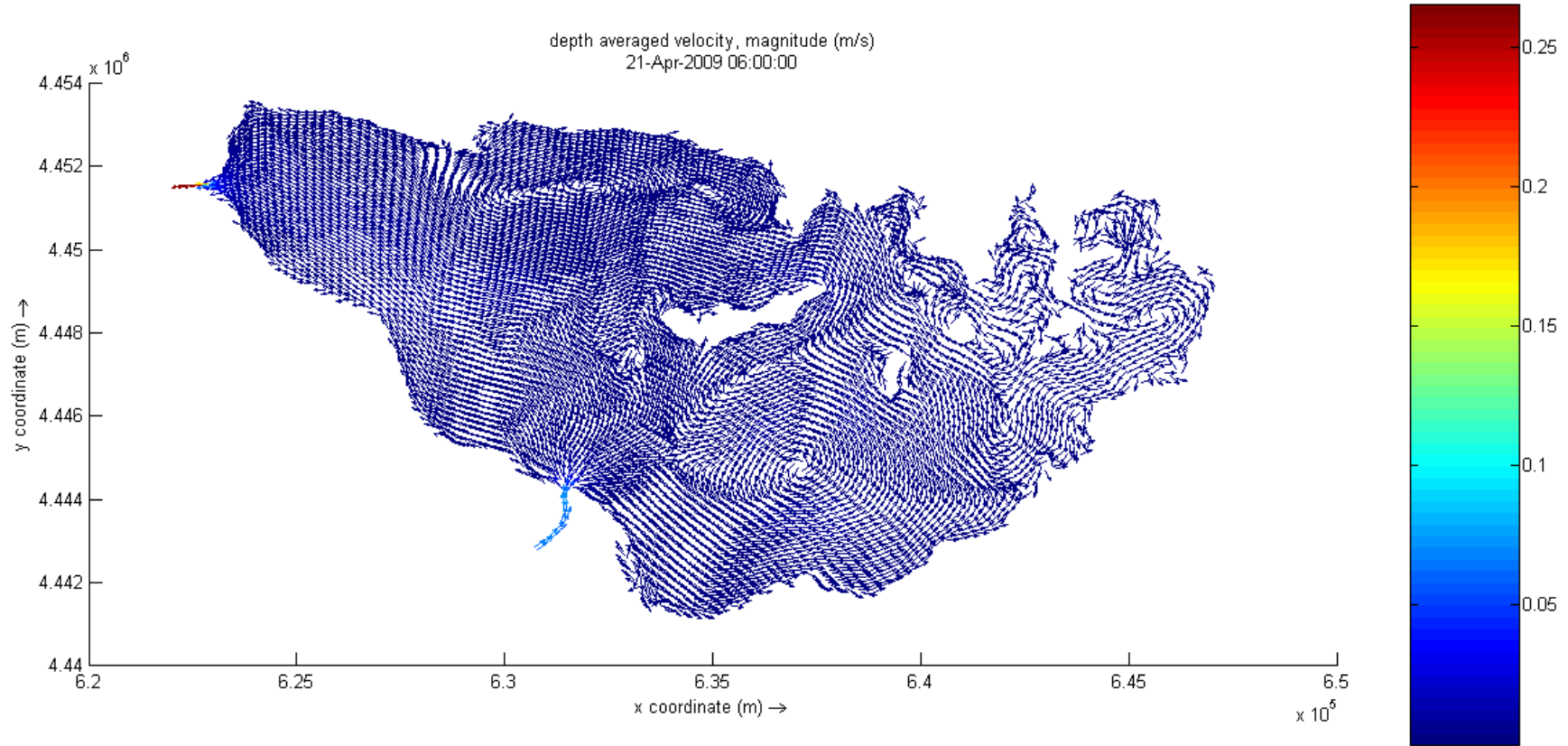




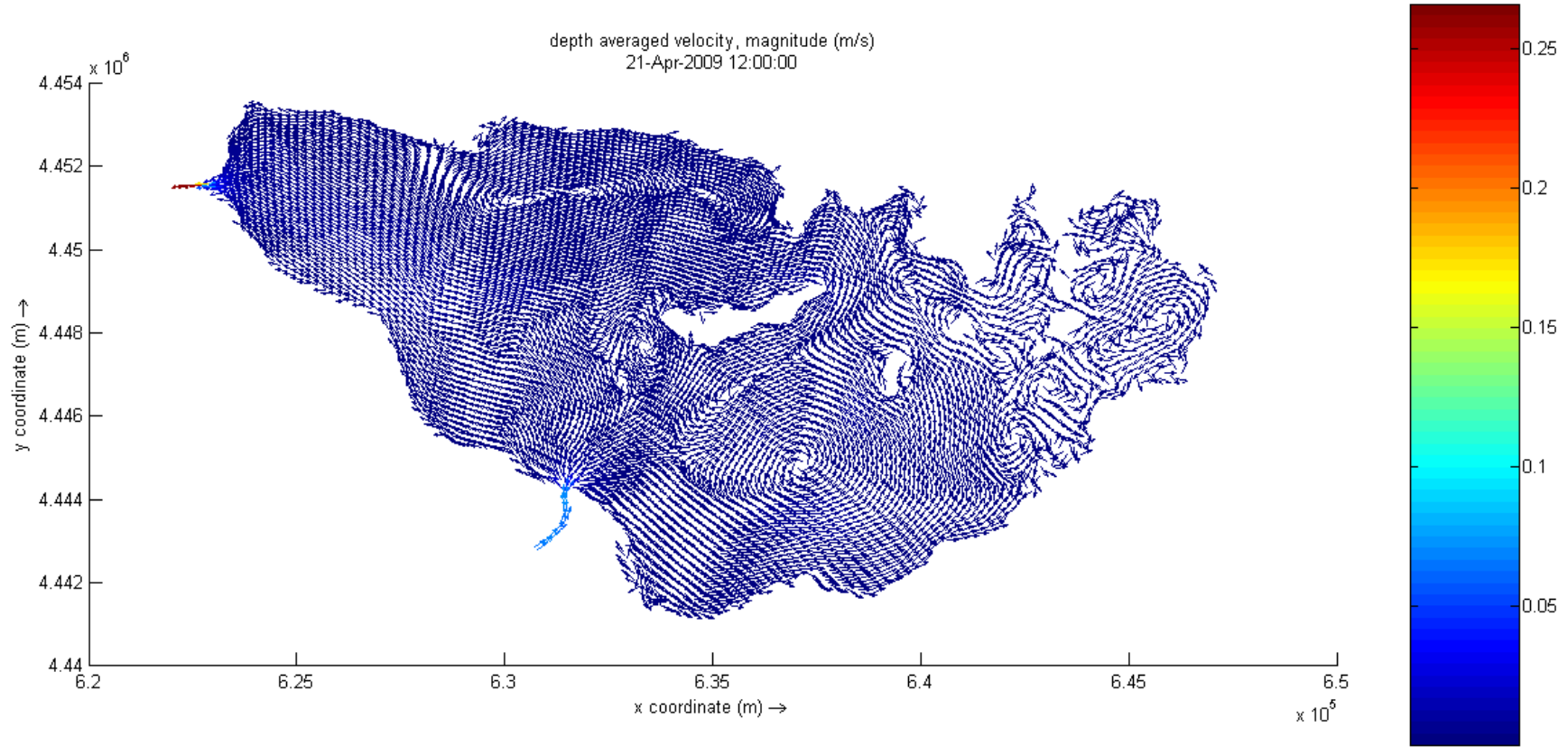
Şekil 5.90 1 Nisan 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hızı



Şekil 5.91 21 Nisan 2009 00:00 S2 Simülasyonu Akım Hız

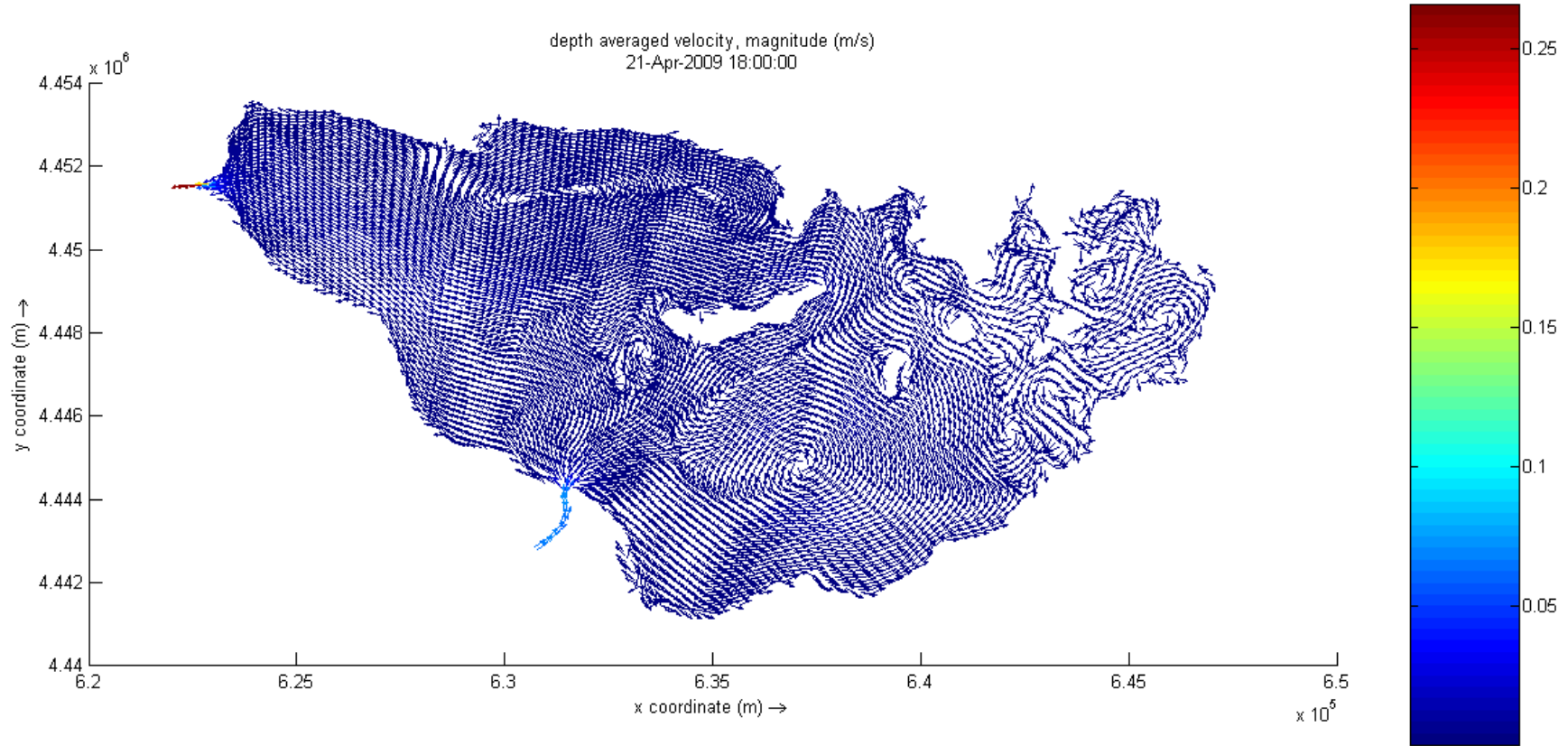


Şekil 5.92 21 Nisan 2009 06:00 S2 Simülasyonu Akım Hız



Şekil 5.93 21 Nisan 2009 12:00 S2 Simülasyonu Akım Hız

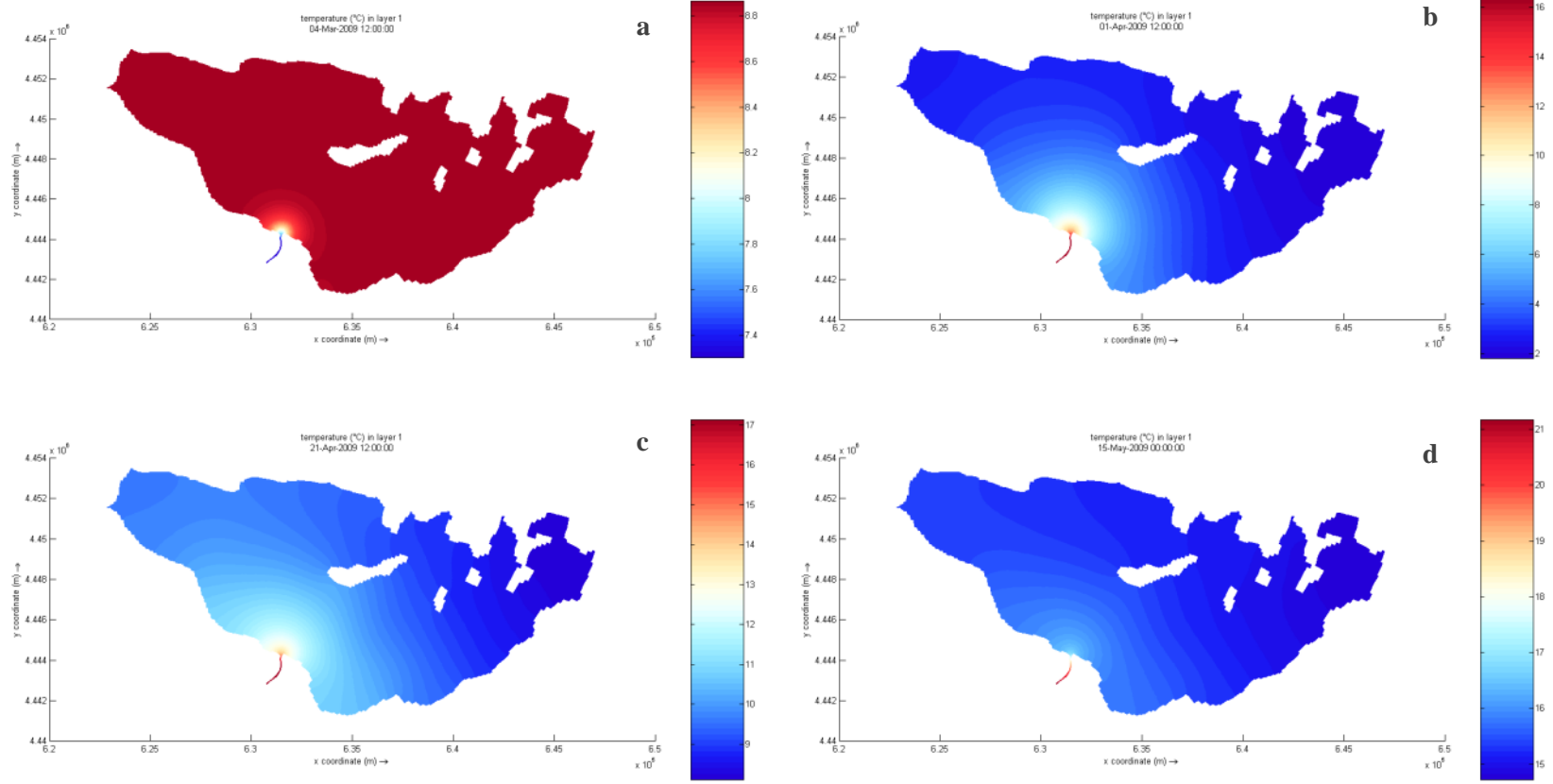




Şekil 5.94 21 Nisan 2009 18:00 S2 Simülasyonu Akım Hız

Son çalışma dönemine ait simülasyonlar incelendiğinde diğer dönemlerde olduğu gibi, akım hızını değiştiren etkenlerin vejetasyon (Wallsten ve Forsgren 1989, Partanen ve Hellsten 2005, Beklioğlu 2007) ve rüzgar hızı (Liu ve ark. 2011) olduğu belirlenmiştir. Ancak vejetasyonun sıcaklık değişimi üzerine etkisinin olmadığı Şekil 5.94'te görölmektedir. Genel olarak göl suyu sıcaklığı meteorolojik olaylardan özellikle de güneş radyasyonundan etkilenmektedir (Chapman 1992). Model çalışmasında ise meteorolojik parametreler değiştirilmemiş, değişen vejetasyonun sıcaklık üzerine etkisi incelenmiştir.

Dönem içerisindeki anlık görüntülerden, tüm dönemin anlaşılabilirliği zor olması nedeniyle hazırlanan vektörel hız ve sıcaklık simülasyonları Ek-4'te verilmiştir.



Şekil 5.95 Dönem-4 Senaryo-2 Sıcaklık Dağılımı  
a) 4 Mart b) 1 Nisan c) 21 Nisan d) 15 Mayıs



### 5.3. Çınarcık Barajının Etkisi

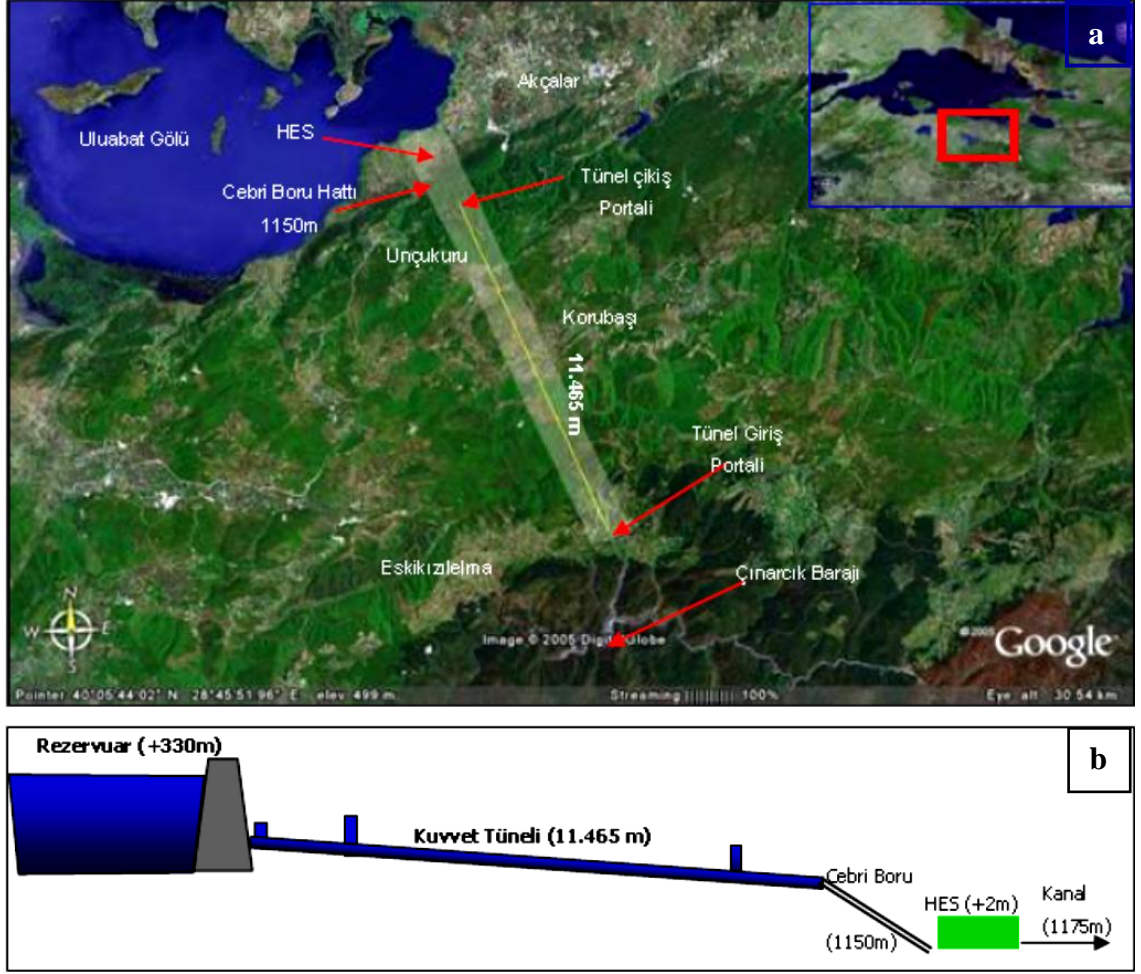
Çınarcık Barajı, Mustafakemalpaşa çayına bağlanan iki çaydan biri olan Orhaneli çayı üzerinde inşa edilmiştir. Diğer çay Emet çayıdır. Kuş uçuşu ile barajın Mustafakemalpaşa yerleşim bölgesine uzaklığı 30 km civarındadır (Bozkuş ve Bağ 2011).

Türkiye'nin hızla artan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla DSİ tarafından planlanan EMET-ORHANELİ PROJESİ kapsamında yer alan Çınarcık Barajı, Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES (Hidroelektrik Santrali) Projesi ile gelecek yıllardaki enerji ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir (Açıkgözoğlu 2008).

Her ne kadar projenin esas amacı mevcut doğal kaynaktan elektrik elde edilmesi olarak öngörülse de ileriye yönelik olarak tünelin çıkış ağzına bırakılacak bir branşman vasıtasıyla Bursa iline ilave su kaynağı temini de amaçlanmıştır.

Çınarcık Barajı'nın, % 95'i DSİ tarafından tamamlanmış olup kalan kısmı yine DSİ tarafından 2006 yılında tamamlanmıştır. 14 Mart 2005 Tarihinde EPDK'nın özel sektöre açtığı ilk HES Projesi ihalesi ile AKEnerji tarafından 40 yıllık işletme hakkı alınan Uluabat Gölü Kuvvet Tüneli ve HES Projesi ise 2008 yılında tamamlanmıştır.

Kuvvet tüneline çıkan suyun HES'te enerjisi alındıktan sonra Fadıllı Köyü (Şekil 5.96) yakınlarından göle salınması ile göldeki hidrodinamik yapı önemli ölçüde değişecektir. Proje planlaması sırasında gölde su kalitesini iyileştireceği doğrultusunda vurgulamalar yapılmıştır.

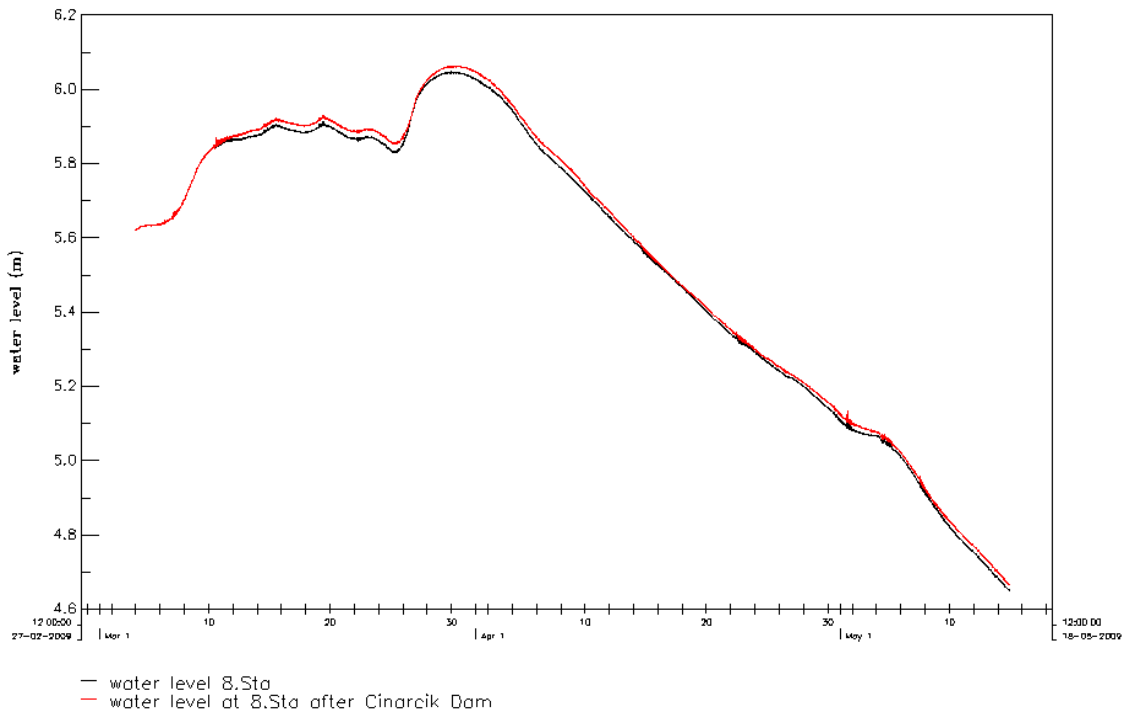


**Şekil 5.96 a)Uluabat Kuvvet Tüneli Güzergahı**  
**b) Emet-Orhaneli Projesi Yapı Yerleri ve Genel Kesiti**

Ancak bu durum durgun suya ihtiyaç duyan nilüfer yataklarını etkileyebileceği, diğer yandan gölün durgun olan kısımlarındaki suyun hareketlenmesini sağlayarak buradaki suyun yenilenme süresini azaltabileceği düşünülmektedir. Emet Çayı üzerinde ise enerji ve taşkın koruma ile enerji ve sulama suyu temini amaçlı Karyağmaz, Kızılkayası ve Devecikonağı Barajları yapılacaktır. Bu iki çay Mustafakemalpaşa Çayına bağlanmaktadır ve bu nedenle üzerlerine yapılacak olan baraj sistemleri çaydan göle gelen büyük hacimlerdeki suyu tutacaktır. Sonuç olarak göldeki su seviyesi önemli ölçüde değişecek ve sazlık alanların azalmasına sebep olabilecektir. Böyle bir gelişmeyle balık yumurtlama alanları da önemli ölçüde azalacaktır (Anonim 2008).

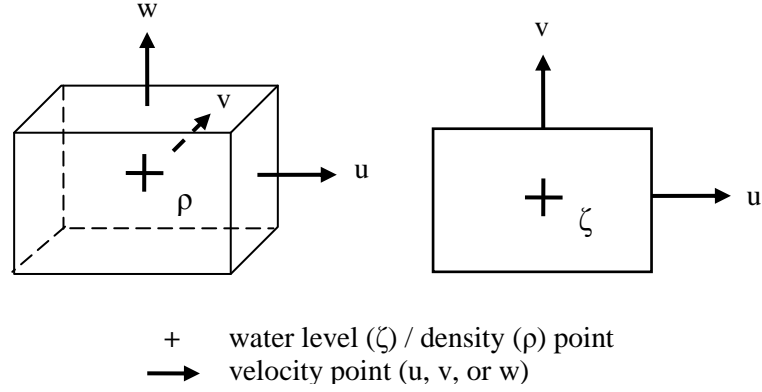
Çalışma dönemi içerisinde su salımı planlanan kuvvet tünelinin de etkisi belirlenmesi hedeflenmiştir. Ancak karşılaşılan aksaklıklar nedeniyle kuvvet tüneline su salımı Kasım 2010 tarihini bulmuştur. Ölçüm yapılan süreçlerde Çınarcık Barajı'nın su tutmaya başlamış olmasıyla Mustafakemalpaşa Çayı'ndan gelen su miktarı azalmış olmasına karşın Uluabat Kuvvet Tünelinden su salınmamıştır. Tünelden düzenli olarak su salımı Mart 2011 tarihinde gerçekleşmiştir.

Tünelden salınan debilerden faydalanılarak Çınarcık Barajı'nın göl hidrodinamiğine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla farklı bir senaryo tanımlanmıştır. Wang ve ark. (2006) vejetasyonun hidrodinamik koşullar üzerine etkisinin model çalışmalarında göz önünde bulundurulmasını önermiştir. Bu doğrultuda vejetasyonun tanımlandığı mevcut durumun ve senaryo sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma göldeki su seviyesi ve akım yönü hız bileşenlerindeki değişim olarak değerlendirilmiştir. Grafik 5.31 incelendiğinde 11 Mart 2011 tarihinde gölden düzenli olarak su salınması ile birlikte gölün Akçalar kesimini temsil eden 8. istasyondaki su seviyesinde 0,05 m'lik bir artış görülmektedir.



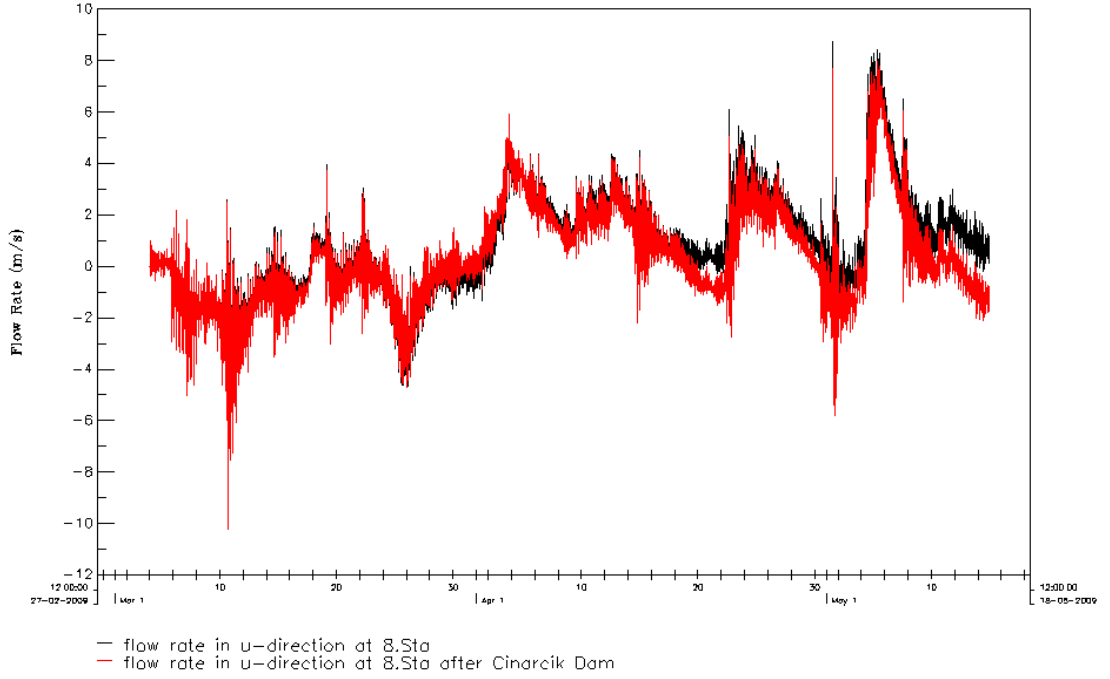
**Grafik 5.31** Uluabat Kuvvet Tünelinden Su Salımı Öncesi ve Sonrasındaki Su Seviyesi Kıyaslaması

Tünelden gelen debi ile hız bileşenlerinin ne kadar etkilendiğinin belirlenmesine yönelik hazırlanan u ve v yönlerinde hız bileşenlerinin değişimleri Grafik 5.32 ile Grafik 5.33'te verilmiştir.

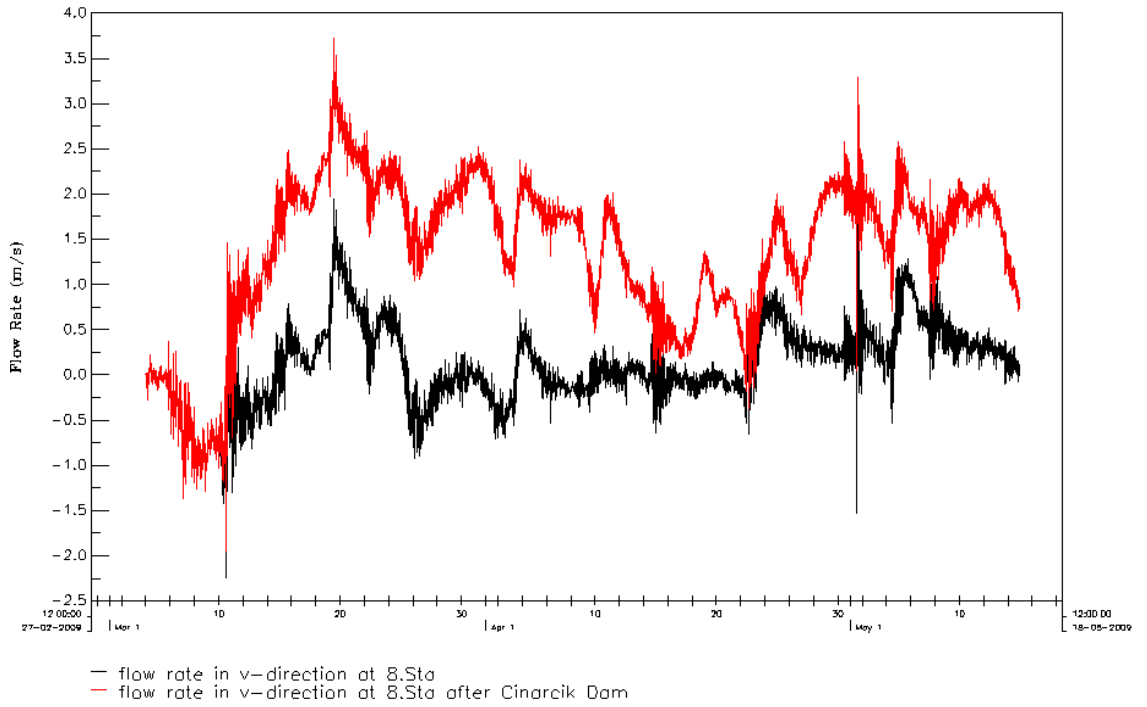


**Şekil 5.97** Delft3D Grid Yapısı ve Hız Bileşenleri

Grafikler incelendiğinde Şekil 5.97'de gösterilen grid boyunca x eksenindeki hız bileşeninde (u yönü)değişiklik olmadığı tespit edilirken, grid boyunca y eksenindeki hız bileşeninin (v yönü) artış gösterdiği belirlenmiştir. Tünelden salınan su ile birlikte 8. İstasyondaki akım hızının maksimumda 2,5 m/sn seviyesinde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Anonim (2008) tarafından gölde etkilenebilecek koşulların tespiti için daha ayrıntılı ve uzun izleme dönemlerinde etkinin simüle edilmesi gerekmektedir.



**Grafik 5.32** Uluabat Kuvvet Tünelinden Su Salımı Öncesi ve Sonrasındaki u-Yönündeki Hız Bileşeninin Kıyaslaması



**Grafik 5.33** Uluabat Kuvvet Tünelinden Su Salımı Öncesi ve Sonrasındaki v-Yönündeki Hız Bileşeninin Kıyaslaması

## 6. SONUÇLAR

Uluabat Gölü'nün hidrodinamiğinde zamana ve taban pürüzlülüğüne bağlı değişimlerin incelendiği modelleme çalışması kapsamında sıcaklık parametresi de modellenmiş ve kısa dönem değişimleri değerlendirilmiştir. Modelleme çalışması sırasında edinilen bilgiler ve çalışma sonuçları bu bölümde kısaca özetlenmiş ve göl yönetimine katkısının olabileceği düşünülen öneriler ve sonraki çalışmalar vurgulanmıştır.

Modelleme çalışmalarının temelini bilgisayar yazılımından çok doğru veri tabanı oluşturmaktadır. Kullanılan program her ne kadar iyi olsa da, kullanıcı sonuçları ne kadar iyi yorumlarsa da modele girilen verilerin doğruluğu ve uygunluğu tüm çalışmanın gidişatını etkilemektedir. Bu nedenle modelleme çalışmalarına başlamadan önce modeli tanıyarak kullanılacak veriler belirlenmeli, uygun planlama yapılarak arazi çalışmaları yürütülmelidir. Böylelikle karşılaşılabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

Göl için hazırlanan su bütçesinde, önemli düzeyde hata payı bulunmaktadır. Bu durumun en önemli nedenlerinden biri gölü besleyen ve gölü boşaltan akımlarda doğru ve hassas ölçümler yapılmamasıdır. Gölün çıkış ayağı Kocasu Çayı'nda devamlı ölçüm yapan bir akım gözlem istasyonunun bulunmaması Uluabat Gölü için önemli bir eksikliktir. Manyas gölü çıkışından gelen akımın yükselmesi ile Kocasu Çayı'nın şişerek Uluabat Gölü'nü beslediği bilinmektedir. Ancak gölde Ocak ve Şubat aylarında gözlemlenen geri dönüşler arazi ölçümleriyle desteklenememektedir. Bu durumun önlenmesi için Kocasu Çayı üzerinde işlerliği bulunan bir Sürekli Akım Gözlem İstasyonu kurulmalıdır.

Su bütçesinin önemli bir eksikliği ise yeraltı suyu verisidir. Çalışma alanına ait herhangi bir yeraltı suyu verisi edinilememiştir. Yer altı suyu tabakasının yüksekliğinin izlenmesi ve gölü beslediği ve gölden beslendiği dönemler belirlenerek göl hidrodinamiğine katkısı gerçekçi olarak tespit edilmelidir.

Arazi çalışmaları ile güncellenen göl batimetrisine göre 1995 yılından 2010 yılına kadar geçen 15 yıllık süreçte gölün alanında %2,59'luk, hacminde ise %4,98'lik bir küçülme

gözlemlenmiştir. 1995 yılına ait haritada gölün çanağının doğusunda kalan Akçalar mevkiindeki 2,75-2,50 m derinliğe sahip bölgenin, geçen süreçte dolduğu 2010 yılındaki ölçümlerle görülmüştür. Ayrıca, Kocasu Çayı'na doğru olan gölün çıkış ağzı bölgesinde, muhtemel sedimantasyona bağlı birikim ve derinlikte azalma görülmektedir.

Yapılan duyarlılık analizi sonucunda gölün taban pürüzlülüğünün vejetasyona göre değişiminin göl suyunun derinliğinde değişime neden olmadığı, ancak akım hızı etkilediği görülmüştür. Ancak arazide akım hızının ölçülemediği olması gerçek ölçümlerle senaryo ölçümlerinin kıyaslanmasına olanak vermemektedir. Ayrıca vejetasyonun zamana bağlı değişiminin verisi bulunmaması, bu değişimin etkisinin model çalışmalarına adapte edilememesine neden olmuştur. Zamana bağlı değişim belirlenmeli ve vejetasyon çeşitliliği göz önünde alınarak ileri çalışmalar yapılması göl yönetimine katkı sağlayacaktır. Özellikle Uluabat Gölü için önemli bir sorun olan sedimantasyonun önlenmesi amacıyla, sediment giderimi çalışmalarında ve enerji kaybını minimize etmeye yönelik çalışmalarda karar vermeye yardımcı olacak veriler elde edilebilecektir.

Çalışmada rüzgarın göl yüzeyinde oluşturduğu akıntılar ve gölde neden olduğu çevrimler görülmüştür. Bu durumun gölde tam karışımı sağladığı ve sediment tabakasını süspanse hale getirerek göldeki bulanıklığa neden olduğu söylenebilmektedir. Gölde sığ bölgelerde su kütlesi daha az ve etkiye daha açık olduğu için hava sıcaklığının ve rüzgar hızının değişimiyle suyun sıcaklığı ve hızı da değişmektedir. Yani gölün sığ kısmını dışsal etkilere daha derin kısımlarına göre daha çabuk tepki vermektedir.

Göl suyu kalitesini iyileştireceği vaat edilen Uluabat kuvvet tüneline salınan suyun, göl hidrodinamiğine etkisi irdelenmiştir. Gölün Akçalar kesiminde 0,05 m'lik seviye artışı tespit edilmiş, akım hız bileşenlerinde u yönünde değişiklik görülmemişken, v yönünde önemli artış görülmüştür. Bu artışın göl ekosistemindeki etkilerinin tespit edilmesi amacıyla ileri düzeyde çalışmalar yapılması gerekmektedir.



Kısa süreli yürütülen modelleme çalışmasında göldeki döngüler tam olarak anlaşılammakla birlikte hata payı yüksek çıkmaktadır bununla beraber uzun dönem modelleme çalışmaları uygulanırsa daha başarılı ve gerçekçi sonuçlar elde edilerek göl yönetimine katkıda bulunulması sağlanacaktır. Göle gelen doğal etkilerin incelendiği bu çalışmanın yanında göl çevresi ve havzasında yapılan ve yapılması planlanan tüm faaliyetlerin göl hidrodinamiğine etkisi incelenmeli göl yönetim planı uygulamasında modelleme uygulamaları etkin biçimde kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

**Açıkgözoğlu R. 2008.** Bursa-Uluabat Kuvvet Tüneli'nin Jeoteknik İncelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Aksoy, E., Özsoy, G. 2002.** Investigation of Multi-Temporal Land Use /Cover and Shoreline Changes of the Uluabat Lake RAMSAR Site Using RS and GIS. Uluslar arası Sürdürülebilir Arazi Kullanımı ve Yönetimi Konferansı. 10-13 Haziran 2002, Çanakkale, Türkiye.

**Anonim, 1994.** Effects of Vegetation on Hydraulic Roughness and Sedimentation in Wetlands. WRP Teknik Notu.

**Anonim, 2002a.** Uluabat Gölü Yönetim Planı. Çevre ve Orman Bakanlığı, DHKD işbirliği.

**Anonim, 2002b.** Sulak Alanların Yönetimi Projesi, Uluabat Gölü Mustafakemalpaşa Çayı Sistemi, Sediment Birikimi Araştırması Alt Projesi. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi

**Anonim, 2004a.** FINAL MODELING FRAMEWORK DESIGN: Modeling Study of PCB Contamination in the Housatonic River, USACE ve USEPA ortaklığında, Massachusetts.

**Anonim, 2004b.** Türkiye Çevre Atlası, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

**Anonim, 2008.** Türkiye'deki Ramsar Alanları Değerlendirme Raporu, DHKD.

**Anonim, 2010a.** Deltares. Delft3D-FLOW Kullanıcı Kılavuzu, Delft, Hollanda.

**Anonim, 2010b.** Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Servisi.

**Anonim, 2010c.** Elektrik İşleri Etüt İdaresi Akım Gözlem İstasyonları Debi Ölçüm Sonuçları.

**Batur, E., Kadioğlu, M., Özkaya, M., Saban, M., Akın, İ., Kaya, Y. 2008.** Van Gölü Su Seviye Modellemesi ve Ekstrem Seviyelerin Tahmini. Van Gölü Hidrolojisi ve Kirliliği Konferansı, 21-22 Ağustos 2008, Van.

**Baumgartner A. ve Reichel E. 1975.** The World Water Balance. Münih.

**Beklioğlu, M. 2007.** Role of Hydrology, Nutrients and Fish in Interaction with Global Climate Change in Effecting Ecology of Shallow Lakes in Turkey, Uluslar arası Nehir Havza Yönetimi Kongresi, 22-24 Mart 2007, Antalya.

**Bielecka, M., Kazmierski, J. 2003.** A 3D Mathematical Model of Vistula Lagoon Hydrodynamics - General Assumptions and Results of Preliminary Calculations. Yayılı Kirlilik Konferansı, 2003, Dublin, İrlanda.

**Blumberg, A.F, Mellor, G.L. 1987.** A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal and Estuarine Science, Vol. 4. (Heaps, N.S., ed.). American Geophysical Union. sf. 1-19

**Bozkuş, Z. ve Bağ, F. 2011.** Çınarcık Barajının Sanal Yıkılma Analizleri, İMO Teknik Dergi, 5675-5688, Yazı 364.

**Brown, L., Barnwell, T. 1987.** The Enhanced Stream Water Quality Model Qual2E and Qual2E-UNCAS: Documentation and User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Çevresel Araştırma Laboratuvarı, Atina, GA. EPA-600/3-87/007.

**Cardoso, G.F. 2005.** Introduction of Vegetation in Large Scale Hydrodynamic Models. Degree Project, Department of Water Resources Engineering, TVRL

**Chapman, D. 1992.** Water Quality Assessment: A Guide to The Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Chapman & Hall., UNESCO/WHO/UNEP

**Cheng, R.T., Casulli, V., Milford, S. 1993.** Tidal, Residual, Intertidal Mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California. Estuarine Coastal and Shelf Science 36: 235-280.

**Cirik, S., 1993.** Sulak Alanlar. Ekoloji Dergisi, 7: 49-52.

**Çalışkan, A. 2008.** Modelling of Hydrodynamics and Sedimentation in a Stratified Reservoir: Tahtalı Reservoir, Izmir. *Yüksek Lisans Tezi*, İYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

**Çelik, G. 2000.** Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirilmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

**Dalkıran N., Karacaoğlu,D., Dere, Ş., Sentürk, E., Torunoğlu, T. 2006.** Factors Affecting The Current Status of a Eutrophic Shallow Lake (Lake Uluabat, Turkey): Relationships Between Water Physical and Chemical Variables. Chemistry and Ecology 22: 4, 279–298.

**Dargahi, B., Setegn, S.G. 2011.** Combined 3D Hydrodynamic and Watershed Modelling of Lake Tana, Ethiopia. Journal of Hydrology. 398: 44-64.

**Dean, R.G., Dalrymple, R.A. 1991.** Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. World Scientific sf: 157-158.

**Demir, M., Yıldız, N.D., Irmak, M.A., Yılmaz, H., Yılmaz, S., Özer, S. 2011.** Sulak Alanların Sürdürülebilirliği için Ekosisteme Bütüncül Yaklaşım: Erzurum Örneği. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran 2011, Kırşehir.

**Dijkstra, J.T., Uittenbogaard, R.E. 2010.** Modeling the Interaction between Flow and Highly Flexible Aquatic Vegetation. *Water Resources Research*, 46, W12547

**Dugan, P.J., 1990.** Sulak Alanların Korunması- Güncel Konular ve Gerekli Çalışmalar Üzerine Bir İnceleme. Türkçe Çevirisi: DHKD. İstanbul.

**Dupont, B. 2010.** Hydrodynamic Modeling of Lake Winnipeg and the Effects of Hecla Island. Manitoba Üniversitesi, Winnipeg, Kanada.

**Ebrahimi, N.G., Moghadam, M.F., Kashefipour, S.M., Saneie, M., Ebrahimi, K. 2008.** Effects of Flow and Vegetation States on River Roughness Coefficients”, *Journal of Applied Sciences*, 8(11), 2118-2123.

**Ekdal A., Tanık, A. 2008.** Köyceğiz -Dalyan Lagünü Su Kalitesi Modellemesinde Tuzluluk Simülasyonları. *İTÜ, Su Kirlenmesi Kontrolü* 18(1): 55-64.

**Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu, S., Kılıç, D.T., Lise, Y. 2006.** Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. Doğa Derneği, Ankara.

**ERL (Environmental Research Laboratory). 1995.** CE-QUAL-RIV1: A Dynamic, One Dimensional (Longitudinal) Water Quality Model for Streams, User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Instruction Report EL95-2.

**Ertürk A. 2005.** Su Kalitesi ve Havza Modellemesinde Kullanılan Yazılımlar. ISBN 975-00144-0-5.

**Froelich, D.C. 1989.** HW031-D Finite Element Surface Water Modeling System: Two-Dimensional Flow in a Horizontal Plane, User's Manual. U.S. Federal Highway Administration Report No. FHWA-RD-88-177

**Gertsev, V.I., Gertseva, V.V. 2004.** Classification of Mathematical Models in Ecology, Ecological Modelling, 178: 329- 334.

**Hamrick, J.M. 1996.** Users Manual for the Environmental Fluid Dynamic Computer Code. The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Special Report 328.

**Havens, K.F., Fukushima, T., Xie, P., Iwakuma, T., James, R.T., Takamura, N., Hanazato, T., Yamamoto, T. 2001.** Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan), Donghu (PR China), and Okeechobee (USA). Environmental Pollution, 111: 263-272.

**Hayter, E.J., Bergs, M., Gu, R., McCutcheon, S., Smith, S.J., Whiteley, H.J. 1999.** HSCTM-2D, a Finite Element Model for Depth-Averaged Hydrodynamics, Sediment, and Contaminant Transport. Technical Report, U.S. Environmental Protection Agency Environmental Research Laboratory, Athens.

**HEC (Hydrologic Engineering Center). 1982.** HEC-2 Water Surface Profiles, User's Manual, Computer Program 723-X6-L202A. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA.

**Heuvel, S. 2010.** Modelling the Hydrodynamics and Salinity of the Pontchartrain Basin. *Yüksek Lisans Tezi*, Delft Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği ve Yerbilimleri Fakültesi, Delft, Hollanda.

**Hosseini-pour, E.Z., Martin., J.L. 1993.** RIVMOD: A One-Dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model. Model Theory and User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Athens Environmental Research Laboratory, Athens.

**Huyakorn, P. 2000.** MODFLOW-HMS: a fully integrated hydrologic-water quality numerical/GIS modeling system. Presented at 17th Colloquium, Recent Advances in Subsurface Hydrology, Delft University of Technology, Netherlands, November 23.

**Hyfield E.C.G., Day J.W., Cable J.E. ve Justic D. 2008.** The Impacts of Re-Introducing Mississippi River Water on the Hydrologic Budget and Nutrient Inputs of a Deltaic Estuary. *Ecological Engineering*, 32: 347-359.

**İleri, S. 2010.** Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Fiziko-Kimyasal Parametreler Açısından Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

**Ji, Z.G., Hu, G., Shen, J., Wan, Y. 2007.** Three-Dimensional Modeling of Hydrodynamic Processes in The St. Lucie Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 188-200

**Johnson, B.H., Kim, K.W., Heath, R.E., Hsieh, B.B., Butler, H.L. 1993.** Validation of Three Dimensional Hydrodynamic Model of Chesapeake Bay. *J. Hyd. Engrg.* 119(1):2-20.

**Jozsa, J. 2006.** SHALLOW LAKE HYDRODYNAMICS: Theory, Measurement and Numerical Model Applications: A Hungarian-Finnish Experience. Budapest University of Technology and Economics, Department of Hydraulic and Water Resources Engineering, Budapeşte.

**Karacaoğlu, D. 2000.** Uluabat Gölü'nün (Bursa) Fitoplanktonunun Mevsimsel Değişimi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

**Karahan, H., Dikbaş, F. 1999.** Ulubat Gölü'nün Hidrolojik ve Hidrodinamik Özelliklerinin Matematik Model Yardımıyla İncelenmesi. Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongresi, 24-26 Kasım 1999, Ankara.

**Katip, 2010.** Uluabat Gölü Su Kalitesinin İzlenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.



**Kaya, M., 1998.** Mert ve Erikli Gollerinin (Kırkırelı/İğneada) Kuş Faunası Açısından Önemi ve Ekolojik Sorunları. Ekoloji Dergisi, 27: 15-18.

**Kees, C.E., Farthing, M.W., Mattisy, S.A., Dawson, C.N. 2010.** Homogenization and Upscaling of Flow Through Vegetation, XVIII. Uluslar arası Su Kaynakları Kongresi, Barselona.

**Khandan N.N. 2002.** Modeling Tools for Enviromental Engineers and Scientists. CRC Press LLC. sf: 28-32.

**King, I.P., De George, J.F. 1996.** Multi-Dimensional Modeling of Water Quality Using the Finite Element Method. Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the 4th International Conference, M.L. Spaulding and R. T. Cheng (Eds.), ASCE, New York.

**Kocataş, A. 2003.** Ekoloji: Çevre Biyolojisi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:51, İzmir.

**Larmaei, M.M., Mahdi, T., Gaskin, S. 2009.** Vegetation and Shallow Water Hydraulics, 33. Ulualararası Hidrolik Mühendisliği ve Araştırma Birliği Kongresi: Sürdürülebilir Çevre için Su Mühendisliği, Vancouver.

**Lawrie R.A. ve Stretch D.D. 2011.** Anthropogenic impacts on the Water and Salt Budget of St Lucia Estuarine Lake in South Africa. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 93: 58-67.

**Leon, L.F., Lam, D.C.L., Schertzer, W.M., Swayne, D.A., Imberger, J. 2006.** Towards Coupling a 3D Hydrodynamic Lake Model with the Canadian Regional Climate Model: Simulation on Great Slave Lake. Environmental Modelling & Software 22:787-796.

**Lesser, G., Kester, J., Roelvink, J.A. 2000.** Online sediment transport within Delft3D-FLOW. Delft Hydraulics, Netherlands, 167 s

**Lewis, W.M. 2009.** Ecological Zonation in Lakes: Lake Ecosystem Ecology, Editör: Likens, G.E., Elsevier, sf: 11-17.

**Lindim, C., Pinho, J.L., Vieira, J.M.P. 2011.** Analysis of Spatial and Temporal Patterns in a Large Reservoir Using Water Quality and Hydrodynamic Modeling. Ecological Modelling. 222:2485-2494.

**Linsley, J.R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H. 1975.** Hydrology for Engineers, 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill, Tokyo.

**Liu, W.C., Chen, W.B., Chiu, C.Y. 2011.** Numerical Modelling of Hydrodynamic and Hydrothermal Characteristics in Subtropical Alpine Lake. Appl. Math. Modell. DOI:10.1016/j.apm.2011.08.011

**Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E.W., Westlake, D. F. 2001.** The Interaction Between Water Movement, Sediment Dynamics and Submersed Macrophytes. Hydrobiologia 444: 71–84.

**Mengoni, B., Mosselman, E. 2006.** Analysis of Riverbank Erosion Processes: Cecina River, Italy. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM 2005 – Parker & García (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 0 415 39270 5.

**Mercan, D.E., 2006.** Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Nguyen, H. L., Leermakers, M., Osán, J., Török, S., Baeyens, W. 2005.** Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota. Science of the Total Environment, 340:213-230.

**Nijboer, R.C. , Verdonschot, P.F.M. 2004.** Variable Selection for Modelling Effects of Eutrophication on Stream and River Ecosystems, *Ecological Modelling*, 177: 17-39.

**NWS (National Weather Service). 2001.** HL River Mechanics, FLDWAV Version 2.0 Availability. Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service (NWS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

**Özçoban, S. 1998.** Doğu Karadeniz Bölgesindeki Solaklı Deresinin Hidrodinamik Modeli. *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Özen, A. 2006.** Role of Hydrology, Nutrients and Fish Predation in Determining the Ecology of a System of Shallow Lakes. *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Partanen, S. ve Hellsten, S. 2005.** Changes of Emergent Aquatic Macrophyte Cover in Seven Large Boreal Lakes in Finland With Special Reference to Water Level Regulation. *Fennia* 183: 1, 57–79.

**Peters, J.A., Lodge, D.M. 2009.** Littoral Zone: Lake Ecosystem Ecology, Editör: Likens, G.E., Elsevier, sf: 11-17.

**Salihoğlu, G., Karaer, F. 2005.** Uluabat Gölü için Ekolojik Risk Değerlendirmesi. *İTÜ Su Kirlenmesi Kontrolü*, 15:1-3,17-28.

**Semiz, G.D., Polat, H.E., Anlı, A.S. 2011.** Kırsal Alan faaliyetleri Etkisindeki Sulak Alanlar: Alınması Öngörülen Bilimsel ve Teknik Tedbirler. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran 2011, Kırşehir.

**Sheffer, M. 2004.** Ecology of Shallow Lakes: Population and Community Biology Series, Kluwer Academic Publishing,.

**Stelling, G. S., 1984.** On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems. Tech. Rep. 35, Rijkswaterstaat.

**Tetra Tech (Tetra Tech, Inc.). 1995.** Hydrodynamic and Water Quality Mathematical Modeling Study of Norwalk Harbor, Connecticut, Final Report. 1995. Prepared for City of Norwalk Department of Public Works, Norwalk, CT. Prepared by Tetra Tech, Inc., Fairfax, VA. May 31, 1995.

**Thomas, W.A., McNally, W.H. 1985.** User's Manual for the Generalized Computer Program System-Open Channel Flow and Sedimentation TABS-2. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg.

**Yaman, G. 2010.** Akyatan Lagünü'nde Su Kalitesinin Bilgisayar Destekli Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

**Yenilmez, F., Aksoy, A. 2007.** Uluabat Gölü Su Kalitesinin WASP 7.2 Modeli Kullanılarak Değerlendirilmesi. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji 24-27 Ekim 2007, İzmir.

**Wang, C., Zhu, P., Wang, P.F., Zhang, W.M. 2006.** Effects of Aquatic Vegetation on Flow in The Nansi Lake and its Flow Velocity Modelling. *Journal of Hydrodynamics*. 18(6):640-648.

**Wang, P.F., Wang, C. 2006.** Numerical Modelling for Flow Through Submerged Vegetation Regions in a Shallow Lake. *Journal of Hydrodynamics*. 23(2):170-178.

**Wallsten, M. Ve Forsgren, P.O. 1989.** The Effects of Increased Water Level on Aquatic Macrophytes. *J. Aquat. Plant Manage.* 27:32-37.

<http://www.ramsar.org/pdf/sitelist.pdf> (Erişim Tarihi: 30 Ağustos 2011)

<http://www.lakeaccess.org> (Erişim Tarihi: 28 Ağustos 2011)

## **EKLER**

**Ek -1**

**Dönem-1 Simülasyonları**

- a) Senaryo-1 Koşulunda Dönem-1
- b) Senaryo-2 Koşulunda Dönem-1

**Ek -2**

**Dönem-2 Simülasyonları**

- a) Senaryo-1 Koşulunda Dönem-2
- b) Senaryo-2 Koşulunda Dönem-2

**Ek -3**

**Dönem-3 Simülasyonları**

- a) Senaryo-1 Koşulunda Dönem-3
- b) Senaryo-2 Koşulunda Dönem-3

**Ek -4**

**Dönem-4 Simülasyonları**

- a) Senaryo-1 Koşulunda Dönem-4
- b) Senaryo-2 Koşulunda Dönem-4



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seher Sonay SARMAŞIK  
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA / 18.02.1985  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Nilüfer Milli Piyango Anadolu Lisesi - 2003  
Lisans : Uludağ Üniversitesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü - 2008  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği ABD  
Çevre Bilimleri Bilim Dalı - 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -  
İletişim (e-posta) : ssonays@uludag.edu.tr  
Yayınları :

1. **Katip, A., Karaer, F., Başkaya, H.S., İleri, S., Sarmaşık, S. 2011.** Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals and Trace Elements in Sediments of Lake Uluabat, Environ. Monit. Assess., DOI: 10.1007/s10661-011-2348-4.
2. **Sarmaşık, S., Karaer, F., Katip, A., İleri, S., Aksoy, E. 2011.** Uluabat Gölü Su Ve Sedimentinde Bazı Ağır Metallerin Coğrafi Bilgi Sistemi ile Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 5-8 Ekim 2011, Samsun.
3. **Karaer, F., Katip, A., Aksoy, E., İleri, S., Sarmaşık, S. 2009.** Sulak alanların önemi, sorunları ve Uluabat Gölü. I. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-23 Mayıs 2009, Bursa.