

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EGE DENİZİ'NDEKİ ETEZYEN RÜZGAR KAYNAKLI YÜKSELİCİ SU
HAREKETLERİNİN ATMOSFER- OKYANUS BİRLEŞİK MODEL SİSTEMİ
İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceyhun ÖZCAN

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EGE DENİZİ'NDEKİ ETEZYEN RÜZGAR KAYNAKLI YÜKSELİCİ SU
HAREKETLERİNİN ATMOSFER- OKYANUS BİRLEŞİK MODEL SİSTEMİ
İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ceyhun ÖZCAN
(511161006)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış ÖNOL

Haziran 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511161006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ceyhun ÖZCAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “EGE DENİZİ'NDEKİ ETEZYEN RÜZGAR KAYNAKLI YÜKSELİCİ SU HAREKETLERİNİN ATMOSFER- OKYANUS BİRLEŞİK MODEL SİSTEMİ İLE SİMÜLASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Barış ÖNOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut Celal BARLA
Haliç Üniversitesi

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Atmosfer Bilimleri Programında yüksek lisans bitirme tezidir. Bu çalışmanın amacı, Bölgesel iklim modeli olan RegCM ve bölgesel okyanus modeli olan ROMS modelleri ile hazırlanan birleşik atmosfer-okyanus modeli ile Ege Denzinde gerçekleşen Etezyen rüzgar kaynaklı yükselici su hareketinin araştırılmasıdır. Tez çalışmama, 116Y136 numaralı “Anlık Görselleştirme Yaklaşımı ve Birleşik Atmosfer-Okyanus Model Sisteminin Entegre Edilerek Atmosfer-Deniz Etkileşimindeki Hızlı Süreçlerin Araştırılması” projesi ile destek veren TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Bu çalışma süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen ve sürekli beni motive eden danışmanım Doç. Dr. Barış ÖNOL'a ve Doç. Dr. Ufuk Utku TURUNÇOĞLU'na çok teşekkür ederim. Ayrıca, aileme ve arkadaşlarıma beni cesaretlendirdikleri ve her zaman yanımda oldukları için teşekkür ediyorum.

Haziran 2019

Ceyhun ÖZCAN
(Meteoroloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. YÖNTEM VE VERİ	7
2.1 Kullanılan Veriler	7
2.2 Kullanılan Modeller	10
2.3 Simülasyon Tasarımları	12
3. ANALİZLER	17
3.1 Tekil Atmosfer Model Simülasyonları	18
3.2 Birleşik Atmosfer-Okyanus Simülasyonunun Analizleri	22
3.2.1 Yükselici Su Hareketi İndeksi (YSHİ) ve Ekman Taşınımı	23
3.2.2 Sıcaklık Analizi	28
3.2.3 Yoğunluk Analizi	32
3.2.4 Tuzluluk Analizi	34
3.2.5 Karışım Tabakası Analizi	37
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47



KISALTMALAR

AVHRR	: Advanced Very-High-Resolution Radiometer
CCMP	: Cross-Calibrated Multi-Platform
DYS	: Deniz yüzeyi sıcaklığı
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ICTP	: International Centre for Theoretical Physics
IEO	: Instituto Español de Oceanografía
NCAR	: National Center for Atmospheric Research
NCDC	: National Climate Data Center
NOAA	: National Ocean and Atmospheric Administration
RegESM	: Regional Earth System Model
ROMS	: Regional Ocean Modeling System
RSS	: the Remote Sensing System
WRF	: Weather Research and Forecasting
YSHİ	: Yükselici su hareketi indeksi



SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece
m	: Metre
mm	: Milimetre
ρ_w	: Deniz yoğunluk
ρ_a	: Hava yoğunluğu
u,v	: Rüzgar vektörü bileşenleri
C_d	: Sürüklenme katsayısı
Q_x,Q_y	: Ekman taşınım vektörü bileşenleri
τ_x, τ_y	: Rüzgar stresi bileşenleri
f	: Coriolis parametresi
%	: Yüzde



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 RegCM modeli için kullanılan parametrisasyonlar	13
Tablo 2.2 Çalışmada kullanılan modellerin konfigürasyonu.	15
Tablo 3.1 RegCM ve WRF Simülasyonlarının Şekil 3.1’de belirtilen (R1) bölgesindeki CCMP ve NOAA(Blended) gözlem verileri ile olan korelasyonları.	20
Tablo 3.2 WRF için sınır tabaka şeması için yapılan hassasiyet testinin CCMP gözlem verisi ile arasındaki korelasyonlar	20
Tablo 3.3 Birleşik model sistemi ile yapılan hassasiyet analizleri.	23



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kuzey yarımkürede rüzgar kaynaklı kıyı yükselici su hareketi görseli; Rüzgar(Wind), Ekman taşınımı(Ekman transport) yükselici su hareketi(upwelling), yoğunluk gradyanının en fazla olduğu tabaka(pycnocline) (http://oceanmotion.org/)	10
Şekil 2.2 RegESM model sisteminin çalışma akışı (Turuncoglu ve diğ., 2019)	11
Şekil 2.3 Çalışmada kullanılan modeller için belirlenen model alanları	14
Şekil 2.4 RegESM model sisteminde atmosfer, okyanus ve nehir modellerinin birbirleri ile etkileşimleri (Turuncoglu, 2014)	14
Şekil 3.1 Soldan sağa sırayla 13, 21 ve 29 Temmuz 2004 tarihlerindeki DYS'nın rüzgar ile olan değişimi.	17
Şekil 3.2 NASA Worldview sisteminden alınan MODIS/Terra uydusunun 18.07.2004 tarihli düzeltilmiş yüzey yansıtma ürünü(Adres: https://worldview.earthdata.nasa.gov/)	18
Şekil 3.3 Ege Denizi'ndeki değişimleri daha iyi analiz edebilmek için belirlenmiş bölgeler: yükselici su hareketi (YSH) bölgesi (R1), alçalıcı su hareketi (ASH) bölgesi (R2), Çanakkale Boğazı bölgesi ve Marmara Denizi bölgesi	19
Şekil 3.4 Simülasyon ve gözlem verilerinin R1 bölgesindeki, Ekman taşınımının X bileşeni, rüzgarın V bileşeni ve DYS ortalamalarının zamansal değişimi.....	21
Şekil 3.5 Simülasyon ve gözlem verilerinin R1 bölgesindeki, Ekman taşınımının Y bileşeni, rüzgarın U bileşeni ve DYS ortalamalarının zamansal değişimi.....	21
Şekil 3.6 Düşey analizler için İzmir/Karaburun kıyılarından alınan kesit.....	22
Şekil 3.7 19.07.2004 tarihi için simülasyonlara ait YSHİ değerleri.	24
Şekil 3.8 19 Temmuz 2004 tarihi için birleşik model sisteminden anında görselleştirme yaklaşımı ile oluşturulan 3 boyutlu YSHİ değerleri.	25
Şekil 3.9 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait rüzgar stresi ve Ekman taşınımı vektörleri.	26
Şekil 3.10 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait yatay akıntı hızları	27
Şekil 3.11 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait dikey kesitteki düşey akış hızları.....	28
Şekil 3.12 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait DYS değerleri	30
Şekil 3.13 19 Temmuz 2004 tarihi için Klimatolojik (CLM) DYS, referans simülasyon(ORG) DYS değerleri ve rüzgarı değeri değiştirilmiş simülasyonların(M50, M25, P25, P50) referans simülasyondan farkları.	30
Şekil 3.14 Temmuz 2004 ayı için NOAA (OBS), klimatolojik veri (CLM) ve simülasyon sonuçlarındaki R1 ve R2 bölgeleri ortalama DYS değerleri ve farkları	31
Şekil 3.15 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ve klimatolojik veriye ait belirlenen kesitteki düşey sıcaklık profili	31

Şekil 3.16 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ve klimatolojik veriye ait belirlenen kesit için düşey sıcaklık profili ve referans simülasyonun rüzgarı değiştirilmiş simülasyonlardan farkı	32
Şekil 3.17 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ve klimatolojik veriye ait belirlenen kesit için düşey yoğunluk profili	33
Şekil 3.18 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik ve referans simülasyona ait yoğunluk değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı	33
Şekil 3.19 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait tuzluluk (ppt) değerleri .	34
Şekil 3.20 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ait tuzluluk (ppt) değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı	35
Şekil 3.21 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik veriye ve simülasyonlara ait belirlenen kesit için düşey tuzluluk (ppt) profili	36
Şekil 3.22 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik ve referans simülasyona ait tuzluluk(ppt) değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı	37
Şekil 3.23 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait karışım tabakası kalınlığı(m) değerleri.....	38
Şekil 3.24 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ait karışım tabakası kalınlıkları ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı	38

EGE DENİZİ'NDEKİ ETEZYEN RÜZGAR KAYNAKLI YÜKSELİCİ SU HAREKETLERİNİN ATMOSFER- OKYANUS BİRLEŞİK MODEL SİSTEMİ İLE SİMÜLASYONU

ÖZET

Dünyada küresel ve bölgesel ölçekteki iklimlerin belirlenmesinde birçok etmen bulunmaktadır. Bu faktörlerin en önemlilerinden bazıları ise atmosfer-okyanus etkileşimi sonucu meydana gelmektedir. Atmosfer ve okyanus sürekli kuvvetli bir etkileşim içerisindedirler. Bu etkileşim çevre bölgelerdeki hava şartlarına etki etmekte ve okyanus içerisinde fiziksel ve kimyasal değişimlere sebep olmaktadır. Atmosfer ve okyanus birçok farklı parametre yardımı ile etkileşmekte olup bu parametrelerin en önemlilerinden bir tanesi de rüzgardır. Rüzgarın okyanus ve denizler üzerine etkisi genellikle yükselici su hareketi mekanizması ile ilişkilendirilmektedir. Genellikle kıyı bölgelerinde meydana gelen bu hadise, rüzgarın kıyıya paralel şiddetli bir şekilde esmesi ile oluşmaktadır. Kıyı boyunca esen rüzgar deniz yüzeyindeki su kütlelerinin açık denize doğru taşınmasına neden olmaktadır. Bu su kütlesi taşınımını dengelemek için alt tabakalardaki su kütlelerinin yükselmesine gerekmektedir. Bu mekanizma, deniz yüzeyinin daha soğuk, besleyici ve çoğunlukla daha yoğun olmasına sebep olmaktadır. Yükselici su hareketini tespit etmek için deniz yüzeyindeki bu parametrelerin değişimi gözlemlenebilir. Dünyada bu etkileşimlerin yoğun olduğu birçok bölge bulunmaktadır. Ege Denizi ve kıyıları bu bölgelerden birisidir. Bu çalışmada Ege Denizi'nde bölgesel kuzeyli Etezyen rüzgarlar nedeniyle oluşan yükselici su hareketlerinin, tekil ve birleşik atmosfer-okyanus modelleri ile simüle edilerek analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, 18-24 Temmuz 2004 tarihleri arasında gerçekleşen yükselici su hareketi vakası analiz edilmek için seçilmiştir. Seçilen bu tarihler arasında, Ege Denizi'nin doğusundaki ortalama rüzgar hızı yaklaşık 16.5 knot ölçülmüştür. Bu süreç sonucunda deniz yüzey sıcaklığında yaklaşık olarak 1.5 °C'lik düşüş gözlenmiştir. Seçilen bu vakanın simülasyonunda, RegCM 4.6 ve WRF 3.8 atmosfer modelleri ile ROMS okyanus modeli kullanılmıştır. Birleşik atmosfer-okyanus model sisteminin oluşturulması için ise RegESM'den yararlanılmıştır. Bu simülasyonlar ile yükselici su hareketi mekanizmasının anlaşıldığı ve meydana getirdiği sonuçların gözlenmesi için bir çok analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde deniz yüzeyi sıcaklığı, tuzluluk, karışım tabakası kalınlığı ve gizli ısı akısı gibi birçok parametredeki değişimler üzerine çalışılmıştır. Bunlara ek olarak Ekman'ın (1905) çalışmalarını ve Bakun'un (1973) hesaplarını temel alarak, rüzgarın yükselici su hareketi üzerine etkisini sayısal olarak ifade edilmesi için Yükselici su hareketi indeksi (YSHİ) oluşturulmuş ve bu indeks üzerinden incelemeler yapılmıştır. Çalışmada orjinal durum için simülasyonun yanı sıra, rüzgar hız değerlerinde %25 ve %50 oranlarında

artış/azalışlar uygulanarak duyarlılık testleri yapılmıştır. Bu simülasyonlar, rüzgar şiddetindeki değişimlerin denizin nasıl ve ne derece tepki vereceğini incelemeye faydalı olmuştur. Böylelikle, Etezyen rüzgar rejiminde iklim değişikliğinden kaynaklanacak bir değişim sonucunda oluşacak sonuçlar öngörülmüş olmaktadır. Bu simülasyon sonuçlarında, Ege Denizi'nin doğusundaki ortalama deniz yüzeyi sıcaklığı rüzgar hızının %25 oranında artması koşulunda 0.4 °C, rüzgar hızının %50 oranında artmasında ise 1.2 °C azalmıştır. Rüzgar hızının azalması koşullarında da yaklaşık aynı değişim oranları gözlenmiştir. Bu çalışmada izlenen yöntemler diğer atmosfer-okyanus etkileşim süreçlerinin incelenmesi için de uygulanabilir.



ANALYSIS OF COASTAL UPWELLING FORCED WITH ETESIAN WIND OVER AEGEAN SEA USING COUPLED ATMOSPHERE-OCEAN MODELING SYSTEM

SUMMARY

Global and regional climates in the world are determined by many factors. Some of the most important of these factors occur as a result of atmospheric-ocean interaction. The atmosphere and the ocean are in constant interaction. This interaction affects weather conditions in the surrounding areas and causes physical and chemical changes in the ocean. The atmosphere and the ocean interact with the help of many different parameters, and one of the most significant of these parameters is the wind. The effect of wind on oceans and seas is often associated with the mechanism of upwelling. This phenomenon, which usually occurs in coastal areas, is caused by the strong winds blowing parallel to the coast. Water mass on the sea surface are transported towards the open sea by the wind blowing along the shore. In order to balance this water mass transport, the water mass in the sublayer need to rise. As a result of this mechanism, the sea surface is colder, nutritious and mostly denser. Variation of these parameters on the sea surface can be observed to detect upwelling. There are many regions in the world where these interactions are intense. The Aegean Sea and its coasts are one of these regions because of regional Etesian wind generally. In summer, the Ethesian wind is caused by the pressure gradient due to the high pressure center on Eastern Europe and the low pressure centers on the Middle East. This northern wind regime is active in most of the summer months. This wind blowing parallel to the eastern shores of Aegean Sea causes upwelling due to Ekman transport. In this study, it is aimed to analyse the upwelling caused by Etesian winds in Aegean Sea by simulating with standalone and couple atmospheric-ocean models.

In this study, a case of upwelling between 18-24 July 2004 in Aegen Sea is selected for analysis. Between these dates, the average wind speed in the eastern Aegean Sea was measured at approximately 16.5 knots. As a result of this process, a decrease of approximately 1.5 °C was observed in sea surface temperature. In the simulation of this selected case, RegCM 4.6 and WRF 3.8 atmosphere models and ROMS ocean model were used. The 0.75 degree resolution ERA-Interim data set produced by ECMWF was used to define the initial and boundary conditions in the atmosphere models, and the 7 km resolution reanalysis data created by MyOCEAN was used to determine the initial and boundary conditions of the ocean model. RegESM was used to create a combined atmosphere-ocean model system. The models run with the RegESM model system communicate information to each other with parameters such as sea surface temperature, momentum flux. This information is shared between the ocean and the atmosphere model at 1-hour intervals. In addition, RegESM allows

processing and visualizing the outputs during the run of the models. Both models interact at 6 minute intervals to in-situ visualization. The atmosphere models were first run with 12 km horizontal resolution to cover the whole Mediterranean Sea. Then, a second model domain was created for the Aegean Sea with a resolution of 3 km by nesting within first model domain. CCMP, NOAA-BLENDED and ERA-Interim observation and reanalysis data sets were used to test the wind values of single atmosphere simulations. In these tests, the ERA-Interim generated by ECMWF and the OI-SST generated by NOAA sea surface temperature observation data sets were used to examine the relationship with the wind. When single atmosphere simulations and sea surface temperature and wind observation data are compared, it is calculated that the models represent the Aegean wind well and there is a strong and inverse correlation between the meridional component of the wind and sea surface temperature. In the next step, the ROMS ocean model was run as couple within the high-resolution RegCM model domain. The ROMS model has a horizontal resolution of 3 km and a 32 sigma level. With these simulations, a lot of analysis has been carried out to examine the mechanism of the upwelling and to observe the results. The analyses were conducted to examine the changes in parameters such as sea surface temperature, salinity, mixing layer thickness and latent heat flux. In addition, based on the studies of Ekman (1905) and Bakun's (1973) calculations, Upwelling Index (UI) was created to quantify the effect of the wind on the rising water movement and analyses were made on this index. This index is defined as the volume of water transported per unit time and unit distance from a section taken along the coast. To better see the effect of the wind on upwelling, sensitivity tests were performed by applying 25% and 50% increases / decreases in wind speed values in addition to simulation for the original situation. These simulations have been useful in examining how and to what extent the sea will react to changes in wind speed. Thus, possible consequences due to climate change in the Etesian wind regime were observed.

According to the results of simulation, It is determined that the amount of Ekman transport to the west and Upwelling Index value increase with increasing wind value. When the current values on the sea surface are analysed, it is seen that the current direction is generally western and in the scenarios where the wind value increases, the current intensity raises especially in the coastal regions. These results are consistent with Ekman transport. Upward flow of water from the lower levels is necessary to balance this water body carried horizontally. In order to observe the changes in this vertical, a vertical cross-section was taken along the shores of İzmir Karaburun within the ocean output. When the vertical flow rate is analysed, high upward values are observed in the regions close to the shore. In the scenarios where the wind is increased, it is seen that these vertical flow velocity values are further intensified. The flow rate in the reference simulation was $14.58 \cdot 10^{-5}$ m/s on average, while the wind value was $21.57 \cdot 10^{-5}$ m/s in the increased scenario and $8.64 \cdot 10^{-5}$ m/s in the reduced wind scenario. When the temperature distribution in the Aegean Sea is examined, it is seen that the temperatures decrease in the east of the Aegean Sea. The increase in wind value decreases the sea surface temperature more. The average sea surface temperature in the east of the Aegean Sea was found to be 22 °C in the reference simulation, 21.2 °C in the wind-enhanced scenario and 22.8 °C in the wind-reduced scenario. When the temperature profile of Karaburun vertical section is examined, it is seen that the same temperature curves slope towards the shore and thermocline layer reaches the surface. The movement of the cold water to the surface is determined. Furthermore, when the density profile in the vertical is examined, it is

seen that the dense water body in the substrate is carried towards the surface. Another examination is performed for salinity. One of the most important factors affecting salinity in the Aegean Sea is the Black Sea water entering through the Dardanelles. The proportion of salt in the water coming from the Black Sea is quite low compared to the waters in the Aegean and Mediterranean. Simulation results showed that the northern wind changed the salinity of the Aegean Sea mostly to the north, because the wind affected the flow from the Çanakkale Strait to a great extent. With the decrease of the intensity of the wind, surface salinity decreases in the north of the Aegean Sea. However, when we look at the areas of upwelling, the increase in the wind force affects the salinity decreasing direction, but this rate is quite low compared to the change in the north of the Aegean Sea. When analyzed at the height of the mixing layer at sea, it is seen that it has a strong relationship with wind speed. Increasing the thickness of the mixing layer has a stratification reducing effect and facilitates the operation of the rising water movement mechanism and therefore plays an important role.

As a result of this study, wind-driven upwelling mechanism in Aegean Sea between 18-24 July 2004 could be examined in detail. The sensitivity of this upwelling system to the wind strength was analyzed with different simulations. During this event, the changes in the ocean and atmosphere were examined horizontally and vertically. Through this study, the effects of upwelling have been visualized and understood clearly. With this method, comprehensive studies on other upwelling events and other atmospheric-ocean processes can be studied. Ocean physics, chemistry and biology, fisheries and marine accidents can be studied.



1. GİRİŞ

Atmosfer ve okyanuslar birbiriyle kuvvetli bir şekilde etkileşimde olan, en önemli iklim bileşenlerindedir. Bu etkileşim sonucunda, hidrolojik, karbon, azot çevrimleri gibi küresel iklimi değiştirebilecek mekanizmalarda belirleyici rol oynarlarken, orta ve küçük ölçekteki bölgelerin ikliminde de direkt söz sahibidirler. Ayrıca bunun yanında okyanus ekosisteminde de önemli etkilere neden olmaktadır. Atmosfer ve okyanus arasında bu çift yönlü etkileşime neden olan birçok etkileşim mekanizması vardır. Başlıca mekanizmalardan bir tanesi de yükselici su hareketidir (upwelling). Yükselici su hareketi Dünya’da birçok bölgede görülmektedir ve oluştuğu bölgelerdeki iklimi ve yaşamı büyük oranda etkilemektedir. Bu mekanizmanın oluşma nedenlerini ve etkilerini incelemek bu bölgeler için oldukça önemlidir.

Yükselici su hareketi, deniz/okyanus yüzeyinde oluşan iraksama ve alt-orta tabakalardaki yakınsama sonucu alt tabakadaki su kütesinin yükselerek yüzeye hareket etmesi olarak tanımlanır (Smith, 1968). Daha kısıtlayıcı bir tanım yapılacak olursa, bir su kütesinin yükselerek karışım tabakasına girişidir. Kıyı bölgelerdeki yükselici su hareketi ise; termoklin katmanının kıyı boyunca yükselmesi olarak tanımlanabilir (Yoshida ve Mao, 1957). Termoklin katmanı yükseldiği, genellikle de yüzeye ulaştığı için düşey sıcaklık gradyanı azalır. Alt tabakadaki yoğunluk değişimi, yüzeydeki su özelliklerinin değişmesine sebep olur. Yukarı yönlü su hareketleri çoğunlukla yüzeyin sıcaklığını, tuzluluğunu ve oksijen miktarını düşürürken, besleyiciliği arttırmaktadır. Bu fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişimi; su içerisinden, uçaktan veya uydular tarafından yapılan ölçümlerde yükselici su hareketinin tespit edilmesini sağlayabilir. Bu takip ve gözlemler balıkçılık faaliyetleri için çok önemlidir, ki özellikle bu bölgelerde balıkçılık verimi çok yüksektir ve kabaca dünya balıkçılığının yarısına denk gelmektedir (Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual, p. 221, 2004), (Clemente- Colón, 2004, Bölüm 9).

Topoğrafya, akıntı, rüzgar ve tabakalaşma, yükselici su hareketinin oluşumundaki başlıca faktörler olduğu söylenebilir. Estrade ve diğ., (2008) kıta sahanlığının yükselici su hareketine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında; geniş sığ kıta sahanlığının yükselici su hareketinin oluşmasında gerekli görüldüğü için kıta sahanlığı geometrisinin uygun rüzgar şartları altında kıyılardaki yükselici su hareketi ayırımını etkileyen en önemli faktör olabileceği sonucuna varılmış. Tabakalaşma ise, yüzeydeki ve alt sınır tabakalarını sınırladığı ve yükselici su hareketinin yoğunluğunu direkt olarak etkilediği için oldukça önemlidir (Estrade ve diğ., 2008; Androulidakis ve diğ., 2017). Son olarak rüzgar faktörüne bakıldığında, uygun şiddet ve yöndeki rüzgar ile yükselici su hareketi arasında direkt ve kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu çalışmada temel olarak yükselici su hareketinin rüzgar ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Yükselici su hareketleri genellikle rüzgarların kıyıya paralel olduğu bölgelerde görülmektedir. Bunun nedeni, rüzgarlar yüzeydeki su kütlesini Coriolis etkisinden dolayı Kuzey yarımkürede rüzgar yönünün sağına, Güney yarımkürede soluna doğru taşınımına sebep olmaktadır. Bu mekanizmaya Ekman Taşınımı denilmektedir ve 2. Bölümde daha detaylı açıklanacaktır. Dünyada yoğun yükselici su hareketleri genellikle kıta sahanlığından açık denize uzanan alanlarında, güçlü ve uzun süre etkin rüzgarlara sahip olan bölgelerde görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kıyıları, Meksika'nın kuzeybatı kıyıları, Ekvador ve Peru kıyıları, Afrika'nın kuzeybatı ve güneybatı kıyıları, Somali ve Arap yarımadasının doğu kıyıları, dünyada yükselici su hareketlerinin yoğun olarak görüldüğü bölgelere örnek verilebilir. Bu bölgelere ek olarak daha az yoğun veya daha kısa sürelerde yükselici su hareketi görülen birçok bölgede bulunmaktadır (Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual, p. 221, 2004), (Clemente-Colón, 2004, Bölüm 9). Yukarı su taşınımının zamansal dağılımına da bakıldığında, ılıman bölgelerde sezonsal olarak oldukça fazla değişme eğiliminde olup, en şiddetli olduğu dönemler ilkbahar ve yaz mevsimleridir, fakat daha tropikal bölgelerde yoğunluk bütün yıla yayılmıştır (Gonzalez-Nuevo ve diğ., 2014). Bu gibi bölgelerdeki yükselici su hareketi mekanizmasını, zamansal sıklığını ve ne gibi etkileri olduğunu anlamak için birçok çalışma yapılmaktadır. Rueda-Roa ve diğ. (2018) tarafından Karayip denizinin güneyindeki kıyılarda oluşan yukarı su taşınımını inceleyen bir çalışmada, uzaktan algılama ve bölgedeki ölçüm verileri kullanılarak uzun zaman periyodunda yukarı su

taşınımının hangi dönemlerde, ne kadar şiddette ve hangi mekanizmadan kaynaklı olduğu incelenmiştir. Deniz yüzeyi sıcaklığındaki düşüşün fazla olduğu dönemlerde, yükselici su hareketinin kaynağı bulmak için Ekman taşınımı, Ekman pompalaması (Ekman pumping) ve Karayip Akıntısı sisteminin etkileri gibi parametrelere bakılmış. Elde edilen sonuçlarda yükselici su hareketlerinin %78 rüzgar taşınımı (Ekman taşınımı) kaynaklı olduğu saptanmıştır. Ekman taşınımına sahilden 100km uzaklıktaki rüzgar kıvrılma parametresi entegre edildiğinde, deniz yüzeyi sıcaklığı ile olan korelasyonu çok daha yüksek olduğu analiz edilmiş (Rueda-Roa ve diğ., 2018).

Başlıca rüzgar kaynaklı kıyı yükselici su hareketlerinin görüldüğü bölgeler genellikle okyanus kıyılarında görülse de, bazı denizlerde de dikkate değer yoğunlukta yükselici su akışına sahip bölgeler bulunmaktadır. Akdeniz'deki başlıca yükselici su hareketi alanların olan Ege Denizi'nin doğusu ve Lion Körfezi bu bölgelerdendir (Ciappa, 2018). Yükselici su hareketi sırasında kıyından 50 km uzaklıktaki alanda gerçekleşen ortalama dikey yönlü hız karakteristiğine bakıldığında; Ege Denizi'nin doğusundaki yükselici su hareketi, Peru'nun güney kıyılarındaki maksimum yükselici hareketin %40'ına, Kaliforniya Akıntısında gelişenin %50'sine ulaşmaktadır (Bakun ve Agostini, 2001). Ege Denizindeki bu sistemin, Dünya'daki önemli bölgesel rüzgar kaynaklı kıyı yükselici su hareketi sistemlerinden biri olduğunu görülmektedir. Ege Denizi'ndeki bu su yükseliş sistemi üzerine çalışılmak istendiğinde, ilk olarak bölgedeki yükselici su hareketine neden olan Etezyen rüzgar incelenmelidir. Etezyen rüzgar (veya Meltem), Dünya'daki en kalıcı bölgesel rüzgar sistemlerinden birisidir. Yaz ve sonbaharın başlarında, Ege Denizi ve Akdeniz'in doğusu üzerindeki rüzgâr rejimi üzerinde baskındır. Etezyen rüzgar temel olarak troposferin alt kısmındaki yaz ve sonbahar başlarında oluşan kuzeyli bir akış denebilir. Genellikle bu rüzgarlar Ege denizinin kuzeyine kuzeydoğu yönlü, Orta Ege denizine kuzey yönlü ve Ege denizinin güneyine kuzeybatı yönlü gelmektedir (Savvidis ve diğ., 2004). Bu rüzgar paterninin oluşmasına neden olan başlıca dinamik mekanizma, Asya termal alçak basınç merkezinin uzantısı olduğu varsayılan Doğu Akdeniz ve Ortadoğu'daki alçak basınç sistemi ile Azor yüksek basınç merkezinin uzantısı olduğu varsayılan orta ve güneydoğu Avrupa üzerindeki yüksek basınç sisteminden dolayı oluşan doğu-batı yönlü şiddetli basınç gradyanıdır. Bu geniş ölçekteki sinoptik hava paternleriyle ilişkili olarak Etezyen rüzgar genellikle aralıksız olarak günlerce devam edebilir. Yakın geçmişte bakıldığında, Etezyen

rüzgar Ege Denizi üzerinde yaz döneminin %80'inden fazlasında etkili olduğu görülmüştür (Anagnostopoulou ve diğ., 2013). Fakat Poupkou ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmaya göre, 1979-2009 tarihleri arasındaki Etezyen rüzgar trend analizinde, her 10 yılda Etezyenli gün sayısında 1.48 ve rüzgar hızında 0.28 m/s azalma hesaplanmıştır.

Yaz mevsiminde etkin olan bu kuzeyli soğuk ve kuru Etezyen rüzgar, oluşturduğu batılı Ekman taşınımından dolayı, Türkiye'nin Ege kıyılarında ve Ege Denizi'nin doğusunda yer alan adaların batı kıyılarında yükselici su hareketi oluşturmaktadır. Yapılan deniz yüzeyi sıcaklığı analizlerinde, Ege Denizi'nde sıcaklık gradyanı yükselici su hareketinden dolayı doğudan batıya doğru (Kourafalou and Barbopoulos, 2003; Skliris et al., 2010), Levant Denizi'nden gelen sıcak su ve Karadeniz'den gelen soğuk sudan dolayı da kuzeyden güneye doğru arttığı görülmüştür (Ciappa, 2018). Etezyen rüzgarın yoğun olduğu dönemlerde deniz yüzeyi sıcaklığı, haftalık gibi kısa bir zaman ölçeğinde 2 derece kadar düşebilmektedir (Ciappa, 2018). Bu nedenle Etezyen rüzgar kaynaklı yükselici su hareketi, yaz mevsimindeki Ege Denizi yüzey sıcaklığını belirlemede çok büyük bir rolü sahiptir. Ciappa'nın (2018) yaptığı çalışma incelendiğinde Etezyen rüzgar ve Ege Denizindeki yükselici su hareketi hakkında birçok önemli bilgiye ulaşabiliriz. Bu çalışmada, Ege denizindeki 2003-2015 yılları arası ortalama yüzey sıcaklığı minimum 15 °C, maksimum 25 °C olarak hesaplanmış, aylık standart sapma ortalamalarına bakıldığında yaz aylarında ani bir yükseliş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu aylarda gerçekleşen yükselici su hareketlerinden dolayı sıcak ve soğuk su kütlelerinin su yüzeyinde birlikte bulunmasıdır. Bu çalışmadan çıkan bir başka sonuçta, 2003-2015 yılları arasındaki yaz dönemi ortalamalarında, yükselici su hareketi ve kuzeyli rüzgar sıklığı sırasıyla %69 ve %78 olarak bulunmuş ve deniz yüzeyi sıcaklığı anomalisi ile rüzgar arasındaki en yüksek korelasyonlar Haziran-Eylül periyodunda hesaplanmıştır. Yapılan bir başka çalışmada, rüzgar ile deniz yüzeyi sıcaklığı zamansal olarak kaydırılarak korelasyon değerleri tekrar hesaplanmış ve en iyi sonuçlar 1-2 gün kaydırıldığında bulunmuş, yani bu sonuçlara göre yükselici su hareketi Etezyen rüzgar başladıktan 24-48 saat sonrasında gerçekleşmektedir (Kotta ve Kitsiou, 2015). Bakun ve Agostini'nin (2001) yapmış olduğu çalışmalar ise yükselici su hareketinin olduğu bölgeler hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmadan, küçük adalarda kıyı boyunca oluşan basınç gradyanının, taşınımına uğrayan su kütlelerinin tekrar

doldurulmasına izin verdiği için yükselici su hareketlerinin hızlı bir şekilde dağıldığına, fakat büyük adalarda dengeleme işleminin tamamlanması için kıyılarda sıkışan dalgaları aşması gerektiğinden dolayı daha uzun bir sürede gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Ciappa'nın (2018) yapmış olduğu çalışmada desteklemiştir ki, büyük adaların batı yakalarındaki yükselici su hareketi başlangıcı, küçük adalardakine göre çok daha sıklıkla gözlenmektedir. Androulidakis ve diğ. (2017) yaptıkları kapsamlı çalışmada, Midilli adasının batı kıyılarında 2002 yazında meydana gelmiş 5 farklı Etezyen rüzgar kaynaklı yükselici su hareketi hadisesini; bölgesel ölçümler, uydu gözlemleri ve sayısal simülasyonlar kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Birçok atmosferik ve okyanus parametresi üzerinde analiz yapılmış ve bu analizlerden; Çanakkale boğazından giren Karadeniz su kütlelerinin Ege denizinin kuzeyindeki yükselici su hareketi bölgeleri üzerinde önemli rol oynadığı, yükselici su hareketlerinin kuvvetli kuzeyli rüzgarlarla oldukça yüksek bir ilişkide olduğu, yükselici su hareketlerinin tabakalaşmayı azalttığı fakat şiddetli tabakalaşmanın da yükselici su hareketi başlangıcını zorlaştırdığı ve yoğunluğunu etkilediği, yükselici su hareketi sırasında deniz yüzeyi sıcaklığı ve deniz yüzeyi tuzluluğu arasında güçlü ters bir ilişki olduğu gibi sonuçlar çıkarılmıştır.

Bu çalışmada, Ege Denizi'nde oluşan Etezyen rüzgar kaynaklı yükselici su hareketi sistemini daha iyi anlamak ve bu sistemin neden olduğu atmosfer-okyanus etkileşiminden dolayı bölge iklimi ile denizde oluşturduğu etkilerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın amacı doğrultusundaki incelemelerin yapılabilmesi için 18-24 Temmuz 2004 tarihleri arasında tespit edilen kuvvetli yükselici su hareketi vakası üzerinde çalışılmıştır. Bu vaka, bir dizi tekil ve birleşik sayısal model kullanılarak hem orijinal rüzgar koşulları ile hem de rüzgar koşullarındaki olası değişimlere göre simüle edilmiştir. Bu simülasyonlardaki birçok parametre belirli testler ile incelenmiş ve Etezyen rüzgarın şiddetindeki olası değişimlere göre atmosfer-deniz etkileşimindeki oluşabilecek farklar analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemler, veriler ve simülasyon bilgileri 2. bölümde, yapılan analizlerin sonuçları 3. bölümde ve çalışma sonucunda çıkarılan sonuçlar 4. bölümde yer almaktadır.



2. YÖNTEM VE VERİ

Çalışmada amaçlanan başlıca yöntem, belirli bir yükselici su hareketi hadisesinin tekil atmosfer modeli ve birleşik atmosfer-okyanus modelleri kullanılarak simüle edilmesi ve bu sonuçların belirlenen teknikler ile analiz edilmesidir. Bu hedefleri gerçekleştirebilmek için ilk olarak, Ege Denizi'nin doğusundaki gözlemlenmiş deniz yüzeyi sıcaklığı ve rüzgar V bileşeni parametreleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda 18-24 Temmuz 2004 tarihleri arasında tespit edilen kuvvetli yükselici su hareketi, üzerinde çalışılacak vaka olarak belirlenmiştir. Seçilen bu tarih öncelikle farklı tekil atmosfer modelleri ile simüle edilmiş ve rüzgar parametresine bakılarak doğrulukları duyarlılık testleri ile kontrol edilmiştir. Fakat atmosfer modelleri tekil olarak, atmosfer-okyanus etkileşiminin yüksek olduğu yükselici su hareketi sistemlerini çözmede yeterli değildir. Hem deniz hem de atmosferdeki değişimleri simüle edebilmek için birleşik atmosfer-okyanus modeli hazırlanmıştır. Ege Denizindeki yükselici su hareketinin Etezyen rüzgara olan duyarlılığını tespit etmek için rüzgar şiddeti %25 ve %50 oranlarında arttırılarak ve azaltılarak simülasyonlar oluşturulmuştur. Bu simülasyonlar iklim değişikliğinden dolayı Etezyen rüzgarın yoğunluğunda gerçekleşebilecek olası bir değişimin, Ege Denizine etkisini öngörmek için de önemlidir. Bu simülasyonların aralarındaki farklılıklar; deniz yüzeyi sıcaklığı, deniz yoğunluğu, tuzluluk, karışım tabakası kalınlığı, deniz üzerindeki gizli ısı akısı ve Ekman taşınımı ile hesaplanan yükselici su hareket indeksi (YSHİ) gibi parametrelere bakılarak karşılaştırılmıştır.

2.1 Kullanılan Veriler

Atmosfer modellerinin sınır ve başlangıç şartlarının belirlenmesi için girdi verisi olarak Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından hazırlanan 0.75° alansal çözünürlüklü ERA-Interim reanaliz verisi kullanılmıştır (Simmons ve diğ., 2006). ERA-Interim verisi 3 boyutlu meteorolojik parametreleri sağlamasının yanında deniz yüzeyi sıcaklığı parametresini de içermektedir. Koşuturulan tekil simülasyonlarda deniz yüzey sıcaklığı yine ERA-Interim veri setinden

kullanılmaktadır. Bu veri seti simülasyonlarda girdi verisi olmasının yanı sıra simülasyon sonuçlarının kontrolü için de kullanılmıştır. Okyanus modelinde ise girdi verisi olarak MyOCEAN tarafından Akdeniz havzası için oluşturulan re-analiz verisi kullanılmıştır. Bu veri seti, NEMO bölgesel okyanus modeli ile veri asimilasyonu yapılarak hazırlanmış olup, 7 km alansal çözünürlüğe ve 72 düşey seviyeye sahiptir. Çanakkale Boğazı'ndan gelen akıntıyı simülasyona entegre edebilmek için gözlem verilerinden harmanlanmış Marmara Denizi günlük klimatolojik verileri kullanılmıştır.

Analizlerde kullanılan rüzgar gözlem verilerine bakarsak, ERA-Interim veri setine ek olarak iki farklı veri seti daha kullanılmıştır. Bu verilerden ilki, Remote Sensing System (RSS) tarafından sağlanan birçok farklı uydu verilerini, National Center for Atmospheric Research (NCAR) arşivindeki gemi ve şamandıra gözlem verilerini ve ECMWF tarafından hazırlanan ERA-40 veri setini kullanarak oluşturulan Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP; v2) okyanus yüzeyi rüzgar verisidir (Wentz ve diğ. 2015). Bu veri seti küresel ölçekte ve 1987-2016 zaman aralığında olup 0.25° yersel, 6 saatlik zamansal çözünürlüğe sahiptir. Diğer veri seti ise, National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA) bünyesindeki National Climate Data Center (NCDC) tarafından hazırlanan Blended Sea Winds veri setidir (BLEND; Zhang ve diğ. 2006). Bu veri seti de RSS'den elde edilen SSM/I, QuikSCAT, AMSR ve TMI gibi uydu ürünlerinden üretilmiştir. Küresel ölçekte ve 1987'den günümüze kadar olan bir zaman aralığını kapsayan bu veri seti, 0.25° çözünürlüğe sahiptir. Zamansal çözünürlük olarak 6 saatlik, günlük ve aylık ortalamalar şeklinde oluşturulmaktadır.

Deniz yüzeyi sıcaklığı analizleri için iki veri seti kullanılmıştır. Bunlardan biri daha önceden bahsedildiği gibi ERA-Interim veri setidir. Diğer veri seti ise, NOAA tarafından uydu (Advanced Very-High-Resolution Radiometer, AVHRR), şamandıra ve gemi gözlem verileri kullanılarak üretilen OI-SST (v2) veri seti kullanılmıştır (Reynolds, 2007). Bu veri seti küresel ölçekte ve 1981'den günümüze kadar olan bir zaman aralığını kapsamakta ve 0.25° yersel, günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir.

Yükselici su hareketi indeksi(YSHİ)

Ekman'ın 1905 yılında bulmuş olduğu; akışkanın sığ tabakalardaki rüzgâr kaynaklı su kütlesi taşınımının, rüzgârın sağı yönünde (Kuzey yarımkürede) olduğu bulgusu, yükselici su hareketi teorisi için bir mihenk taşı olmuştur (Estrade ve diğerleri, 2008). Rüzgar kaynaklı yükselici su hareketini sayısal olarak ifadesi, taşınan su kütlesinin yani Ekman taşınımının hesaplanması ile sağlanabilir. Çünkü rüzgarın sağı yönünde oluşan bir Ekman taşınımı düşünüldüğünde, eğer rüzgarın solunda kıyı gibi bir engel bulunuyorsa, su kütlesinin dengelenmesi için aşağı tabakalardan yukarı yönlü bir su akışı meydana gelecektir (Şekil 2.1). Yani Ekman taşınımının hesaplanması aracılığıyla bir yükselici su hareketi indeksi hesaplanabilir. Instituto Español de Oceanografía'nın (IEO) oşinografi birimi tarafından 1966 yılından beri hesaplanmakta olan yükselici su hareketi indeksi (YSHİ, Upwelling Index), kıyı boyunca alınmış bir kesitten, birim zaman ve birim mesafede taşınan su hacmi olarak tanımlanmıştır. Bu indeks Ekman'ın rüzgar sürüklenme kuvvetinden kaynaklanan kütle taşınımı teorisini baz almakta olup hesaplama metodolojisi Bakun (Bakun 1973) tarafından yapılmıştır (Gonzalez-Nuevo ve diğ, 2014). Bakun'un hazırladığı metodolojide rüzgar, deniz üzerindeki ve kıyı bölgesindeki basınç gradyanı ile hesaplanırken, bu çalışmada direkt ölçülmüş ve simüle edilmiş rüzgar verileri kullanılmıştır. İlk olarak (2.1) ve (2.2) numaralı denklemlerde görüldüğü gibi rüzgarın her iki bileşeni(u, v), hava yoğunluğu (ρ_a) ve boyutsuz sürüklenme katsayısı (C_d) kullanılarak rüzgar stresi bileşenleri (τ_x, τ_y) hesaplanmış, daha sonra hesaplanan bu rüzgar stresi deniz yoğunluğu (ρ_w) ve Coriolis parametresi (f) ile aşağıdaki (2.3) ve (2.4) eşitliklerinde işleme sokularak Ekman taşınım bileşenleri ($Q_x, Q_y, m^3.s^{-1}.km^{-1}$) hesaplanmaktadır.

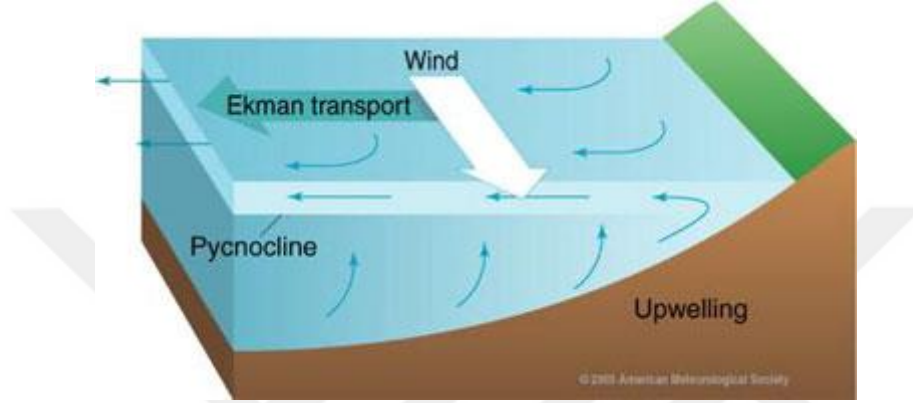
$$\tau_x = \rho_a \cdot C_d \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \cdot u \quad (2.1)$$

$$\tau_y = \rho_a \cdot C_d \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \cdot v \quad (2.2)$$

$$Q_x = \frac{\tau_y}{f \cdot \rho_w} \times 1000 \quad (2.3)$$

$$Q_y = -\frac{\tau_x}{f \cdot \rho_w} \times 1000 \quad (2.4)$$

Bu hesaplamaları yaparken, Coriolis parametresi 38° enlemi için hesaplanmıştır ve C_d değeri 1.4×10^{-3} , ρ_a değeri 1.22 kg/m^3 olarak sabit alınmıştır. Bu denklemde Q_x zonal bileşeni, Q_y meridyonel bileşeni göstermektedir. Bizim incelediğimiz vaka için Ekman taşınımının zonal Q_x bileşeni önem göstermektedir. Sonuç olarak Ege Denizi'nin doğusu için YSHİ'ni $-Q_x$ olarak belirlenmiştir. YSHİ'nin işareti pozitif olduğunda yukarı su taşınımını, negatif olduğunda aşağı su taşınımını göstermektedir.

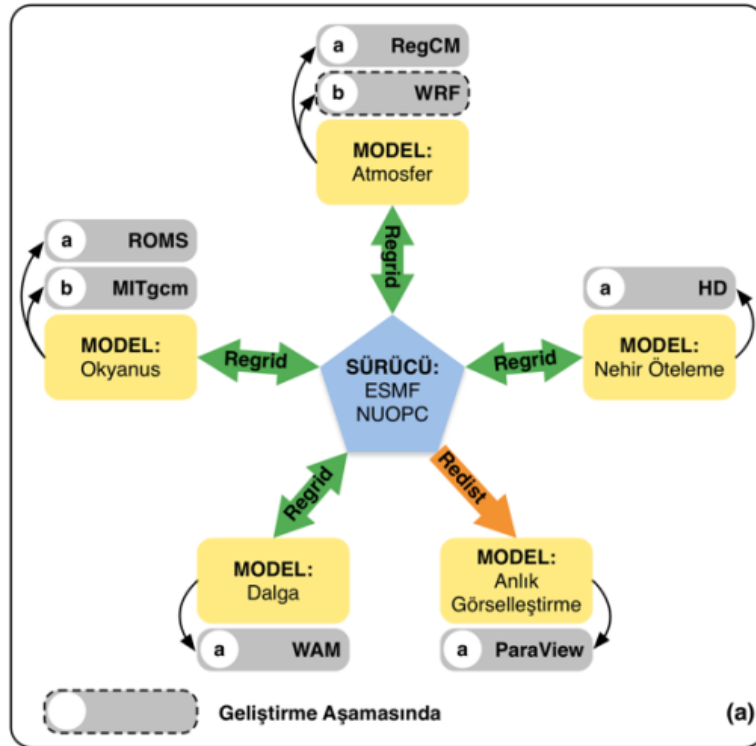


Şekil 2.1 Kuzey yarımkürede rüzgar kaynaklı kıyı yükselici su hareketi görseli; Rüzgar(Wind), Ekman taşınımı(Ekman transport) yükselici su hareketi(upwelling), yoğunluk gradyanının en fazla olduğu tabaka(pycnocline) (<http://oceanmotion.org/>)

2.2 Kullanılan Modeller

Günümüzde, atmosferdeki süreçleri çözmek için sayısal hava tahmin modelleri çok önemli bir konumda ve gelişen teknolojiler ile her geçen gün daha önem kazanıyor. Sayısal hava tahmin modellerinden biri olan bölgesel iklim modelleri ise küresel ölçekten bölgesel ölçeğe inerek çok daha detaylı simülasyonlar yapılmasına imkan sağlıyor. Bu çalışmada iki farklı atmosfer modeli kullanılmıştır. Kullanılan modellerden birisi NCAR tarafından 90'lı yılların başından itibaren geliştirilen WRF (Weather Research and Forecasting) modelinin 3.8 versiyonudur (Skamarock ve diğ. 2008). Dünyadaki hava tahmini, iklim, hava kalitesi, veri asimilasyonu gibi farklı konulardaki çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Fiziksel süreçleri yönetmekte kullanılan birçok farklı parametrizasyon şeması opsiyonu bulunmaktadır. Kullanılan diğer bir atmosfer modeli ise 1989 yılında itibaren Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) tarafından geliştirilen RegCM

modelinin 4.6 versiyonudur (Giorgi ve diğ., 2012). Bu modelde geniş bir kullanıcı sayısına sahip olup, genellikle bölgesel iklim çalışmalarında kullanılmaktadır. Her iki modelde Türkiye'deki birçok çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada, atmosfer modellerinin dışında, okyanustaki süreçleri çözmek için Rutgers Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi ve dünya çapından gelen katkıların desteği ile oluşturulan ROMS (Regional Ocean Modeling System) okyanus modeli de kullanılmıştır. Bu okyanus modeli ile RegCM atmosfer modelinin birleşik şekilde çalışması için Turunçoğlu ve Sannino (2016) tarafından Akdeniz havzası için hazırlanan RegESM (Regional Earth System Model) model sistemi kullanılmıştır. Bu model sistemi içerisinde entegre edilmiş ESMF (Earth System Modelling Framework) sürücüsü ile fiziksel modeller arasında veri alışverişi yapılarak birbirleri arasında iletişim kurulması sağlanmaktadır (Şekil 2.2). Atmosfer, okyanus, nehir ve dalga fiziksel modellerini birleşik olarak koşturabilmektedir. Bu modeller birbirleri arasında çift yönlü veya tek yönlü veri alışverişi yapmaktadırlar (Turuncoglu vd. 2019). Ayrıca buna ek olarak model çıktılarını simülasyon sırasında işleme tabi tutulabilmekte ve görselleştirebilmektedir. Anında görselleştirme yaklaşımı, hızlı gelişen fiziksel süreçleri etkili bir şekilde çözümlemeye ve modellerin çalışma anında doğruluğunu test etmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.2 RegESM model sisteminin çalışma akışı (Turuncoglu ve diğ., 2019)

2.3 Simülasyon Tasarımları

Atmosfer ve okyanus modellerinde simülasyon sonuçları, belirlenen model alanının özelliklerine, seçilen fiziksel parametrizasyonlara ve başlangıç şartlarına göre oldukça değişmektedir. Model alanının yersel çözünürlüğünün yükseltilmesi, bazı atmosfer süreçlerini özellikle mikro ölçekteki süreçlerin çözülmesinde oldukça önemlidir, fakat çözünürlüğün yükseltilmesi hesaplama maliyetini artmasına neden olacaktır. Buna ek olarak çalışılan konu için yeterli büyüklükte model alanı belirlenmesi, çalışılan atmosfer sürecinin gelişimini doğru bir simüle edebilmek için önemlidir. Ayrıca çalışılan konuya ve bölgeye göre uygun fiziksel parametrizasyonların bulunması hata oranını düşürecektir. Bundan dolayı asıl analizlere başlanmadan önce hassasiyet testleri yapılarak çalışma için en uygun fiziksel parametrizasyonlar tespit edilmelidir.

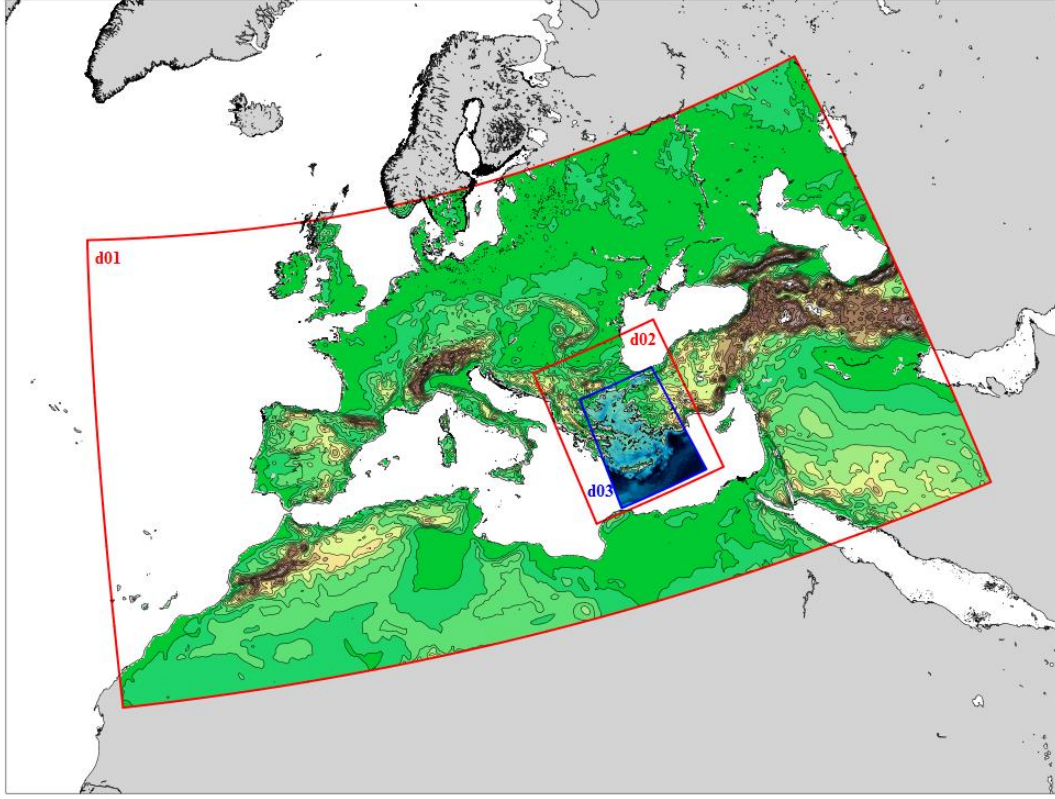
Bu çalışmada kullanılan her iki atmosfer modeli için aynı büyüklükte model alanları ve yersel çözünürlükler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan RegCM ve WRF modellerinin alanları tek yönlü yuvalama tekniği kullanılarak oluşturulmuştur ve bu model alanları Şekil 2.3'de görülmektedir. En dışta 12 km çözünürlükle oluşturulan model alanı tüm Akdeniz havzasını içerisine almaktadır. Ege Denizi üzerindeki yükselici su hareketi sisteminin daha iyi çözümlenebilmesi için Ege Denizini içine alan 3 km çözünürlüklü bir iç model alanı oluşturulmuştur (d02). İç içe yuvalama tekniği ile oluşturulan bu iç model alanı sınır ve başlangıç şartlarını dış model alanından almaktadır. Dıştaki model alanı 2004-2006 yıllarını kapsayarak 3 yıllık bir zaman aralığında simüle edilmiştir. İç model alanlarındaki simülasyonlar ise başlangıç şartlarındaki değişimi görebilmek için hem 3 yıllık hem de 1 aylık (Temmuz 2004) zaman periyodları için oluşturulmuştur. Birleşik simülasyonda kullanılan RegCM modelinin parametrizasyonu Tablo 2.1'deki gibidir. Bunun yanı sıra WRF modeli için sınır tabaka şemaları değiştirilerek duyarlılık testi uygulanmıştır.

Okyanus modelinin model alanı ise Ege Denizini kapsayacak ama atmosfer iç model alanını aşmayacak şekilde oluşturulmuştur. 3 km yersel çözünürlüğe ve 32 sigma düşey seviyesine sahiptir. Düşey seviyeler deniz yüzeyine yaklaştıkça sıklaşmaktadır ve en düşük derinlik 50 metre olarak ayarlanmıştır. Oluşturulan ROMS okyanus

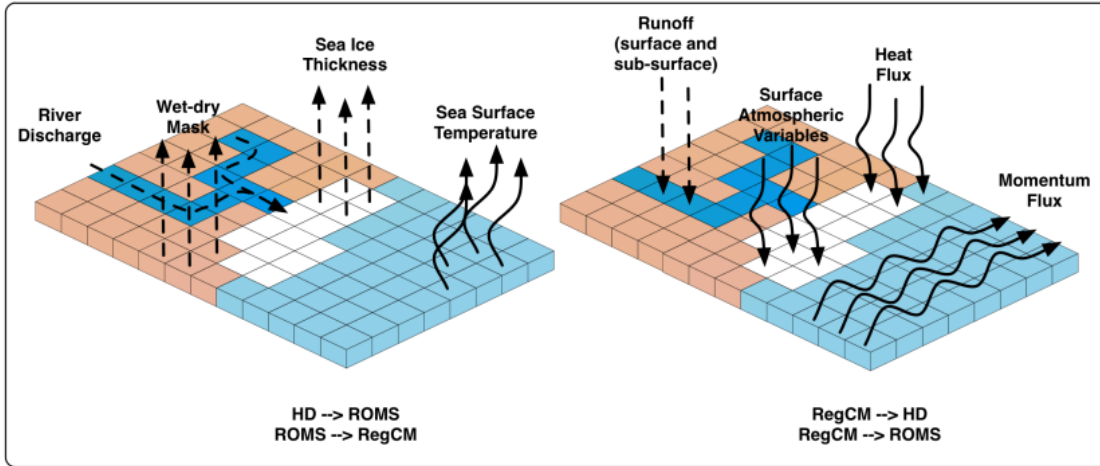
modeli, RegESM model sistemi altında sadece iç model alanındaki RegCM atmosfer modeli ile birleşik olarak koşturulmuştur. Model alanlarına ait konfigürasyonlar Tablo 2.2’de gösterilmektedir. RegESM model sistemi ile koşturulan modeller birbirleri ile deniz yüzeyi sıcaklığı, momentum akısı gibi parametreler ile birbirlerine bilgi aktarmaktadır (Şekil 2.4). Okyanus ve atmosfer modeli arasındaki etkileşim 1 saatlik aralıklarla yapılmaktadır. Anlık görselleştirme kullanılan simülasyonlarda ise her iki model de 6 dakikalık aralıklarla etkileşime girmektedir.

Tablo 2.1 RegCM modeli için kullanılan parametrisasyonlar

Paremetrizasyonlar	Ayarlar
Hücre Sayısı	ix=352, jy=424
Düşey Seviye	23
Konveksiyon Şeması	Emanuel (1991)
Radyasyon Şeması	NCAR CCM3 (Kiehl ve diğ., 1996)
Atmosferik Sınır Tabaka Şeması	Holtslag PBL (1990)
Okyanus Akı Şeması	Zeng ve diğ. (1998)
Yüzey Şeması	BATS (Dickinson ve diğ., 1993)



Şekil 2.3 Çalışmada kullanılan modeller için belirlenen model alanları



Şekil 2.4 RegESM model sisteminde atmosfer, okyanus ve nehir modellerinin birbirleri ile etkileşimleri (Turuncoglu, 2014)

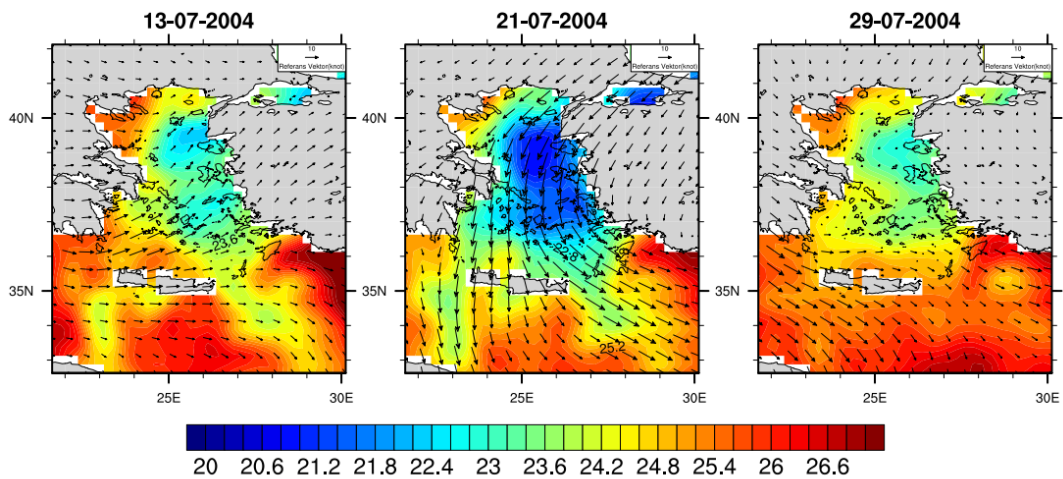
Tablo 2.2 Çalışmada kullanılan modellerin konfigürasyonu.

	RegCM		WRF		ROMS
Model Alanları	D01	D02	D01	D02	D03
Yersel Çözünürlük	12 km	3 km	12 km	3 km	3 km
Simülasyon Süresi	3 yıl	3 yıl, 1 ay	3 yıl	1 ay	1 ay
Tekil/Birleşik	Tekil	Tekil, Birleşik	Tekil	Tekil	Birleşik



3. ANALİZLER

Yaz aylarında Ege Denizi'nde sıklıkla meydana gelen rüzgar kaynaklı yükselici su hareketinin simülasyonlar ile analizi için örnek bir hadise aranmıştır. Bu hadiseyi bulmak için rüzgarın meridyonel bileşeni ile DYS arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kuvvetli kuzeyli rüzgar ile birlikte dikkate değer DYS'deki azalışının olduğu hadiselerden 18-24 Temmuz 2004 tarihi arasında gerçekleşen hadise incelenmek için seçilmiştir. Ege Denizi'nin doğusu üzerinde ortalama 16.5 knot şiddetinde 10 gün boyunca esen kuzeyli rüzgarın, deniz yüzeyi sıcaklığında yaklaşık 1.5 °C düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Ciappa'nın (2018) yaptığı çalışmada da bu tarihte rüzgar kaynaklı kuvvetli bir yükselici su hareketi olduğuna işaret edilmiştir. NASA'nın MODIS Terra uydusundan alınan 18 Temmuz 2004 tarihli yüzey yansıtması ürünü (Vermote, 2015) incelendiğinde, deniz üzerindeki yansılardan dalgalı ve durgun bölgeler tespit edilmekte ve kuvvetli Etezyen rüzgarın etkisi görülmektedir (Şekil 3.2). Rüzgarın şiddetinin azalması ve yönünün değişmesiyle birlikte DYS artmaya başlamıştır. NOAA DYS gözlem verisi ve CCMP rüzgar gözlem verisine bakılarak hadise öncesindeki, anındaki ve sonrasındaki değişimler Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi DYS kuzeyli rüzgarın artması düşmektedir.



Şekil 3.1 Soldan sağa sırayla 13, 21 ve 29 Temmuz 2004 tarihlerindeki DYS'nin rüzgar ile olan değişimi.

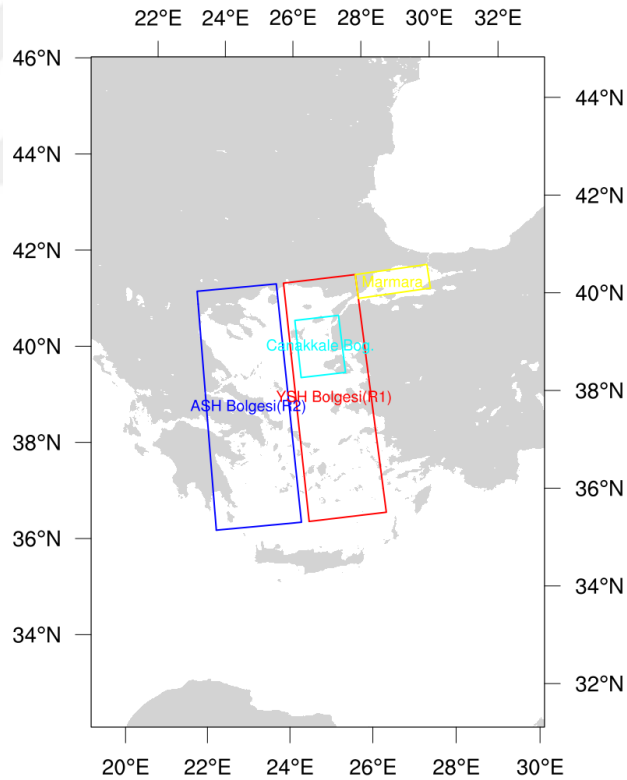


Şekil 3.2 NASA Worldview sisteminden alınan MODIS/Terra uydusunun 18.07.2004 tarihli düzeltilmiş yüzey yansıtma ürünü(Adres: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>)

3.1 Tekil Atmosfer Model Simülasyonları

Yapılan çalışmada birleşik atmosfer-okyanus modeli hazırlanmadan önce, atmosfer modelleri tekil olarak rüzgarı simüle etmek için test edilmiştir. RegCM modeli, D01 model alanında 12 km yatay çözünürlük ile 2004-2006 yılları arasında koşturulmuştur. Bu simülasyondan yuvalama tekniği ile D02 model alanında 3 km yatay çözünürlük ile hem 3 yıllık (2004-2006) hem de 1 aylık(Temmuz 2004) sürelerde simülasyonlar yapılmıştır. Ayrıca, RegCM modelinin sonuçlarını kıyaslamak için bir başka tekil atmosfer modeli olan WRF ile de simülasyonlar oluşturulmuştur. WRF simülasyonları, D01 (12km) ve D01 model alanından yuvalanmış D02 (3km) model alanlarında 1 aylık (Temmuz 2004) zaman aralığında koşturulmuştur. Ayrıca WRF modeli için 9 farklı sınır tabaka şeması ile hassasiyet testi yapılmış. Tüm bu simülasyon sonuçları CCMP ve NOAA-Blended rüzgar

gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. Analiz ve karşılaştırmalar Şekil 3.3’de belirtilen yükselici su hareketi bölgesi (R1) için alınan ortalamalarda ile yapılmıştır. Marmara ve Çanakkale Boğazındaki DYS değerlerinin değişiminin ayrı gözlenmesi için Şekil 3.2’de gösterilen alanlar belirlenmiştir. Simülasyon ve gözlem verileri, rüzgar bileşenlerine göre kıyaslanmıştır. Temmuz 2004 ayındaki R1 bölgesi ortalamalarına göre hesaplanan korelasyon değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre şaşırtıcı bir şekilde en yüksek korelasyon WRF 12 km’lik simülasyonda hesaplanmıştır. Öte yandan WRF’in varsayılan atmosferik sınır tabaka şeması en iyi sonucu sağlamamış ve yapılan hassasiyet analizinde Washington Üniversitesi tarafından hazırlanan 9 numaralı sınır tabakası şeması(Bretherton ve diğ., 2009) olmuştur. Okyanus modeli ile birleşik olarak koşturulacak olan RegCM simülasyonları WRF simülasyonlarına göre daha düşük korelasyonlara sahiptir. Bu çalışmada yapılan analizler, ileride hazırlanacak WRF-okyanus birleşik model simülasyonları için de yapılarak daha gerçeğe yakın sonuçlara ulaşılabilir.



Şekil 3.3 Ege Denizi’ndeki değişimleri daha iyi analiz edebilmek için belirlenmiş bölgeler: yükselici su hareketi (YSH) bölgesi (R1), alçalıcı su hareketi (AŞH) bölgesi (R2), Çanakkale Boğazı bölgesi ve Marmara Denizi bölgesi

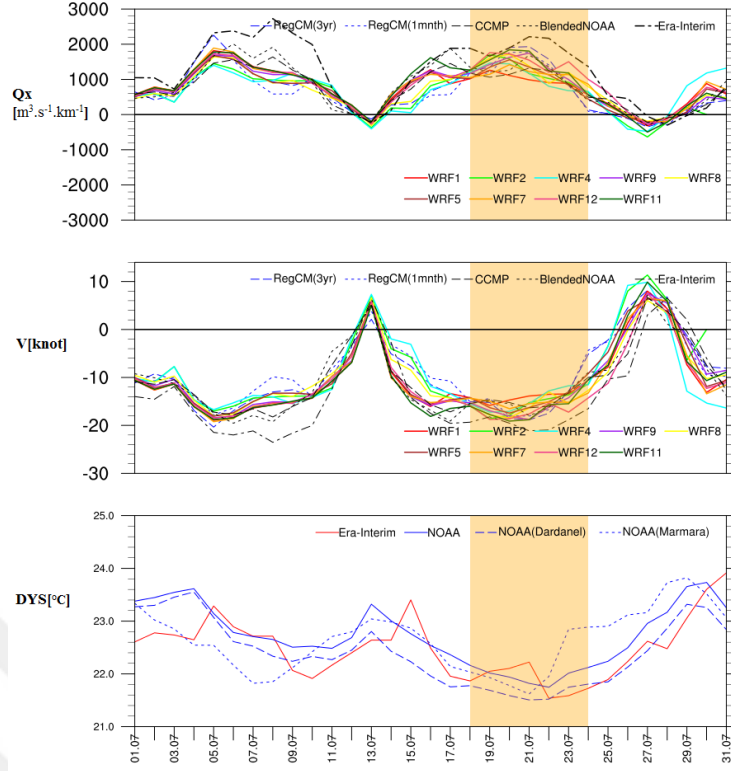
Tablo 3.1 RegCM ve WRF Simülasyonlarının Şekil 3.1’de belirtilen (R1) bölgesindeki CCMP ve NOAA(Blended) gözlem verileri ile olan korelasyonları.

Model\Gözlem	U		V		Rüzgar Hızı		Ortalama Korelasyon	
	CCMP	NOAA	CCMP	NOAA	CCMP	NOAA	CCMP	NOAA
RegCM(3 yıl)	0,918	0,910	0,899	0,889	0,771	0,800	0,863	0,866
RegCM(1 ay)	0,910	0,891	0,881	0,858	0,707	0,746	0,833	0,832
WRF(12km)	0,875	0,835	0,960	0,947	0,903	0,924	0,912	0,902
WRF(3km)	0,846	0,762	0,938	0,931	0,867	0,881	0,884	0,858

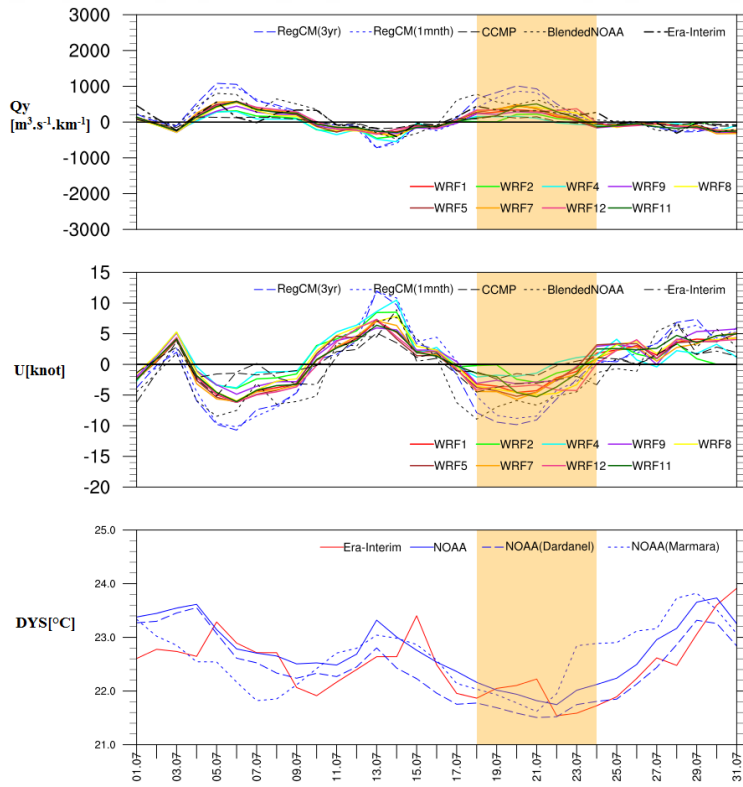
Tablo 3.2 WRF için sınır tabaka şeması için yapılan hassasiyet testinin CCMP gözlem verisi ile arasındaki korelasyonlar

	V	U	Rüzgar	Ortalama Korelasyon
WRF1	0,922	0,916	0,865	0,901
WRF2	0,888	0,848	0,748	0,828
WRF4	0,795	0,856	0,573	0,741
WRF9	0,954	0,889	0,908	0,917
WRF8	0,929	0,879	0,849	0,886
WRF5	0,925	0,902	0,887	0,905
WRF7	0,930	0,920	0,889	0,913
WRF12	0,943	0,883	0,882	0,903
WRF11	0,930	0,901	0,896	0,909

Simülasyonların rüzgar değerlerini DYS gözlem verileri ile kıyaslayacak olursak, Temmuz ayı içerisindeki rüzgar bileşenleri, YSHİ bileşenleri ve DYS parametresinin R1 bölgesindeki değişimi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Bu zaman serilerinden rüzgarın meridyonel bileşeninin (V bileşeni) ve Ekman taşınımının zonal bileşeninin (Q_x) DYS ile arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Fakat bu kuvvetli korelasyonda zamansal gecikme gözlenmektedir. DYS, meridyonel rüzgardaki değişimlere 2-3 gün sonra tepki verdiği gözlenmektedir. Rüzgar ve YSHİ değişkenleri kıyaslandığında, RegCM simülasyonlarının vaka tarihinde gözlem verilerine göre daha düşük şiddette olduğu görülmektedir. Ayrıca, WRF modelinin atmosferik sınır tabaka şemalarına hassas olduğu gözlenmiştir ve bu farklılıklar simülasyon başlangıcından uzaklaştıkça arttığı görülmektedir. DYS değerlerine bakıldığında, Çanakkale Boğazı bölgesi Ege Denizinin doğusuna (R1) göre kuzeyli rüzgardan daha fazla etkilendiği ve daha çok soğuduğu saptanmıştır.



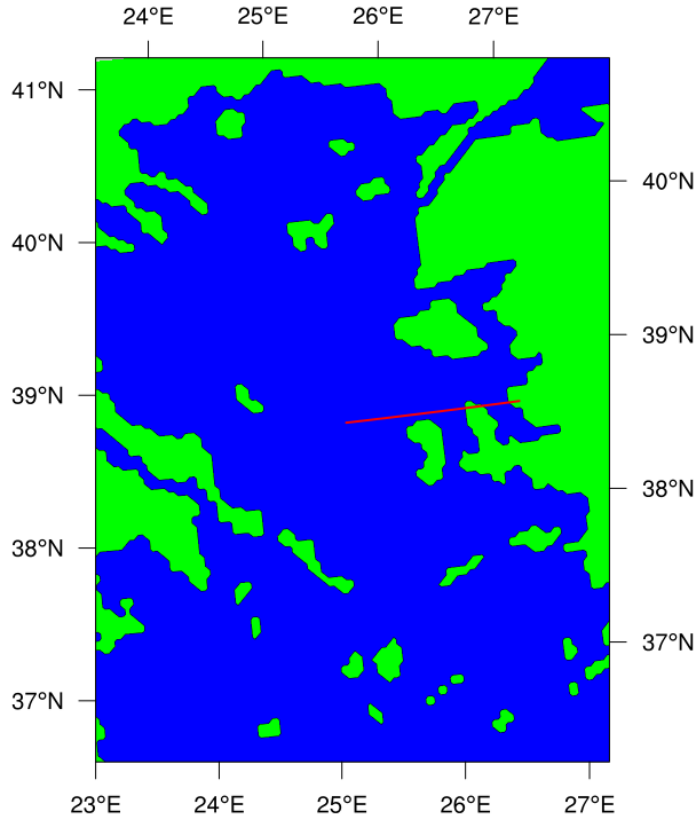
Şekil 3.4 Simülasyon ve gözlem verilerinin R1 bölgesindeki, Ekman taşınımının X bileşeni, rüzgarın V bileşeni ve DYS ortalamalarının zamansal değişimi



Şekil 3.5 Simülasyon ve gözlem verilerinin R1 bölgesindeki, Ekman taşınımının Y bileşeni, rüzgarın U bileşeni ve DYS ortalamalarının zamansal değişimi

3.2 Birleşik Atmosfer-Okyanus Simülasyonunun Analizleri

Etezyen rüzgarın Ege Denizi'ndeki etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek ve yükselici su hareketi mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için RegCM atmosfer modeli ve ROMS okyanus modeli birleşik olarak koşturularak, elde edilen simülasyon sonuçları üzerinde analizler yapılmıştır. Seçilen yükselici su hareketi hadisesine neden olan başlıca kaynak rüzgardır. Bu nedenle bu çalışmada rüzgarın etkisini daha iyi görebilmek için birleşik model sisteminde, atmosfer modelinin okyanus modeline verdiği rüzgar değerlerinde birtakım modifikasyonlar yapılmıştır. Modeller arasında aktarılan bu rüzgar değerleri %25 ve %50 oranlarında arttırılarak ve azaltılarak dört farklı senaryo daha oluşturulmuştur (Tablo 3.3). Bu çalışma ile Etezyen rüzgarın şiddetinde oluşabilecek değişimlerin Ege Denizi'ndeki yükselici su hareketine olan etkilerini incelenmiş olacaktır. Yükselici su hareketini anlamak için oluşturulan senaryolar; Ekman taşınımı/YSHİ, DYS, deniz yoğunluğu, tuzluluk, yatay ve düşey akıntı, karışım tabakası kalınlığı ve gizli ısı gibi değişkenlere bakılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, yükselici su hareketini ve etkilerini düşeyde incelemek için İzmir Karaburun kıyıları örnek bölge olarak seçilmiştir. Şekil 3.6'da gösterilen İzmir Karaburun kıyıları için doğu batı yönünde dikey bir kesit alınmıştır.



Şekil 3.6 Düşey analizler için İzmir/Karaburun kıyılarından alınan kesit

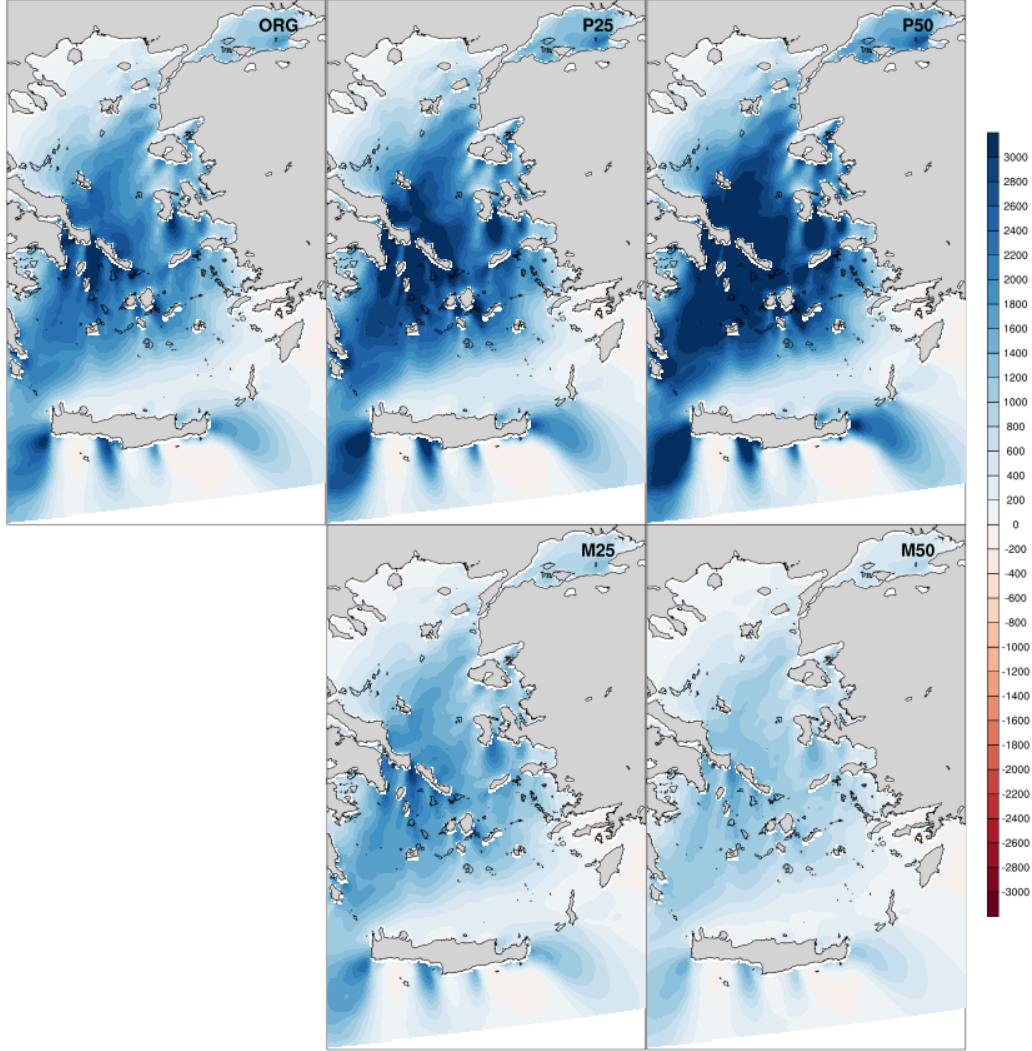
Tablo 3.3 Birleşik model sistemi ile yapılan hassasiyet analizleri.

Kısaltmalar	Rüzgar Stresi
ORG	Değiştirilmedi
M25	%25 azaltıldı
M50	%50 azaltıldı
P25	%25 arttırıldı
P50	%50 arttırıldı

3.2.1 Yükselici Su Hareketi İndeksi (YSHİ) ve Ekman Taşınımı

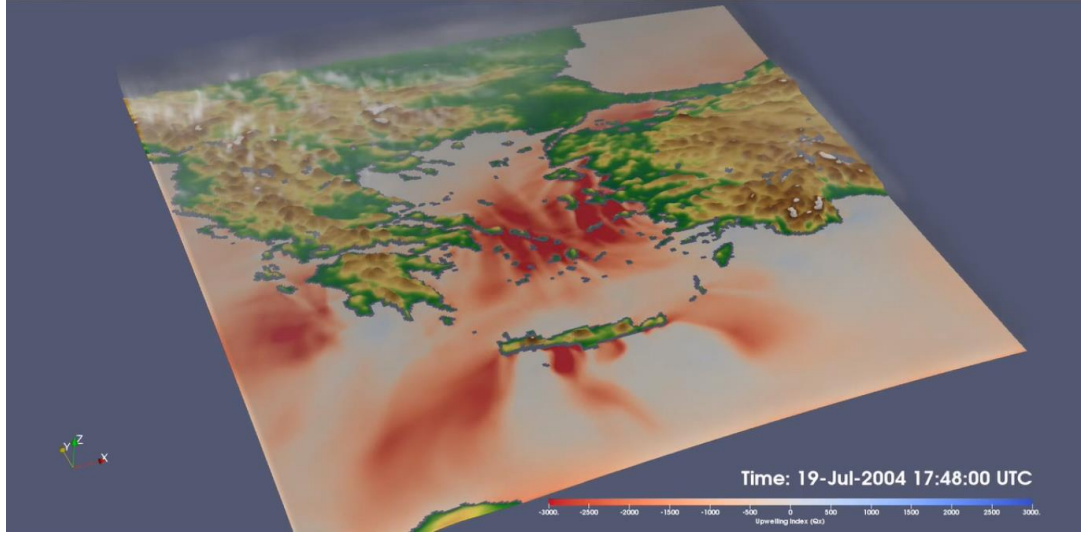
İlk olarak rüzgarın ne kadar şiddette yükselici su hareketine neden olduğunu incelenmiştir. Rüzgar su yüzeyinde yaptığı sürüklenme ve stres ile denizin üst tabakasında bir taşınımına neden olmaktadır ve bu taşınım Ekman'ın taşınım eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Yatayda taşınan su kütesinin dengelenebilmesi için alt tabakadan eşit miktarda su kütesinin yükselmesi gerekmektedir. Bu nedenle Ekman taşınımı ile hesaplanan yataydaki su akışı bize yükselen su miktarında da bilgi vermektedir. Fakat bu yaklaşım rüzgarın kıyıya paralel olduğu bölgeler için uygundur. Kuzeyli Etezyen rüzgarın batıya doğru bir Ekman taşınımı oluşturacağından (çünkü Ekman taşınımı Kuzey yarımkürede rüzgarın sağına doğrudur), Ege Denizi'nde batı yönüne bakan kıyılarda yükselici su hareketi oluşmaktadır. Simülasyonlar Ekman taşınımı kullanılarak hesaplanan ve Yöntem bölümünde de açıklanan YSHİ kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. YSHİ bize 1 km boyunca birim zamanda ve birim hacimde taşınan su miktarını göstermektedir. Şekil 3.7'de simülasyonların 19 Temmuz 2004 (bundan sonraki bütün analizler bu tarih için yapılmıştır.) için hesaplanan YSHİ'nin meridyonel değerleri gösterilmektedir. Ege Denizi'nin batısında rüzgarın daha şiddetli olmasından dolayı daha yüksek YSHİ değerleri görülmektedir. Ama daha öncede bahsedildiği gibi batıya bakan kıyılarda yükselici su hareketi ilişkisi yapılabilmektedir. İlgili kıyılara bakıldığında, Muğla ve Aydın yakınlarındaki Güllük ve Gökova körfezleri, Edremit Körfezinin güneye bakan sahilleri haricinde Anadolu'nun batı kıyılarının çoğunda ve Ege Denizi'nin doğusundaki Yunan Adalarının batı kıyılarında yüksek YSHİ değerleri gözlenmektedir. YSHİ rüzgar ile doğru orantılı olduğundan dolayı rüzgarın arttırıldığı ve azaltıldığı senaryolarda aynı yönde tepki vermektedir. Ege kıyılarındaki meridyonel YSHİ değerleri, rüzgar

değerinin değiştirilmediği referans simülasyonda yaklaşık $1200 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}\text{)}$, rüzgar değerinin %50 arttırıldığı senaryoda yaklaşık $2200 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}\text{)}$, rüzgar değerinin %50 azaltıldığı senaryoda yaklaşık $200 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}\text{)}$ olarak tahmin edilmiştir.



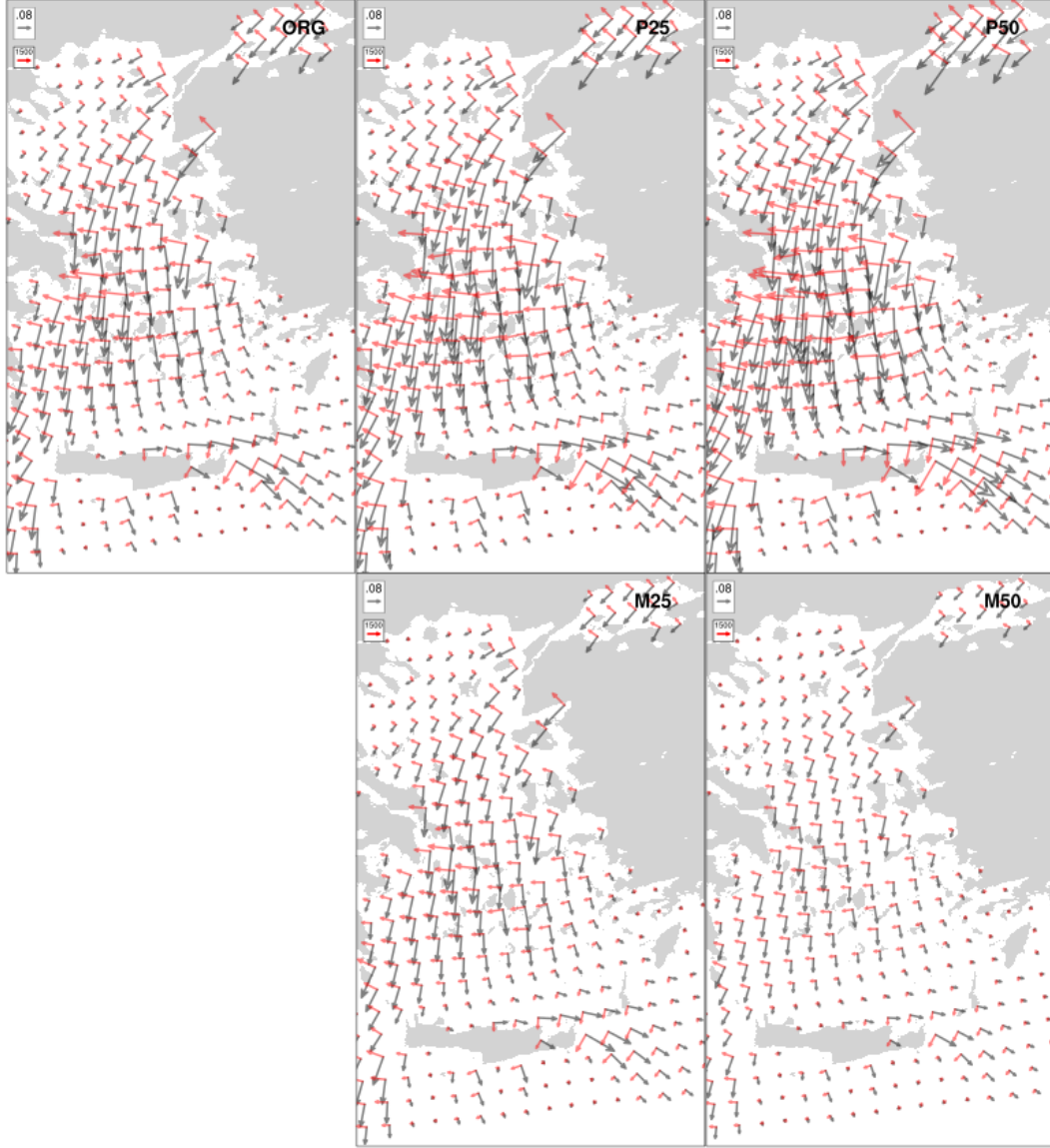
Şekil 3.7 19.07.2004 tarihi için simülasyonlara ait YSHİ değerleri.

Şekil 3.8’de YSHİ’nin anında görselleştirme yaklaşımı ile 6 dakikalık yüksek zaman çözünürlüğündeki üç boyutlu çıktısı ile daha detaylı incelenmesi sağlanmıştır. Bu çıktılardan yardımıyla Şekil 3.7’de yapılan analizler daha net bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Bu görsellerden, Ege Denizi’nin doğu kesiminde YSHİ’nin yüksek olduğu değerler tespit edilmiştir. Ek olarak, bu çıktılardan elde edilen görsellerle hazırlanan animasyona <https://vimeo.com/289941841> bağlantısından ulaşılabilir.



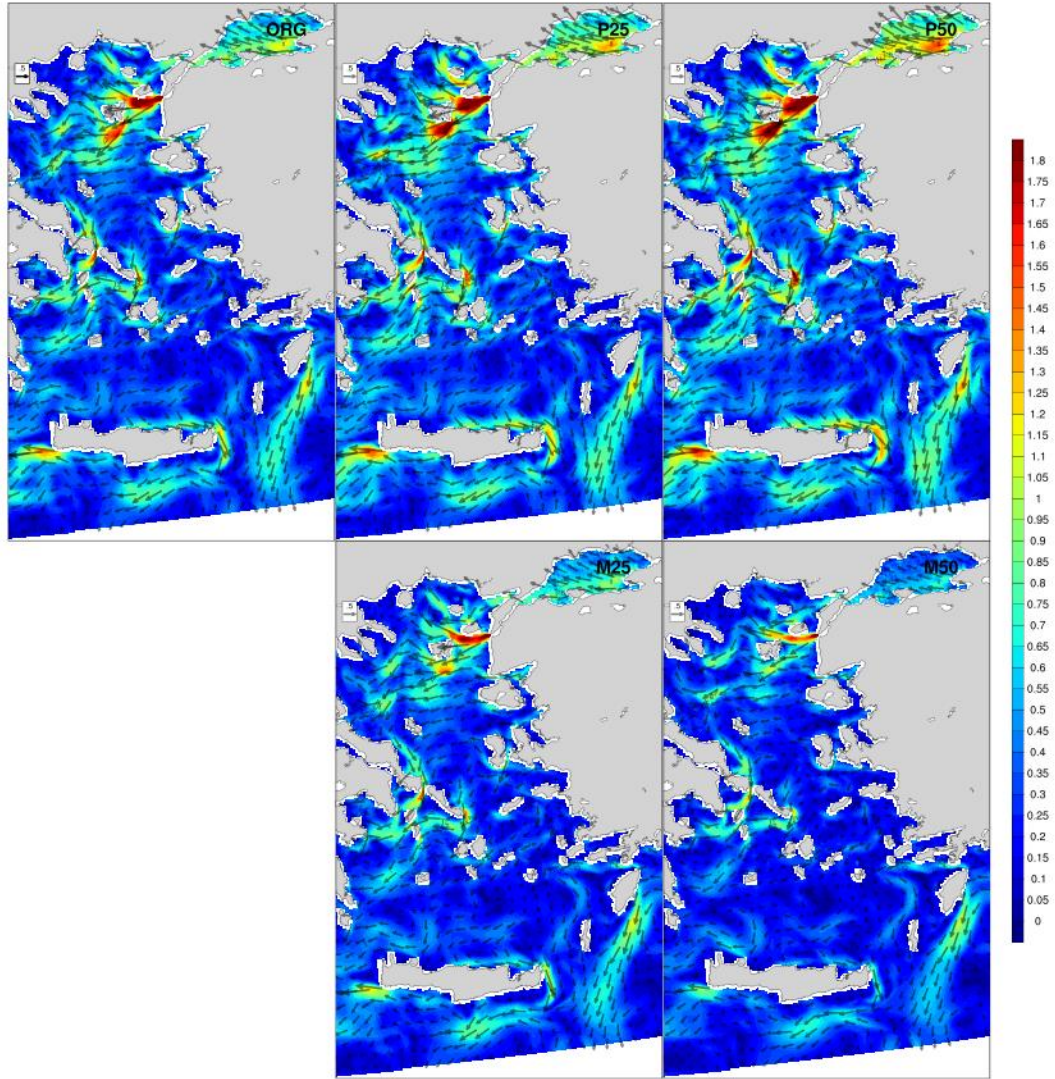
Şekil 3.8 19 Temmuz 2004 tarihi için birleşik model sisteminden anında görselleştirme yaklaşımı ile oluşturulan 3 boyutlu YSHİ değerleri.

Yalnızca YSHİ'nin meridyonel bileşenine bakmak bazı kıyılardaki yükselici su hareketini tahmin edilememesine neden olabilir. Örneğin Saroz körfezi Etezyen rüzgardan etkilenerek yükselici su hareketlerinin görüldüğü bir bölgedir. Etezyen rüzgar Ege Denizi'nin kuzeyinde kuzey doğulu estiği için Saroz körfezinde uygun koşullar sağlanmış olmaktadır. Şekil 3.9'de görüldüğü üzere Saroz körfezine paralel rüzgar ve dik bir Ekman taşınımı gözlenmektedir. Kıyıları bu şekilde özel olarak incelemek yükselici su hareketinin tahmini için daha doğru olacaktır. Örnek bölge olarak incelediğimiz İzmir Karaburun'daki kesitte, batı kıyılarından 15 km açıktaki ortalama YSHİ değerlerine bakıldığında; ORG, M50, M25, P25 ve P50 simülasyonlarının sonuçları sırasıyla 1363, 780, 1085, 1658 ve 1967 $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ 'dir. Rüzgar etkisi ile gerçekleşen yükselici su hareketi mekanizmasını anlamak için birleşik model sisteminin okyanus çıktılarına bakılmalıdır. Kuzeyli rüzgarın oluşturduğu Ekman taşınımı gereği Ege Deniz'inin yüzeyinde doğudan batıya doğru bir akıntı olması beklenmektedir. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere 19 Temmuz 2004 tarihinde Ege Denizi'nde akıntı doğudan batıya doğrudur ve rüzgar değişimine tepki verdiği gözlenmektedir. Ayrıca, Çanakkale boğazından gelen akıntıyı da önemli derece etkilediği görülmüştür. Karadeniz'in soğuk ve daha az tuzlu suyunu taşıyan bu akıntının Ege Denizi'nin kuzeyinin sıcaklığına ve tuzluluğuna etkisi olmaktadır. Bu etkiler ileriki bölümlerde incelenecektir. Rüzgar değerinin arttığı senaryolarda batı yönlü akıntılarının şiddetinin de arttığı gözlenmiştir. Çanakkale, Balıkesir İzmir ve



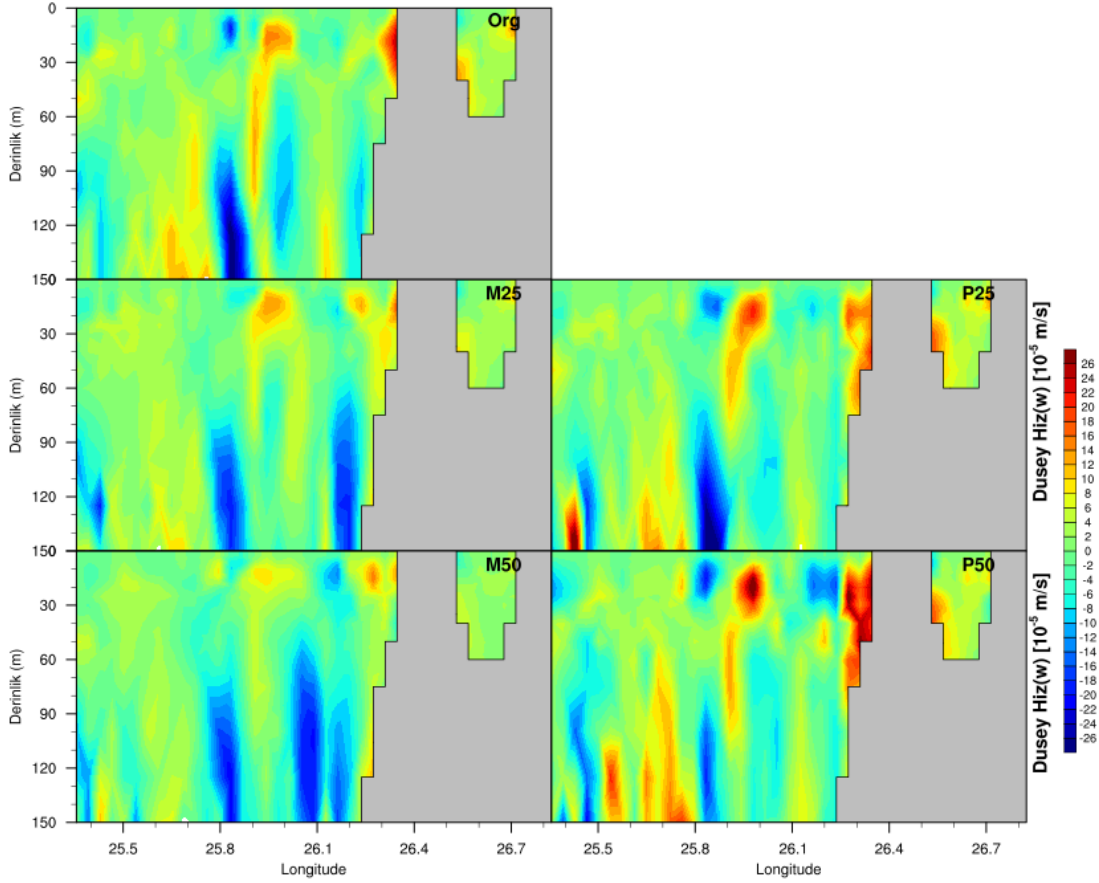
Şekil 3.9 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait rüzgar stresi ve Ekman taşınımı vektörleri.

Aydın kıyıları, Midilli adası ve Sakız adasının batı kıyıları ve Saroz körfezi gibi muhtemel yükselici su hareketi bölgelerinde akıntının kıyılara dik olduğu ve şiddetlerinin rüzgarla doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Düşey analizler için kesit alınan Karaburun kıyılarından 15 km açıklıktaki ortalama yatay akış hızı değerleri incelendiğinde; rüzgar değiştirilmemiş simülasyonda (ORG) 0.208 m/s hesaplanırken, rüzgar değerleri değiştirilmiş M50, M25, P25 ve P50 simülasyonlarında değerler sırasıyla 0.145, 0.185, 0.250 ve 0.281 m/s dir. Bu sonuçlar Etezyen rüzgarın Karaburun'un batı kıyılarında ki yatay akış üzerine kuvvetli bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.10 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait yatay akıntı hızları

Kıyılardaki yatayda taşınan su kütlelerinin dengelenebilmesi için düşeyde bir akış oluşması gerekmektedir. Yatay akış kıyıdan açık denize doğru yönde ise, bunu dengeleyici düşey akış denizin tabanından yüzeyine doğru olmalıdır. Karaburun kıyılarındaki düşey hız parametresi Şekil 3.11’de incelendiğinde, kıyıda yukarı yönlü bir düşey akış olduğu gözlenmektedir. Karaburun’un batı kıyılarından alınan kesit boyunca 6 km açıklıktaki ve 100 metre derinlikteki düşey akış hızı ortalamaları ORG, M50, M25, P25 ve P50 simülasyonları için sırası ile 14.58, 8.64, 8.49, 15.97 ve 21.57 (10^{-5} m/s) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde rüzgar hızındaki artışın düşeydeki su akış hızına önemli derece etkisi olduğu görülmektedir.

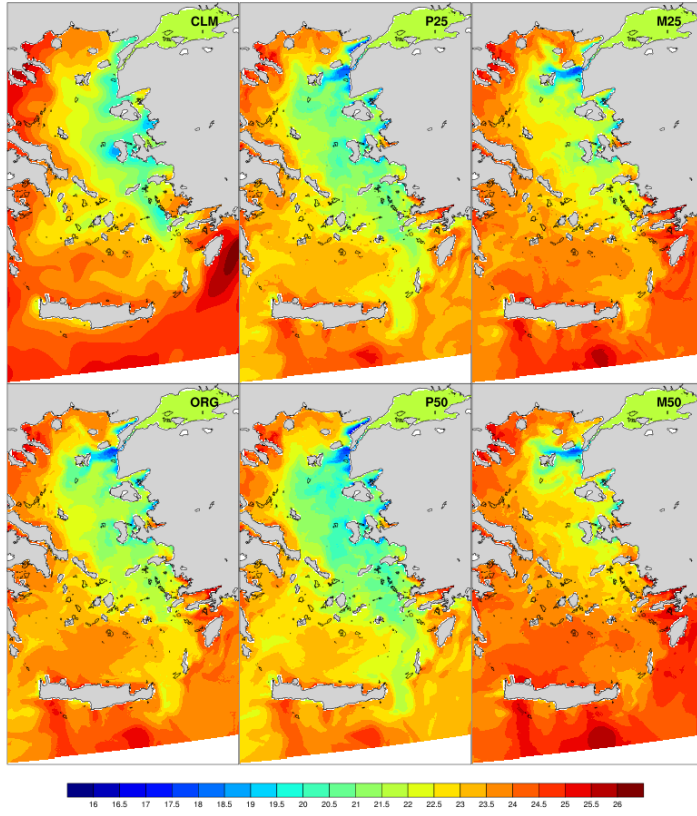


Şekil 3.11 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait dikey kesitteki düşey akış hızları

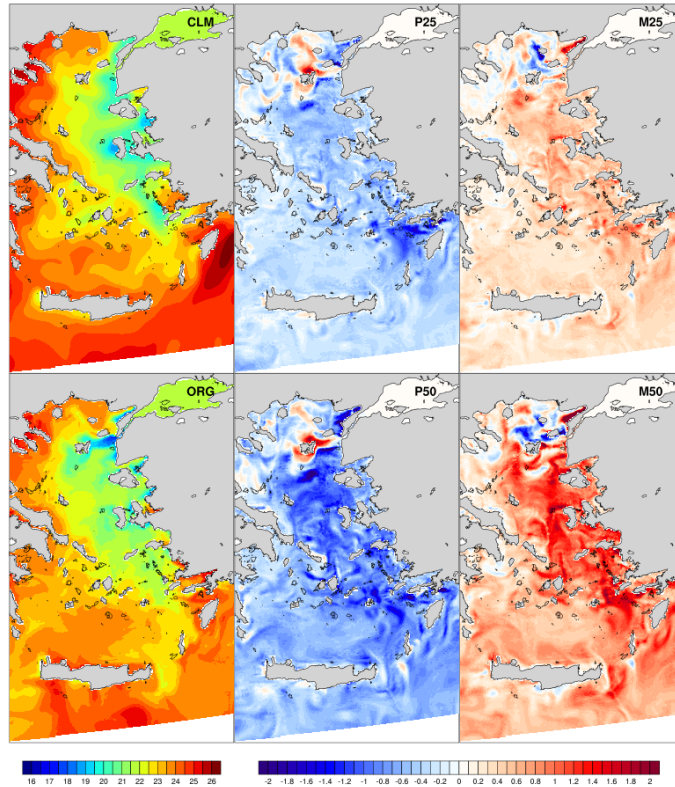
3.2.2 Sıcaklık Analizi

Yükselici su hareketi sonucunda değişime uğrayan parametrelerin en önemlilerinden biri deniz yüzeyi sıcaklığıdır. Yükselici su hareketi esnasında alt katmanlardaki soğuk su yüzeye taşınarak DYS'ni düşürmektedir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi R1 bölgesindeki ortalama DYS değeri, Ege denizinin doğusunda yükselici su hareketine neden olan kuzeyli rüzgarın şiddetlenmesi ile birlikte düşmeye başlamıştır. Bu yükselici su hareketi süreci R1 bölgesindeki ortalama DYS'da yaklaşık 1.5 °C düşüşe neden olmuştur. 19 Temmuz 2004 tarihindeki DYS alansal dağılımına bakıldığında, Ege denizinin doğusundaki DYS değerlerinin oldukça düştüğü görülmektedir(Şekil 3.12). Referans simülasyon ve klimatolojik veri kıyaslandığında genel olarak yakın sonuçlar elde edilse de bazı farklılıklar bulunmaktadır. Referans simülasyon klimatolojik veriye göre Ege Denizi'nin doğusunda daha yüksek, Ege Denizi'nin batısı ve Akdeniz'de daha düşük değerler göstermektedir. Buna ek olarak model

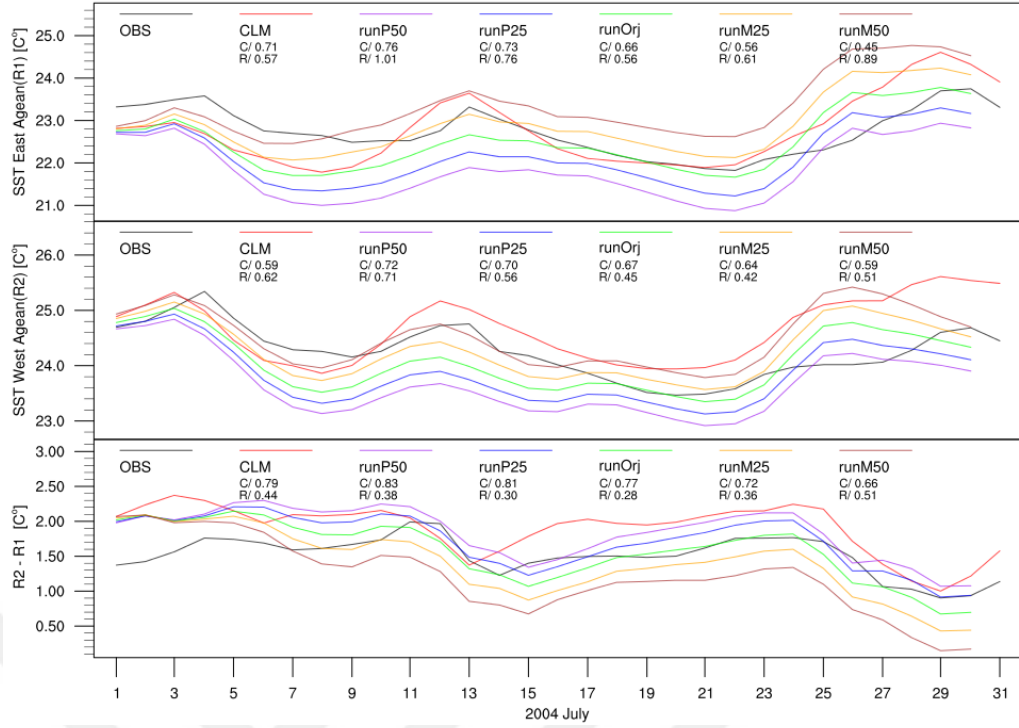
sisteminde tanımlanan Çanakkale Boğazı'ndan giren soğuk Karadeniz suyu klimatolojik veride belirgin olarak görülmemektedir. Ayrıca iki veri birbirlerinden farklı olarak, simülasyon sonuçları Saroz Körfezinde, klimatolojik veri Sakız Adası'nın batısında düşük DYS değerleri göstermektedir. Referans simülasyon sonuçlarındaki DYS değerlerine bakılarak Saroz Körfezi, Ayvalık kıyıları, Çandarlı Körfezi ve Karaburun'un batı kıyıları yükselici su hareketi bölgeleri olarak düşünülebilir. Referans simülasyon ve rüzgar değerleri değiştirilen simülasyonlara bakıldığında, DYS'nin rüzgar şiddeti ile kuvvetli ters bir ilişkide olduğu görülmektedir. Referans simülasyon ile rüzgarın değerleri değiştirilen simülasyonlar arasındaki DYS farklarına bakıldığında farkların Ege denizinin doğusunda özellikle kıyılarda fazla olduğu görülmektedir, yani rüzgara olan hassasiyet bu bölgelerde fazladır (Şekil 3.13). Yükselici su hareketi bölgesi (R1) ve alçalıcı su hareketi bölgesindeki (R2) ortalama DYS değerleri ve aralarındaki farklar Şekil 3.14'de gösterilmektedir. 19 Temmuz 2004 için R1 bölgesindeki hesaplanan DYS değerleri referans simülasyonda 22 °C, rüzgarın 1.5 kat artırıldığı P50 simülasyonunda 21.2 °C, rüzgarın yarıya düşürüldüğü M50 simülasyonunda 22.8 °C olduğu gözlenmiştir. Ege denizinde sıcaklık gradyanı ay boyunca doğudan batıya doğru olduğu gözlenmekte fakat kuzeyli etezyen rüzgar ile bu fark değişmektedir. 19 Temmuz 2004 için farklara bakıldığında referans simülasyonda 1.5 °C, artırıldığı P50 simülasyonunda 1.9 °C, M50 simülasyonunda 1.2 °C olduğu gözlenmiştir. Karaburun için alınan dikey kesitte sıcaklığın düşeydeki profili Şekil 3.15'de incelenmektedir. Kıyıda gerçekleşen yukarı yönlü su akışından dolayı eş sıcaklık eğrilerinde yukarı doğru bir eğim görülmektedir. Bu eğim rüzgar şiddeti arttıkça daha da kuvvetli olduğu analiz edilmiştir. Rüzgar şiddeti arttıkça termoklin katmanı yüzeye yaklaştığı ve ulaştığı için düşey sıcaklık gradyanı azaldığı tespit edilmiştir. Alt tabakadan yükselen soğun su kütlelerinin DYS'na etkisini görmek için kesit boyunca Karaburun'un batı kıyılarından 15 km açığındaki DYS ortalamaları hesaplandığında, ORG (Referans Simülasyon), M50, M25, P25 ve P50 simülasyonlarının sonuçları sırasıyla 20.83, 22.03, 21.55, 20.32, 19.89 °C'dir. Şekil 3.16'de de görüldüğü gibi rüzgar şiddetindeki artış düşey deniz sıcaklığı profilinde de düşüşe neden olmaktadır. Genellikle yüzeye yakın bölgelerde farklılıklar daha fazla oluşmaktadır. Rüzgardaki %25 lik değişimlerde yaklaşık 0.6 °C değişim gözlenirken, %50'lik değişimlerde bu fark 1.1 °C olarak gözlenmektedir. Yüzeydeki farkın en fazla olduğu bölge Karaburun kıyılarıdır.



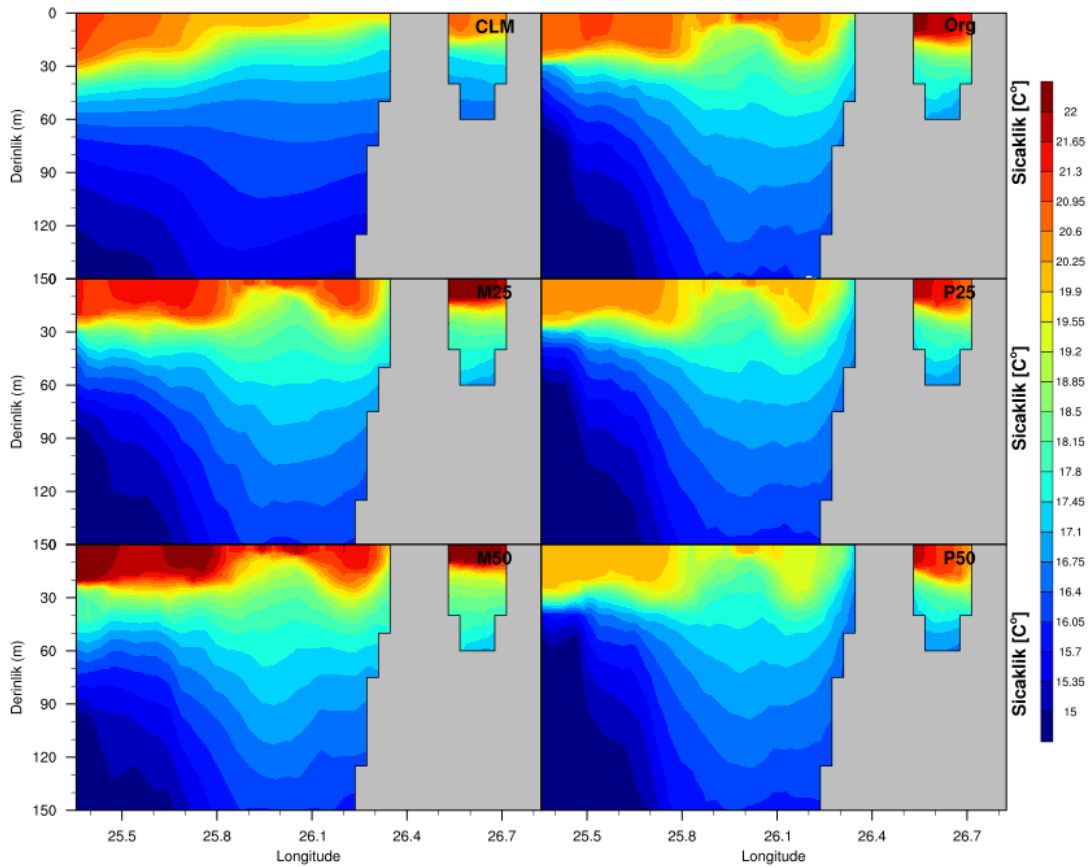
Şekil 3.12 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait DYS değerleri



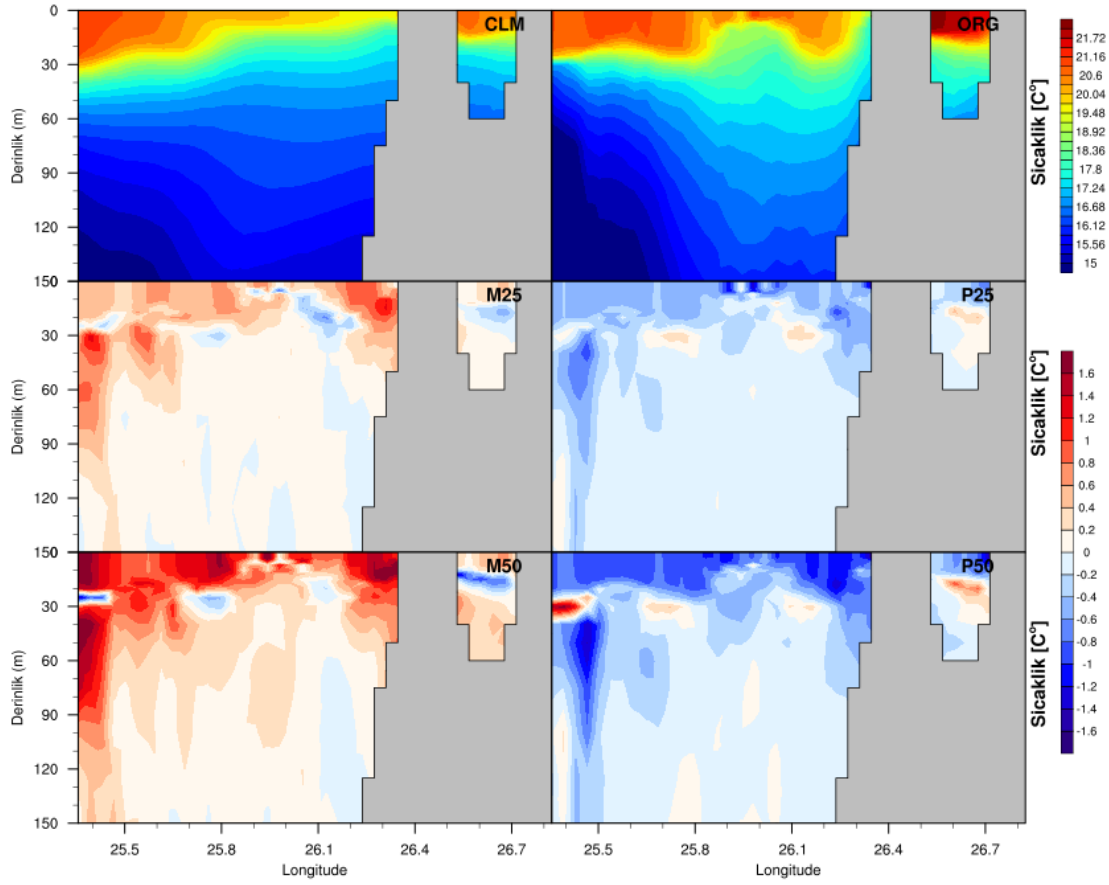
Şekil 3.13 19 Temmuz 2004 tarihi için Klimatolojik (CLM) DYS, referans simülasyon(ORG) DYS değerleri ve rüzgarı değeri değiştirilmiş simülasyonların(M50, M25, P25, P50) referans simülasyondan farkları.



Şekil 3.14 Temmuz 2004 ayı için NOAA (OBS), klimatolojik veri (CLM) ve simülasyon sonuçlarındaki R1 ve R2 bölgeleri ortalama DYS değerleri ve farkları



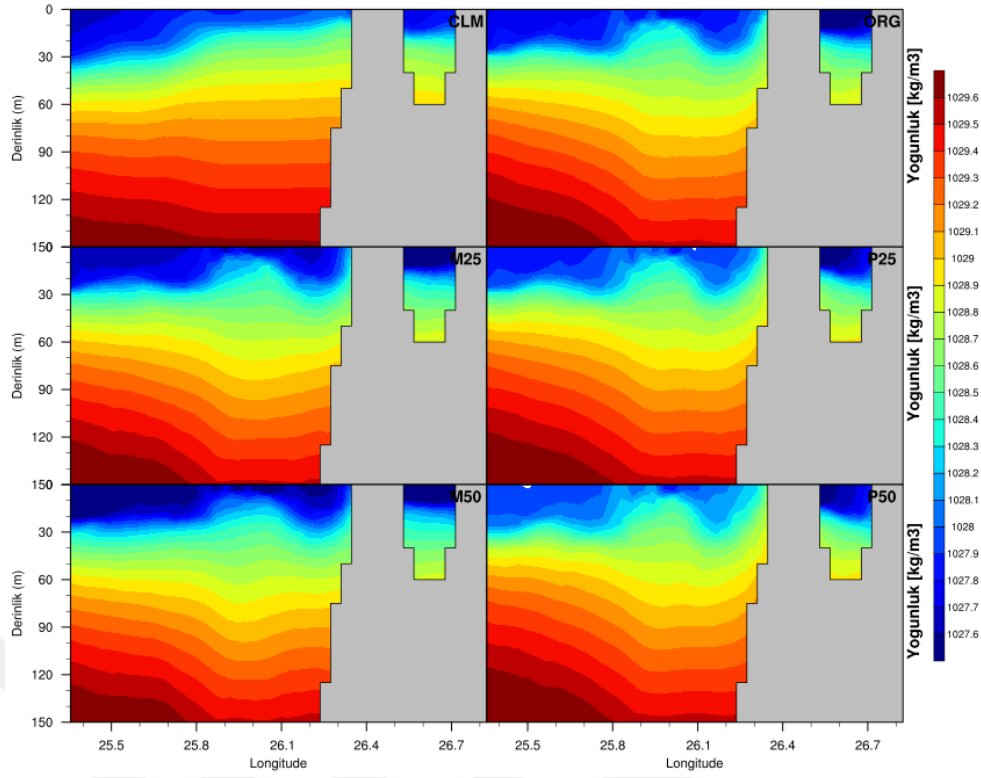
Şekil 3.15 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ve klimatolojik veriye ait belirlenen kesitteki düşey sıcaklık profili



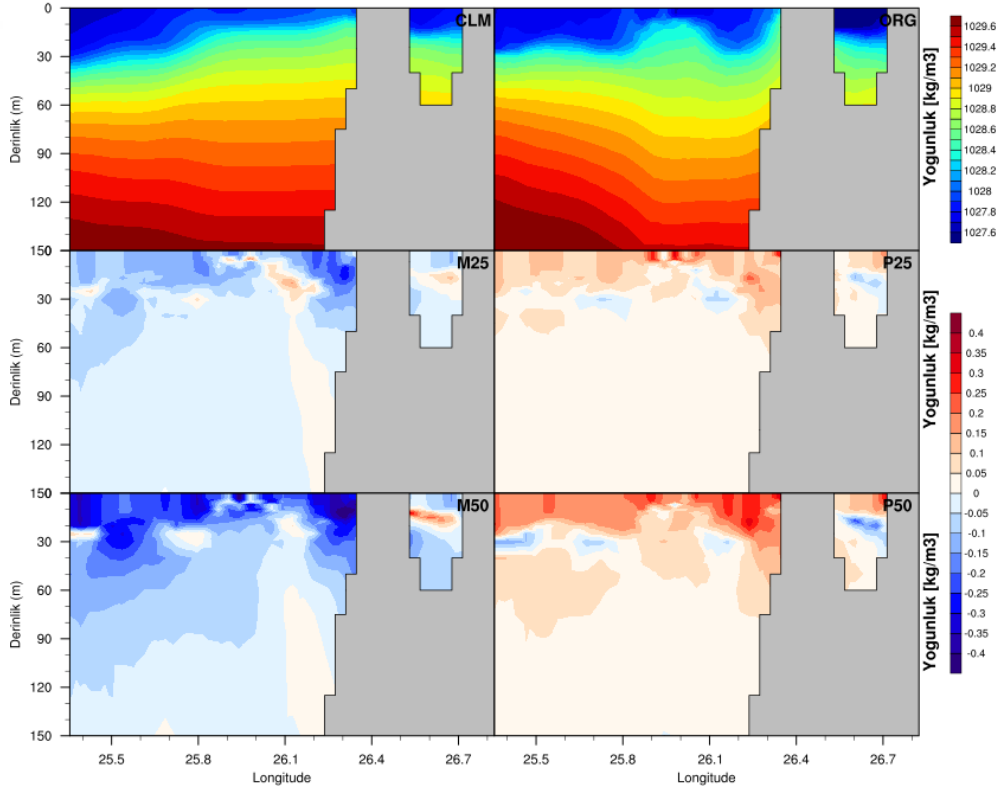
Şekil 3.16 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ve klimatolojik veriye ait belirlenen kesit için düşey sıcaklık profili ve referans simülasyonun rüzgarı değiştirilmiş simülasyonlardan farkı

3.2.3 Yoğunluk Analizi

Yükselici su hareketi mekanizması düşünüldüğünde, alt tabakadaki soğuk ve yoğun suyun yukarı çıkmasından dolayı ilgili bölgedeki deniz yüzey yoğunluğunda bir artış beklenir. Belirlene kesit alanındaki düşey yoğunluk profiline bakıldığında, eş yoğunluk eğrilerinin kıyıya yaklaştıkça yukarı doğru eğim oluşturduğu analiz edilmiştir (Şekil 3.17). Rüzgarın arttığı senaryolarda bu eğim daha artmaktayken, rüzgarın azaldığı senaryolarda daha stabil bir pozisyona gelmektedir. Rüzgarın şiddetindeki değişimle birlikte düşeydeki yoğunluk değişimi Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Rüzgar değerindeki %25’lik değişim yüzeydeki yoğunlukta yaklaşık 0.15 kg/m³, %50’lik bir değişim ise yaklaşık 0.25 kg/m³’lük bir değişime neden olmaktadır.



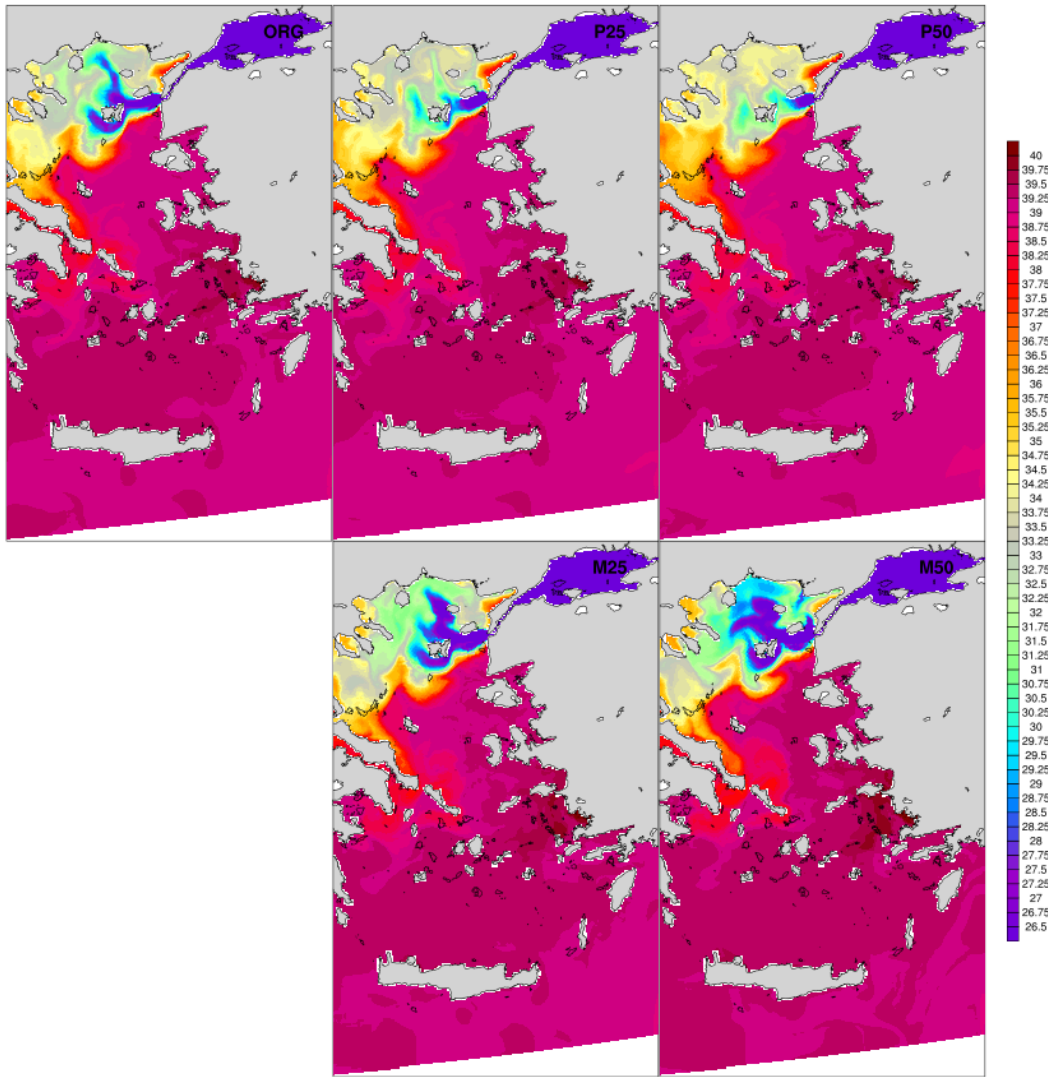
Şekil 3.17 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ve klimatolojik veriye ait belirmen kesit için düşey yoğunluk profili



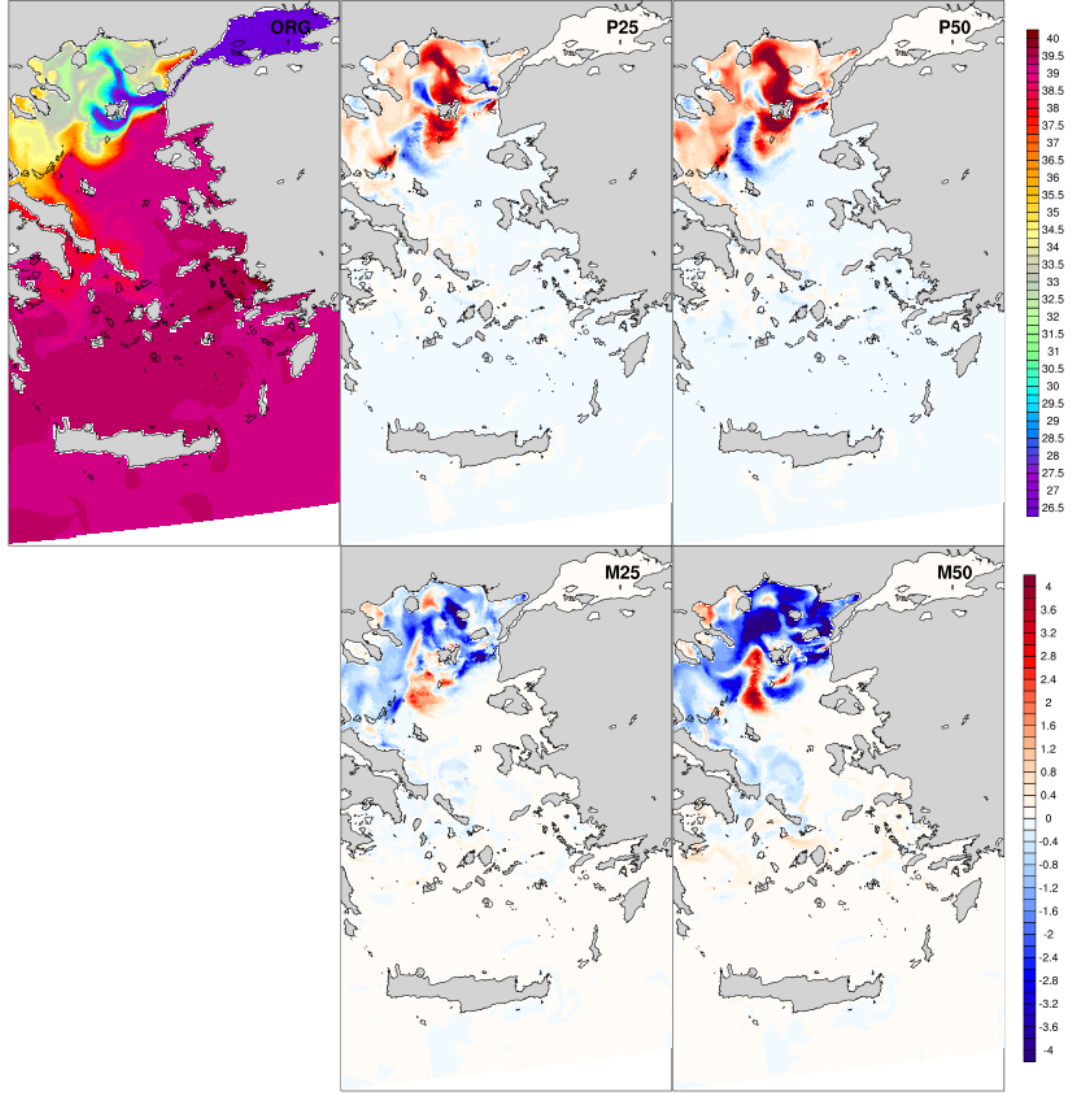
Şekil 3.18 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik ve referans simülasyona ait yoğunluk değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı

3.2.4 Tuzluluk Analizi

Yükselici su hareketinden etkilenen diğerk bir parametre de tuzluluktur. Tuzluluk genellikle yükselici su hareketi ile azalma eğilimindedir. 19 Temmuz 2004 için tuzluluğun alansal dağılımına bakıldığında Ege Denizi'nin kuzeyi ve güneyi arasında büyük bir fark görülmektedir. Karadeniz'den gelen düşük tuz derişimli su kütesinin bu farklılıkta rolü büyüktür. Etezyen rüzgarın Ege denizin kuzeyindeki tuzluluğa etkisi orta ve güneyine göre çok daha büyüktür (Şekil 3.19). Rüzgarın şiddetinin az olduğu senaryolarda Karadeniz'den gelen akıntı Ege Denizi'nin tuzluluğunu keskin bir şekilde düşürürken, rüzgar şiddeti arttığında bu tuzluluk düşüşü ortandan kalkar (3.20). Güneydeki değışimler kuzeyine göre çok daha az olmakta fakat batı kıyılarında tuzluluğun rüzgar ile ters orantılı olarak tepki verdiği tespit edilmektedir.



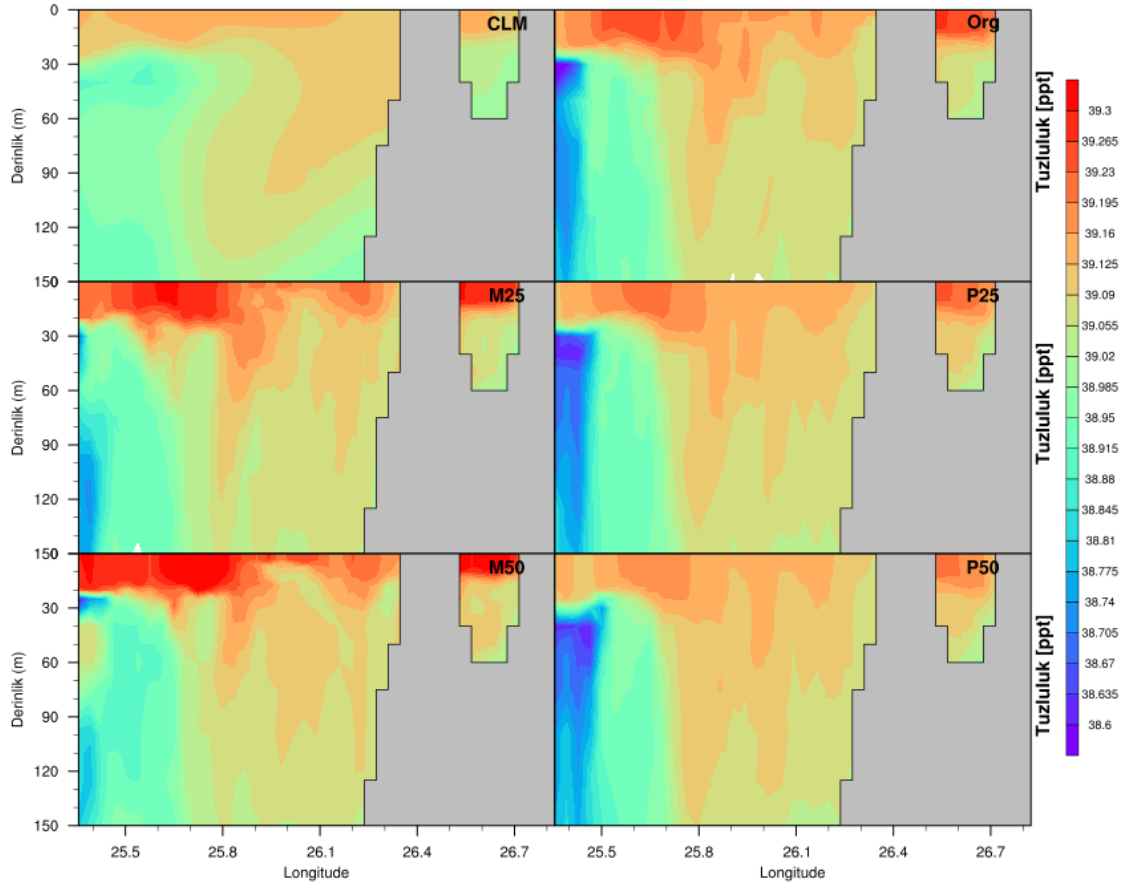
Şekil 3.19 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait tuzluluk (ppt) değerleri



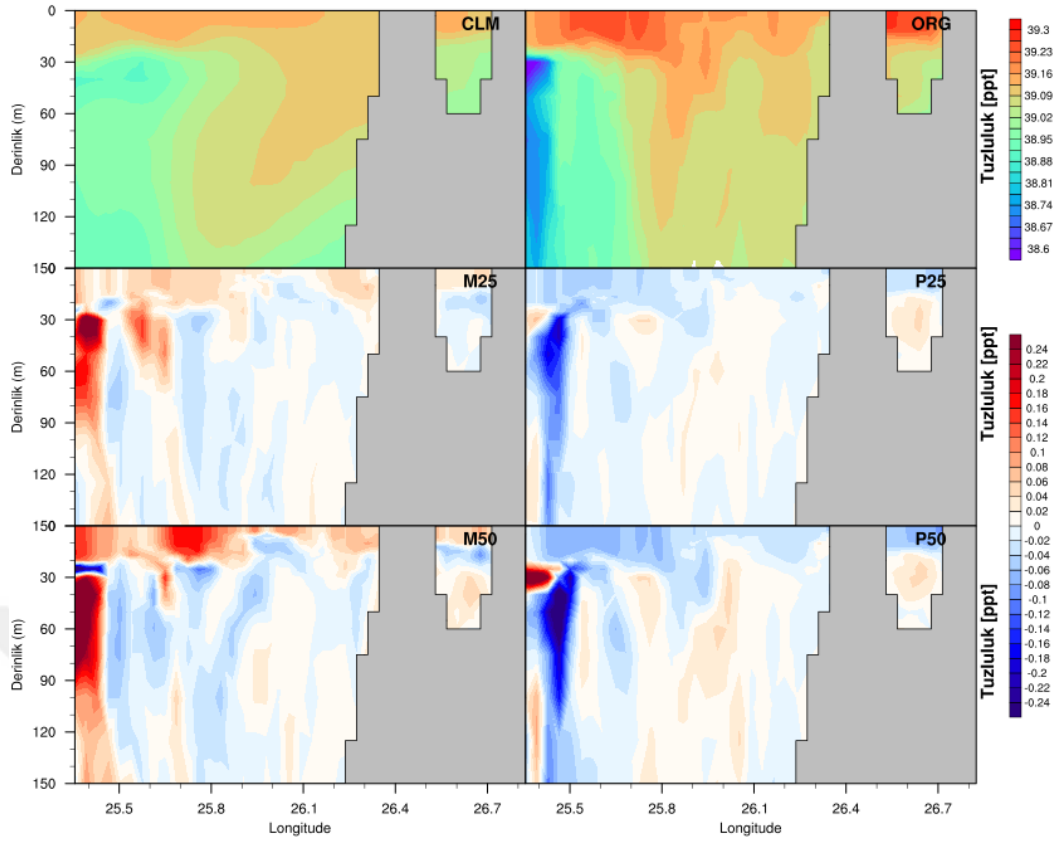
Şekil 3.20 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ait tuzluluk (ppt) değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı

Belirlenen kesitte düşey tuzluluk profili incelendiğinde; referans simülasyon sonuçlarının klimatolojik veriden oldukça farklılık gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 3.21). Referans simülasyonda yüzeydeki tuzluluğun klimatolojik veriye göre daha fazla, 25° boylamında alt tabakadaki tuzluluğun ise oldukça düşük olduğu analiz edilmiştir. Tuzluluk miktarlarında yükselici su hareketi ile bağlantılı diğer parametreler gibi net bir yönelim görünmese de, yüzeyde beklenen ters orantı görülmektedir. Daha düşük rüzgar hızlarında tuzluluk artarken, rüzgar hızı arttıkça tuzluluk miktarı azalmaktadır (Şekil 3.22). Fakat deniz yüzeyindeki değişim kıyından

uzaklaştıkça daha artmaktadır. Bu tuzluluk değişiminin bir nedeni de Etezyen rüzgar şiddetlenmesi ile Ege Deniz'e girişi artan tuzca düşük derişimdeki Karadeniz suyu olabilir. Karaburun sahillerindeki tuzluluğun 15 km açıklıktaki ortalamalarına bakıldığında referans simülasyonun 39.18 ppt, rüzgarın değiştirildiği M50, M25, P25 ve P50 senaryolarında tuzluluk ortalamaları sırasıyla 39.27, 39.22, 39.17 ve 39.15 ppt'dir.



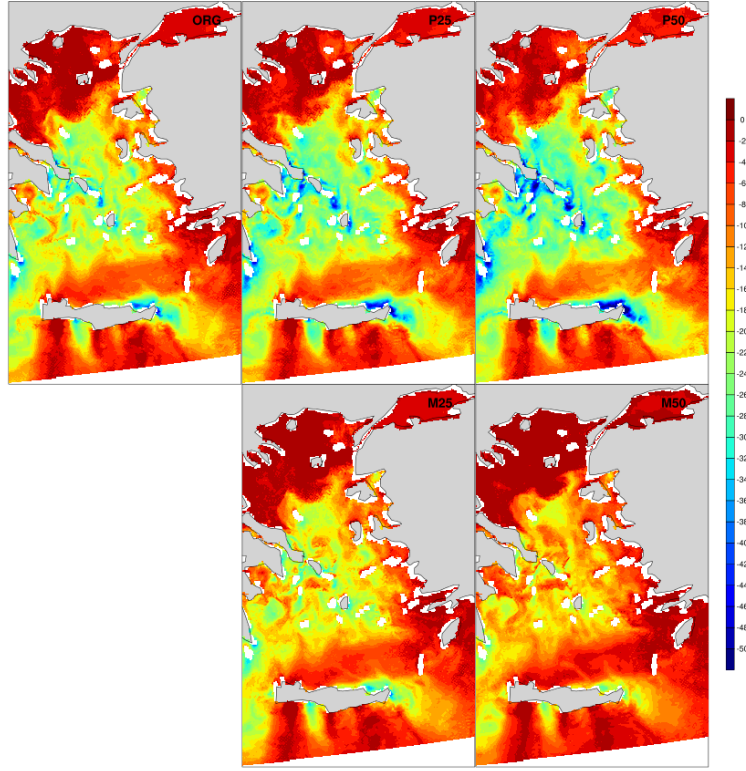
Şekil 3.21 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik veriye ve simülasyonlara ait belirlenen kesit için düşey tuzluluk (ppt) profili



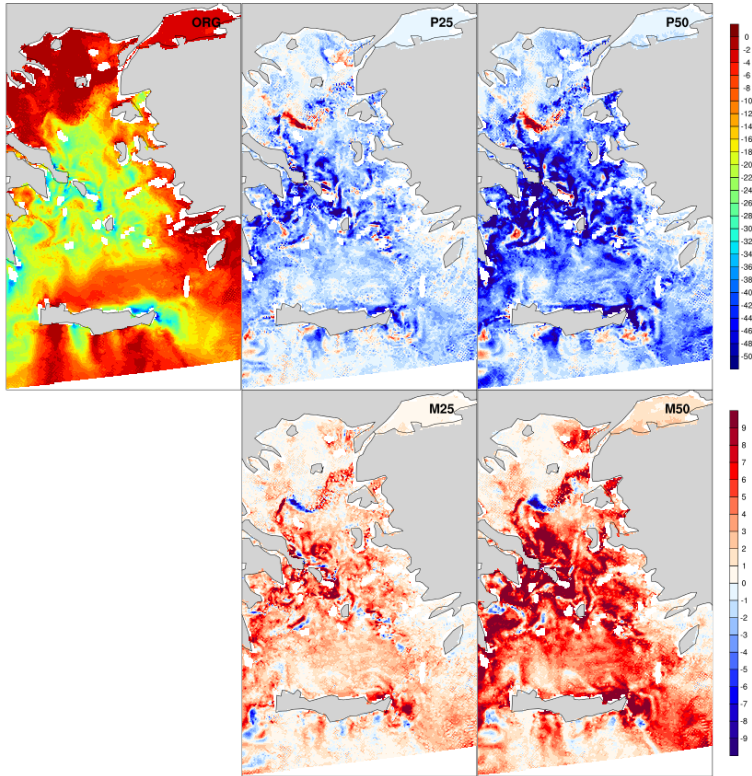
Şekil 3.22 19 Temmuz 2004 tarihi için klimatolojik ve referans simülasyona ait tuzluluk(ppt) değerleri ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan farkı

3.2.5 Karışım Tabakası Analizi

Rüzgarın deniz yüzeyinde neden olduğu sürüklenme, denizin üst katmanlarında bulunan karışım tabakasının kalınlığında değişime neden olmaktadır. Karışım tabakasının kalınlığının artması tabakalaşmayı azaltıcı etki yaptığından, yükselici su hareketi mekanizmasının çalışmasını kolaylaştırmakta yani şiddetini belirleme önemli rol oynamaktadır. Şekil 3.23’de oluşturulan simülasyonların 19 Temmuz 2004 tarihi için oluşturulan sonuçları karşılaştırılmıştır. Karışım tabakası rüzgar şiddetinden oldukça etkilendiği için Ege Denizi’nde karışım tabakası derinliği artmakta olup özellikle batı bölgesinde daha derinleşmektedir. Karışım tabakası derinliğinin farklı rüzgar şiddetleri ile olan değişimleri incelendiğinde, R1 bölgesinde yükselici su hareketi mekanizmasını destekleyecek yönde olduğu gözlenmiştir. Referans simülasyon ile rüzgarın değiştirildiği senaryolar kıyaslandığında, rüzgar ile karışım tabakası derinliği doğru orantılı olarak artmakta ve rüzgarın %50 artırılıp/azaltıldığı senaryolarda karışım tabakası yaklaşık 6 metre kadar değişebilmektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.23 19 Temmuz 2004 tarihi için simülasyonlara ait karışım tabakası kalınlığı(m) değerleri



Şekil 3.24 19 Temmuz 2004 tarihi için referans simülasyona ait karışım tabakası kalınlıkları ve rüzgarı değiştirilmiş simülasyonların referans simülasyondan fark

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atmosfer ve okyanuslar arasındaki etkileşim, küresel ve bölgesel iklimleri belirlemede oldukça önemli bir etkidir. Hidrolojik, karbon ve azot çevrimi gibi birçok önemli süreçte direkt rol oynamaktadır. Bu etkileşim birçok farklı parametre aracılığı ile gerçekleşmekte olup, rüzgarın deniz yüzeyinde oluşturduğu stres bunların başlıcalarındandır. Rüzgar deniz yüzeyinde su kütlelerini sürüklemeye zorlar. Eğer rüzgar kıyı bölgelerine paralel şekilde eserse, genellikle kıyı bölgelerde yükselici su hareketine neden olmaktadır. Yükselici su hareketi bölgedeki deniz ve atmosfer sisteminde birçok değişikliğe neden olmaktadır. Dünyada bu mekanizmanın yoğun olarak olduğu birçok bölge vardır. Bu bölgelerden bir tanesi de Ege Denizidir. Yaz ayları boyunca hakim olan kuzeyli lokal Etezyen(veya Meltem) rüzgar, Ege denizinin doğusundaki kıyılarda yükselici su hareketine yol açmaktadır. 18-24 Temmuz 2004 tarihleri arasında şiddetli Etezyen rüzgar nedeniyle, Anadolu'nun Ege kıyıları ve Ege denizinin doğusundaki adaların batı kıyılarında kuvvetli yükselici su hareketleri gözlenmiştir. Bu bölgedeki yükselici su hareketi mekanizmasını anlamak ve etkilerini görmek için seçilen tarih simüle edilmiş ve çıktıları analiz edilmiştir. İlk olarak RegCM ve WRF atmosfer modelleri ile 12 km ve 3 km yatay çözünürlüklü tekil simülasyonlar koşturulup, Etezyen rüzgar için analizler yapılmıştır. Simülasyon sonuçları CCMP, NOAA-BLENDED ve ERA-Interim rüzgar gözlem verileri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda her iki modelde de etezyen rüzgarı iyi çözümlendiği görülmüş fakat WRF modelinin korelasyon değerleri daha yüksek çıkmıştır. Buna ek olarak simülasyonlardaki ve gözlem verilerindeki rüzgar değerleri, ERA-Interim ve OI-SST gözlem deniz yüzeyi sıcaklığı (DYS) verileri ile karşılaştırılmıştır. Rüzgarın meridyonel bileşeni ile DYS arasında oldukça yüksek bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Daha sonra RegCM bölgesel atmosfer modeli ve ROMS okyanus modeli, RegESM model sistemi aracılığıyla yükselici su hareketini mekanizmasını ve sonuçlarını çözümlenebilmek için birleşik olarak koşturulmuştur. Rüzgarın yükselici su hareketine etkisini daha iyi gözlemleyebilmek için duyarlılık testi yapılmıştır. Atmosfer modelinden okyanus

modeline aktarılan rüzgar verileri %25 ve %50 oranlarında arttırılıp/azaltılarak dört farklı senaryo daha üretilmiştir. Bu senaryolar sayesinde denizdeki parametrelerin rüzgar şiddetindeki değişimlere nasıl tepki verdiği görülmektedir. Ayrıca iklim değişikliği ile meydana gelebilecek Etezyen rüzgar yoğunluğundaki olası değişimlerin, Ege Denizine etkiside öngörülmüş olmaktadır.

Simülasyon sonuçları üzerinde birçok analiz yapılmıştır. Rüzgar zorlamasından dolayı sürüklenen su miktarını hesaplamak için Ekman'ın (1905) çalışmalara ve Bakun'un (1973) yaptığı hesaplamalara dayanarak YSHİ hesaplanmıştır. Simülasyondaki Türkiye'nin ve bazı Yunan adalarının batı kıyılarındaki YSHİ değerlerine bakıldığında, batıdan doğuya doğru olan bileşenin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu da yükselici su hareketi oluşumunu desteklemektedir. Denizdeki parametrelerin değişimleri incelendiğinde yükselici su hareketlerinin bulunduğu kıyılarda rüzgarın artması ile DYS'nin ve tuzluluğun azaldığı, yoğunluk ve karışım tabakası kalınlığının arttığı görülmüştür. Ege Denizi'nin doğusundaki ortalamalara bakıldığında referans simülasyonda 22 °C hesaplanırken, rüzgar değerinin 1.5 kat arttırıldığı senaryoda 21.2 °C, rüzgar değerinin yarıya düşürüldüğü senaryoda ise 22.8 °C olarak hesaplanmıştır. Ege denizindeki tuzluluk dağılımına bakıldığında, Ege Denizi'nin kuzeyi Etezyen rüzgarın şiddetinden daha fazla etkilenmektedir. Çanakkale Boğazı'ndan gelen az tuzlu Karadeniz suyu, Ege Denizi'nin kuzeyine hakim olmuştur. Rüzgar hızının düşmesi ile birlikte Karadeniz'den gelen az tuzlu su kütlesi kuzeye hareket ederek bu bölgedeki tuzluluğu düşürmektedir. Yükselici su hareketi kıyılarına bakıldığında ise tuzluluk ile rüzgar hızı arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Karışım tabakası kalınlığı incelendiğinde ise karışım tabakası kalınlığının rüzgar hızı ile arttığı gözlenmiştir. Karışım tabakası kalınlığının artması denizdeki tabakalaşmayı azaltacağı için yükselici su hareketi mekanizmasının oluşmasına daha uygun bir zemin hazırlamaktadır. Denizin düşey profilindeki değişimleri de gözlemlemek için İzmir'in Karaburun kıyılarından bir kesit alınmıştır. Bu kesit boyunca sıcaklık, tuzluluk, düşey akıntı hızı ve yoğunluk gibi parametreler incelenmiştir. Düşey profilde termoklin seviyesinin kıyıya yaklaştıkça yükseldiği sıcaklık ve yoğunluk çıktılarında görülmektedir. Ayrıca kıyıdaki düşey akıntı hızının, rüzgar hızının artmasıyla belirgin bir şekilde arttığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada izlenen yöntemler, atmosfer ve denizlerimizde gerçekleşen fiziksel süreçlerin detaylı bir şekilde simüle edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu hesaplama

ve analiz imkanları sayesinde, deniz kazalarındaki petrol/kimyasal sızıntıların takibi, denizde kaybolma olayları, denizel ortamın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik etkilerinin incelenmesi ve balıkçılık gibi uygulama alanlarındaki fiziksel değişkenlere bağlı bilgi ihtiyacı karşılanabilir, ülkemizdeki meteorolojik-oşinografik öngörü sistemlerinin geliştirilmesine yönelik altyapıların kurulmasına ciddi katkı sunulması beklenmektedir.





KAYNAKLAR

- Anagnostopoulou, C., Zanis, P., Katragkou, E., Tegoulas, I., & Tolika, K.** (2014). Recent past and future patterns of the Etesian winds based on regional scale climate model simulations. *Climate dynamics*, 42(7-8), 1819-1836.
- Androulidakis, Y. S., Krestenitis, Y. N., & Psarra, S.** (2017). Coastal upwelling over the North Aegean Sea: Observations and simulations. *Continental Shelf Research*, 149, 32-51.
- Bakun, A.** (1973). Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-71.
- Bakun A.** 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America. 1946–71, in NOAA Techn. Rept.1973, NMFS. SSRF. p. 671
- Bakun, A., & Agostini, V. N.** (2001). Seasonal patterns of wind-induced upwelling/downwelling in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 65(3), 243-257.
- Bretherton, C. S., & Park, S.** (2009). A new moist turbulence parameterization in the Community Atmosphere Model. *Journal of Climate*, 22(12), 3422-3448.
- Ciappa, A. C.** (2019). The summer upwelling of the Eastern Aegean Sea detected from MODIS SST scenes from 2003 to 2015. *International Journal of Remote Sensing*, 40(8), 3105-3117.
- Dickinson, E., Henderson-Sellers, A., & Kennedy, J.** (1993). Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model.
- Ekman, V. W.** (1905). On the influence of the earth's rotation on ocean-currents.
- Emanuel, K. A.** (1991). A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(21), 2313-2329.
- Estrade, P., Marchesiello, P., Verdière, D., Colin, A., & Roy, C.** (2008). Cross-shelf structure of coastal upwelling: A two—dimensional extension of Ekman's theory and a mechanism for inner shelf upwelling shut down. *Journal of marine research*, 66(5), 589-616.
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M. B., Bi, X., ... & Turuncoglu, U. U.** (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7-29.
- Gonzalez-Nuevo, G., Gago, J., & Cabanas, J. M.** (2014). Upwelling index: a powerful tool for marine research in the NW Iberian upwelling system. *Journal of Operational Oceanography*, 7(1), 47-57.

- Holtstag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F., & Pan, H. L.** (1990). A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 118(8), 1561-1575.
- Jackson, C. R., & Apel, J. R.** (2004). Synthetic aperture radar: marine user's manual.
- Kiehl, J. T., Hack, J. J., Bonan, G. B., Boville, B. A., & Briegleb, B. P.** (1996). Description of the NCAR community climate model (CCM3). Technical Note (No. PB-97-131528/XAB; NCAR/TN-420-STR). National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO (United States). Climate and Global Dynamics Div..
- Kotta, D., & Kitsiou, D.** (2016). Etesians' strength and Chlorophyll-a concentrations over the Hellenic Seas.
- Kourafalou, V. H., & Barbopoulos, K.** (2003). High resolution simulations on the North Aegean Sea seasonal circulation. In *Annales Geophysicae* (Vol. 21, No. 1, pp. 251-265).
- Reynolds, R. W., Smith, T. M., Liu, C., Chelton, D. B., Casey, K. S., & Schlax, M. G.** (2007). Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, 20(22), 5473-5496.
- Rueda-Roa, D., Ezer, T., & Muller-Karger, F.** (2018). Description and mechanisms of the mid-year upwelling in the Southern Caribbean Sea from remote sensing and local data. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(2), 36.
- Savvidis, Y. G., Dodou, M. G., Krestenitis, Y. N., & Koutitas, C. G.** (2004). Modeling of the upwelling hydrodynamics in the Aegean Sea. *Mediterranean marine science*, 5(1), 5-18.
- Simmons A, Uppala S, Dee D, Kobayashi S.** (2006). ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110: 26–35
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... & Powers, J. G.** (2008). A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Technical Note. National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA.
- Skliris, N., Mantziafou, A., Sofianos, S., & Gkanasos, A.** (2010). Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 30(5), 403-418.
- Smith, R.L.**, 1968: Upwelling, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 6, 11-46.
- Turuncoglu, U. U., & Sannino, G.** (2017). Validation of newly designed regional earth system model (RegESM) for Mediterranean Basin. *Climate dynamics*, 48(9-10), 2919-2947.
- Turunçoğlu, U. U.**, (2014). RegESM (Regional Earth System Model) User Guide.
- Turuncoglu, UU, B.önol, C. Özcan,** 2019, Anlık Görseleştirme Yaklaşımı ve Birleşik Atmosfer-Okyanus Model Sisteminin Entegre Edilerek Atmosfer-Deniz Etkileşimindeki Hızlı Süreçlerin Araştırılması , Tübitak Rapor 1.

- Vermote, E.** (2015). MOD09A1 MODIS/terra surface reflectance 8-day L3 global 500m SIN grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 10.
- Wentz, F. J., Scott, J., Hoffman, R., Leidner, M., Atlas, R., & Ardizzone, J.** (2015). Remote Sensing Systems Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 6-hourly ocean vector wind analysis product on 0.25 deg grid, Version 2.0. Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA.
- Yoshida, K., and H.-L. Mao,** 1957: A theory of upwelling of large horizontal extent, *J. Mar.Res.*, 16, pp. 40-54. Republished in *Selected Scientific Papers of Professor Kozo Yoshida, Lab. of Phys. Oceanogr., Geophys. Inst., U. of Tokyo*, 1978, 134-148.
- Zeng, X., Zhao, M., & Dickinson, R. E.** (1998). Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *Journal of Climate*, 11(10), 2628-2644.
- Zhang, H. M., Reynolds, R. W., & Bates, J. J.** (2006). P2. 23 Blended And Gridded High Resolution Global Sea Surface Wind Speed And Climatology From Multiple Satellites: 1987-Present.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ceyhun ÖZCAN
Doğum yeri ve tarihi : Tokat/Erbaa, 07.09.1992
E-Mail : ozcancey@itu.edu.tr
ozcan.ceyhunn@gmail.com

EĞİTİM:

- **Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği (2011-2016)
- **Yüksek Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü Atmosfer Bilimleri Bölümü (2016-)

DENEYİMLER:

- TUBİTAK PROJESİ / Anlık Görselleştirme Yaklaşımı ve Birleşik Atmosfer-Okyanus Model Sisteminin Entegre Edilerek Atmosfer-Deniz etkileşimindeki Hızlı Süreçlerin Araştırılması (İstanbul, 09.2017-01.2019)
- Sancak Enerji Hizmetleri A.Ş., Rüzgar Enerji Analizi ve Enerji Piyasaları (İstanbul, 2019-)

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ozcan C., Onol B., Turuncoglu U.U., 2018 Wind-Driven Sensitivity Analysis of Aegean Sea Coastal Upwelling System Using Regional Earth System Model (REGESM), MEDCLIVAR 2018 Conference, September 2018, Belgrade, Serbia