

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

**EGE DENİZİ'NDEKİ ATMOSFERİK VE OŞİNOGRAFİK
SİSTEMLERİN UZUN DÖNEMLİ VERİLERLE ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

M. Sc. Emre TÜKENMEZ
Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı

Danışman
Doç. Dr. Hüsne ALTIOK

EYLÜL 2021

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

EMRE TÜKENMEZ tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “EGE DENİZİ’NDEKİ ATMOSFERİK VE OŞİNOGRAFİK SİSTEMLERİN UZUN DÖNEMLİ VERİLERLE ANALİZİ” başlıklı tez FİZİKSEL OŞİNOGRAFI VE DENİZ BİYOLOJİSİ Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüsne ALTIOK

Jüri Üyesi

Prof. Dr.Dilek EDİGER

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Erdem SAYIN

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Bilge TUTAK

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Tülay ÇOKACAR

Tez Savunma Tarihi: 06 Eylül 2021

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “EGE DENİZİ’NDEKİ ATMOSFERİK VE OŞİNOGRAFIK SİSTEMLERİN UZUN DÖNEMLİ VERİLERLE ANALİZİ” başlıklı DOKTORA tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

06/09/2021

Emre TÜKENMEZ

ÖNSÖZ

Teze başlamak kolaydı; ancak bitirmesi ise o kadar kolay olmadı. Konunun detaylı ve geniş bir açıdan bakılmasına ihtiyaç duyulması nedeniyle planladığımdan daha fazla sürede çalışmayı tamamlayabildim. Birçok farklı metod, analiz ve veri seti üzerinde çalıştım, denedim, karşılaştırdım ve güzel bir ürün insanlığın, ülkemizin, bilimin hizmetine sunmaya çalıştım. Bu çalışmamda, bu zorlu süreçte beni destekleyen, katkı sağlayan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

“Ege Denizi’ndeki Atmosferik ve Oşinografik Sistemlerin Uzun Dönemli Verilerle Analizi” konulu çalışmamda özellikle;

Her türlü bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, detaycı yaklaşımları ile beni zorlayarak kendimi geliştirebilmem için katkıda bulunan ve sabırla yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüsne ALTIOK’a,

Analitik yaklaşımları ile çalışmamın kalitesinin daha ileri safhaya gelmesi için tavsiyelerde bulunan Dr.Öğretim Üyesi Bilge TUTAK’a,

Juri içerisinde yer alarak tezimin ilerlemesi süresince bana yön gösteren ve tecrübelerini aktaran Prof.Dr.Dilek EDİGER’e,

Eğitim süresince her türlü desteğini esirgemeyen, teşvik eden ve motivasyonumu kaybetmememi sağlayan sevgili eşime,

Beni yetiştiren, büyüten ve her daim arkamda duran değerli annem, babam ve kardeşlerime,

Son olarak başladığım işi bitirebilmem için tüm engelleri kaldırmama yardımcı olan, veri/bilgi ve psikolojik destek sağlayan, birlikte görev yapmakla her zaman gurur duyduğum silah arkadaşlarıma ve Dz.K.K.lığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığına sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SİMGE LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Kapsam	1
1.3. Atmosferik Değerlendirmeler	2
1.3.1. Rüzgâr şiddeti ve yönü	3
1.3.2. Hava sıcaklığı	3
1.3.3. Güneş radyasyonu	4
1.4. Batimetrik Değerlendirmeler	4
1.5. Oşinografik Değerlendirmeler	4
1.6. Upwelling	9
1.7. Teori	11
1.7.1. Ekman teorisi	11
1.7.2. Deniz suyunun fiziksel özellikleri	11
2. MATERYAL VE METOD	13
2.1. Veriler	13
2.2. Metodlar	19
2.2.1. Trend analizi	19
2.2.2. Upwelling indeksi	20
2.2.3. Korelasyon katsayısı	23
2.2.4. Okyanus veri görselleştirme (ODV)'nin kullanılması	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
3.1. Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi	25
3.1.1. Hava sıcaklığı verilerinin mekânsal ve zamansal analizi	25
3.1.2. Hava sıcaklığı verilerinin trend analizi	26
3.2. Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığı Verilerinin Analizi	28
3.2.1. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin mekânsal ve zamansal analizi	28
3.2.2. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin trend analizi	29
3.3. Yüzey Atmosfer Basıncı Verilerinin Analizi	31
3.3.1. Yüzey atmosfer basıncı verilerinin mekânsal ve zamansal analizi	31
3.3.2. Yüzey atmosfer basıncı verilerinin trend analizi	32
3.4. Rüzgâr Şiddeti Verilerinin Analizi	34
3.4.1. Rüzgâr şiddeti verilerinin mekansal ve zamansal analizi	34
3.4.2. Rüzgâr şiddeti verilerinin trend analizi	35
3.5. Rüzgâr Yönü Verilerinin Analizi	37

3.6. Karşılaştırmalar.....	41
3.6.1. Verilerin kendi mevkiindeki diğer veriler ile olan ilişkisi.....	41
3.6.2. Trend oranlarının karşılaştırılması.....	43
3.7. Upwelling	50
3.7.1. Upwelling’i meydana getiren parametrelerin ortaya konması.....	50
3.7.2. Deniz suyu yüzey sıcaklığı ile upwelling indeks hesaplanması	62
3.7.3. Rüzgâr verisi ile upwelling indeksin hesaplanması.....	70
3.7.4. Deniz suyu yüzey tuzluluğu ile upwelling indeks hesaplanması.....	76
3.7.5. Upwelling indeksinin trend analizi.....	77
4. SONUÇLAR.....	81
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

EGE DENİZİ'NDEKİ ATMOSFERİK VE OŞİNOGRAFİK SİSTEMLERİN UZUN DÖNEMLİ VERİLERLE ANALİZİ

Emre TÜKENMEZ

Bu çalışmada deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti ve yönü, deniz suyu yüzey tuzluluğu, yüzey atmosfer basıncı ve yukarı doğru akıntı (upwelling) indeksinin zamansal ve mekansal değişimleri incelenerek geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Ege Denizi'nin meteorolojik ve oşinografik yapısını en iyi şekilde karakterize edecek beş noktada analizler yapılmıştır. İklim değişikliğinin Ege Denizi üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için 1979-2018 yılları arasını kapsayan ECMWF ERA-Interim verileri ile 2000-2015 yıllarını kapsayan Copernicus (Global SSS/SSD L4) verileri kullanılmıştır. Uzun dönemli değişimleri ve eğilimi ortaya koyabilmek için doğrusal eğilim ve Mann Kendall testi uygulanmıştır. ECMWF verilerine göre 40 yıllık süreçte aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı (+0.017 ile + 0.046°C/yıl) ile hava sıcaklığı (+0.017 ile +0.030 °C/yıl) verileri artma eğilimi göstermektedir. Bu değerlendirmenin bir sonucu olarak rüzgar şiddeti (-0.0016 ile -0.007 kts/yıl) ile yüzey atmosfer basıncı (-0.032 ile -0.027 mb/yıl) verilerinde azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Geçmişteki çalışmalar ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında farklı oranlar mevcut olsada genel olarak uyumluluğun olduğu görülmüştür. Ancak söz konusu değişikliklerin dünyanın doğal tepkimesinin bir sonucu olduğunu söylemek son derece zordur.

Upwelling'in kolaylıkla tespiti amacıyla okyanuslar için geliştirilmiş çeşitli indeksler Ege Denizi'nde uygulanarak etkinliği test edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, deniz suyu yüzey sıcaklığı ve rüzgâr verileri ile hesaplanan upwelling indeksi hesaplamalarının Ege Denizi'nde faydalanılabileceği ancak upwelling'in hassas tespiti için yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Keywords: Ege Denizi, Trend Analizi, ECMWF, Upwelling İndeksi

ABSTRACT

ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AND OCEANOGRAPHIC SYSTEMS OF THE AEGEAN SEA WITH LONG-TERM DATA

Emre TUKENMEZ

In this study, temporal and spatial trends of sea surface temperature (SST), air temperature, wind speed and direction, sea surface salinity, sea level pressure (SLP) and upwelling indexes are examined and compared with previous studies. Analyses of parameters are performed for five critical locations, which illustrate the best characteristic of meteorological and oceanographic structures of the Aegean Sea. The response & effect of climate change on the Aegean Sea are investigated by using long term ECMWF ERA-Interim data, which covers the years from 1979 to 2018; moreover Copernicus (Global SSS/SSD L4) is used for obtaining surface salinity data that cover the period of 2000-2015. Linear trend and Mann Kendall tests are applied to find out the tendency and long-term variations. According to ECMWF Reanalysis data over the past 40 years, monthly average SST (+0.017 and +0.046°C/yr) and air temperature (+0.017 and +0.030 °C/yr) have a rising trend. As a result of the validation, there is a decreasing trend in wind speed (-0.0016 and -0.007 kts/yr) and surface atmospheric pressure (-0.032 and -0.027 mb/yr) in the Aegean Sea. When previous studies are compared with the results obtained in this study, despite of different values it is seen that they are compatible with eachother. It is hard to determine, however, whether these changes are related to the world's nature response.

In order to easily detect upwelling, effectiveness of different upwelling index calculations used for oceans was tested by applying on the Aegean Sea and compared with eachother. The results show that SST and wind driven upwelling indexes could be roughly used in the detection of upwelling in the Aegean Sea but it is not sufficient for the precise determination of upwelling.

Keywords: Aegean Sea, Trend Analysis, ECMWF, Upwelling Index

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Günlük hava sıcaklığı verilerinin trend analizi	26
Tablo 2. Günlük deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin trend analizi	29
Tablo 3. Günlük yüzey atmosfer basıncı verilerinin trend analizi.....	33
Tablo 4. Günlük rüzgar şiddeti verilerinin trend analizi.....	36
Tablo 5. Ege Denizi'nin kuzeydoğusuna ait verilerin korelasyonu (r).....	42
Tablo 6. Ege Denizi'nin kuzeybatısına ait verilerin korelasyonu (r).....	42
Tablo 7. Ege Denizi'nin ortasına ait verilerin korelasyonu (r)	42
Tablo 8. Ege Denizi'nin güneydoğusuna ait verilerin korelasyonu (r).....	42
Tablo 9. Ege Denizi'nin güneybatısına ait verilerin korelasyonu (r)	43
Tablo 10. Trend oranlarının karşılaştırılması	49
Tablo 11. Upwelling tespitinde rüzgar şiddeti/yönü verilerinin karşılaştırılması	61
Tablo 12. Upwelling indekslerin trendlerini gösterir tablo.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Ege Denizi'nin GEBCO(The General Bathymetric Chart of the Oceans) verileri kullanılarak üretilen 3 boyutlu derinlik haritası.....	5
Şekil 2. Ege Denizi'nin GEBCO verileri kullanılarak üretilen 2 boyutlu haritası	5
Şekil 3. Ege Denizi'nin genel sirkülasyonu.....	6
Şekil 4. Deniz suyu yüzey sıcaklığının derinliğe göre tipik değişimi(NOAA)	12
Şekil 5. Noktasal analizlerin yapıldığı mevkiler.....	15
Şekil 6. Ege Denizi kuzeybatısında gerçek-model verilerinin noktasal karşılaştırılması	16
Şekil 7. Ege Denizi güneybatısında gerçek-model verilerinin noktasal karşılaştırılması.....	16
Şekil 8. Ege Denizi ortası için gerçek-model tuzluluk verilerinin karşılaştırılması	18
Şekil 9. Ege Denizi güneydoğusu için gerçek-model tuzluluk verilerinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 10. Upwelling analizi maksadıyla kullanılan verilerin mevkii bilgileri	19
Şekil 11. UI(Rüzgar) için kullanılan açılar	22
Şekil 12. Deniz suyu yüzey sıcaklığının sahile dik eksendeki profili	23
Şekil 13. Aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin aylara sari değişimi	25
Şekil 14. Yıllık ortalama hava sıcaklığı verilerinin değişimi	27
Şekil 15. Hava sıcaklığı verilerinin aylık trend oranı	27
Şekil 16. Aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin aylara sari değişimi.....	29
Şekil 17. Yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin değişimi	30
Şekil 18. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin aylık trend oranı	30
Şekil 19. Aylık ortalama yüzey atmosfer basıncı verilerinin aylara sari değişimi	32
Şekil 20. Yıllık ortalama yüzey atmosfer basıncı verilerinin değişimi.....	33
Şekil 21. Yüzey atmosfer basıncı verilerinin aylık trend oranı	34
Şekil 22. Aylık ortalama rüzgar şiddeti verilerinin aylara sari değişimi	35
Şekil 23. Yıllık ortalama rüzgar şiddeti verilerinin değişimi.....	36
Şekil 24. Rüzgar şiddeti verilerinin aylık trend oranı	37
Şekil 25. Kuzeybatı mevkii rüzgar gülleri	39
Şekil 26. Kuzeydoğu mevkii rüzgar gülleri	39
Şekil 27. Orta mevkii rüzgar gülleri	40
Şekil 28. Güneybatı mevkii rüzgar gülleri.....	40
Şekil 29. Güneydoğu mevkii rüzgar gülleri.....	41
Şekil 30. Deniz suyu yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı verileri trend oranları	43
Şekil 31. Rüzgar şiddeti & yüzey atmosfer basıncı verileri lineer trend oranları	44
Şekil 32. Deniz suyu yüzey sıcaklığının mevsimsel trendinin geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılması	46
Şekil 33. Deniz suyu yüzey tuzluluğunun değişimi.....	48
Şekil 34. Haziran 2017 yılı yüzey atmosfer basıncı değerleri ve yüzeydeki hava hareketi yönü(NCEP-NCAR verileri).....	50
Şekil 35. 26 Haziran 2019 sinoptik ölçekte yüzey atmosfer basıncı değerleri ve yüzeydeki hava hareketinin yönü (https://mgm.gov.tr/)	51

Şekil 36. Ege Denizi'nde meydana gelen yukarı doğru akıntının(upwelling) olayını oluşturan kuvvetlerin gösterimi	51
Şekil 37. Eylül 2003 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri	53
Şekil 38. 28 Eylül 2003'e ait rüzgar şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı.....	54
Şekil 39. 39.5K - 25.75D mevkiinde 28 Eylül 2003'de rüzgar şiddeti(m/s) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi	54
Şekil 40. Eylül 2003 ayında yüzey atmosfer basıncı değişimi	55
Şekil 41. Temmuz 2015 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri.....	56
Şekil 42. 02 Temmuz 2015'e ait rüzgar şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı durumu .	56
Şekil 43. 39.5K ve 25.75D mevkiinde 02 Temmuz 2015'de rüzgar şiddeti(kts) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi	57
Şekil 44. 18 Temmuz 2015'e ait rüzgar şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı durumu .	58
Şekil 45. 38.75K ve 25D mevkiinde 18 Temmuz 2015'de rüzgar şiddeti(kts) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi	58
Şekil 46. Temmuz 2015 ayında yüzey atmosfer basıncı değişimi.....	59
Şekil 47. Mart 1993 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri	60
Şekil 48. 11 ve 13 Mart 1993 tarihlerindeki gerçek CTD verilerin olduğu saha için rüzgar yönü(m/s) ve şiddeti değerleri	60
Şekil 49. Kış mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri	62
Şekil 50. İlkbahar mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri	62
Şekil 51. Yaz mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri	62
Şekil 52. Sonbahar mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri	63
Şekil 53. Boylamlara sari olarak her enlem için UI analizi yapılan grid noktaları.....	65
Şekil 54. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 40.25K enleminde boylamlara göre değişimi.....	65
Şekil 55. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 39.5K enleminde boylamlara göre değişimi.....	66
Şekil 56. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 38.75K enleminde boylamlara göre değişimi.....	66
Şekil 57. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 38K enleminde boylamlara göre değişimi	67
Şekil 58. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 37.25K enleminde boylamlara göre değişimi.....	67
Şekil 59. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 36.5K enleminde boylamlara göre değişimi.....	68
Şekil 60. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 35.75K enleminde boylamlara göre değişimi.....	68
Şekil 61. Enlemlere göre 40 yıllık ortalama UI(Deniz suyu yüzey sıcaklığı) değerleri	69
Şekil 62. UI(rüzgar) analizi yapılan grid noktaları	70
Şekil 63. Belirlenen mevkilerdeki UI(Rüzgar)'in 40 yıllık ortalaması(Kok P.H.v.d.2017).....	71
Şekil 64. Belirlenen mevkilerdeki UI(Rüzgar)'in 40 yıllık ortalaması(Glob.Up.Ind.).....	71
Şekil 65. Belirlenen mevkilerdeki UI(Rüzgar)'in 40 yıllık ortalaması(Cropper v.d.2014).....	72
Şekil 66. Tüm UI metodlarının aynı mevki için karşılaştırılması.....	73
Şekil 67. UI(Rüzgar)'in 0.75 çözünürlüklü verilerle harita üzerinde gösterimi	75

Şekil 68. Enlemlere göre 40 yıllık ortalama UI(Deniz suyu yüzey tuzluluğu) değerleri	77
Şekil 69. UI(Deniz suyu yüzey sıcaklığı) trend grafiğı	78
Şekil 70. UI(rüzgar) trend grafiğı	79



SİMGE LİSTESİ

'	: Dakika
"	: Saniye
°	: Derece
C	: Celsius
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
km	: Kilometre
m	: Metre
psu	: Practical salinity unit
mb	: Milibar



KISALTMA LİSTESİ

AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
CTD	: Conductivity, Temperature, Depth
ECMWF	: European Central Medium Range Weather Forecast
EMT	: Eastern Mediterranean Transient
ERA	: ECMWF Re-Analysis
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
GEBCO	: General Bathymetric Chart of the Oceans
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
IR	: Infrared Radiation
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
MEDAR	: Mediterranean Data Archeology and Rescue
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NCAP	: National Center for Atmospheric Research
NCEP	: National Center for Environmental Prediction
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
ODV	: Ocean Data View
RegCM	: Regional Climate Model
SHOD	: Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi
SLP	: Sea Level Pressure
SSD	: Sea Surface Density
SSS	: Sea Surface Salinity
SST	: Sea Surface Temperature
UI	: Upwelling Index
WMO	: World Meteorological Organization

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Ege Denizi, kuzeyden Karadeniz ve güneyden Akdeniz arasında kalan, 3000’ü aşkın ada/adacık/kayalığı olan, Karadeniz’in yarısı büyüklüğünde alanı kapsayan, birçok körfezi, koyu, dar geçidi, yarımadaı içinde bulunduran, değişken sahil şeridine sahip olan ve Osmanlı Devleti’nde Adalar Denizi olarak bilinen yarı kapalı bir denizdir. Ege Denizi’nin sahil şeridi nüfus olarak kalabalık ve yoğun insan faaliyetlerini içerdiğinden bölgenin meteorolojik ve oşinografik ortam şartlarının insan üzerinde meydana getireceği değişimlerin anlaşılabilmesi büyük öneme haizdir. Ayrıca Ege Denizi stratejik olarak da Türk Boğazlarına giden ticaret yolunun üzerinde olması nedeni ile gerek ülkemiz gerekse diğer ülkeler için kritik bir ehemmiyeti vardır.

Bahse konu öneme binaen bu çalışmada:

Ege Denizi’ndeki hava sıcaklığı, deniz suyu yüzey sıcaklığı, yüzey atmosfer basıncı, rüzgâr şiddeti verilerinin yıllara, mevsimlere, aylara sâri eğilim(trend) analizleri yapılarak söz konusu parametreler üzerindeki iklimsel etkinin geçmiş dönemdeki çalışmalar ile karşılaştırılarak ortaya konulması,

Ege Denizi üzerinde etkin olan upwelling (yukarı doğru akıntı)’in meydana gelme hususunun ortaya konularak, upwelling’in tespitine yönelik okyanuslarda kullanılan çeşitli indekslerin Ege Denizi’nde uygulanabilirliğinin tespit edilmesi,

Ege Denizi’nin oşinografik yapısının farklı mevkilerden elde edilen gerçek deniz suyu sıcaklık, tuzluluk verileri ile değerlendirmeleri ve geçmiş çalışmalarla karşılaştırılması suretiyle ortaya konulması hedeflenmiştir.

1.2. Kapsam

Analizler 35-41°K enlemleri ile 22-28°D boylamları arasında Ege Denizi’ni içine alan, kuzeyden Çanakkale Boğazı girişi ile güneyden Girit Adası üzerinden Türkiye ile Yunanistan ana karasına uzanan yayı kapsayan sahada yapılmıştır.

İklimsel analiz ifadesine eskiden ve günümüzde yüklediğimiz anlam farklıdır. Eskiden yüzey parametrelerinin uzun dönemli verilerle analizi iken, günümüzde aylardan binlerce yıla kadar süre için yapılan analizleri ifade edebilmektedir. Uzun dönemli veri farklı disiplinlerde

farklı anlamlara gelmektedir. Jeolojide uzun dönemli değişiklik milenyum süresinceki değişim olarak anlaşılmakta iken atmosferik araştırmalarda saatlik değişimden bin yıllık süreci ifade edebilmektedir. Bu çalışmada ise Weisse ve Storch (2010)'un kitabı ile WMO'nun raporlarındaki gibi on yıllar ile belirtilen süreçler dikkate alınmıştır. Buradaki sorularımızdan biri halihazırdaki değişimin tespit edilerek bu değişimin gelecekteki muhtemel eğiliminin ortaya konabilmesidir.

Özetle bu çalışmanın giriş kısmında çalışmanın amacı ve kapsamı ardından Ege Denizi'nin genel atmosferik ve oşinografik özelliklerinden bahsedilmiş, geçmişte yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde hangi verilerin kullanılacağı ile başvuru analizi yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bulgular bölümünde ise tüm elde edilen analizler, değerlendirmeler, görseller, tablolar ortaya konmuş, açıklanmış ve tartışılmıştır. Sonuçlar kısmında ise tüm çalışmadan elde edilen bilgiler yorumlanarak sonuçları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

1.3. Atmosferik Değerlendirmeler

Ege Denizi meteorolojik açıdan incelendiğinde Etezyen rüzgârlarının yaz boyunca ve sonbahar mevsimi başında mevcut olduğu görülmektedir. Yıllık tekrarlayan doğasından ötürü etezyen (etos-yıl) olarak isimlendirilmektedir (Tyrlis ve Lelieveld, 2013). Etezyen rüzgarları Türkiye'den Hindistan'ın kuzeybatısına uzanan alçak basınç sistemi ile merkez-güney Avrupa'da yer alan yüksek basınç merkezinin sonucunda oluşan bir rüzgardır (Anagnostopoulou ve diğerleri, 2014). Asya Musonları şiddetlendiğinde, Asya'nın batısında basınç düştüğü takdirde Etezyen rüzgarları şiddetlenmekte ve Doğu Akdeniz'de hava soğumaktadır (Ziv ve diğerleri, 2004). Genel olarak söz konusu rüzgarlar Ege Denizi'nin kuzeyinde kuzeydoğulu, orta ile güneyinde ise kuzeyli/kuzeybatılıdır (Savvidis ve diğerleri, 2004; Androulidakis ve diğerleri, 2017).

Etezyen rüzgarları Güney Balkanlar ve Türkiye'deki yüksek dağların etkisi ile Ege Denizi üzerinde bir kanal üzerinde esmekte, hızını artıracak alan bulabilmekte ve güneye gidildikçe şiddetinin arttığı görülmektedir (Poupkou ve diğerleri, 2011). Etezyen rüzgarları deniz yüzeyinde upwelling'in meydana gelmesine sebep olmaktadır. Upwelling hususu ilerleyen bölümlerde daha detaylı şekilde ele alınacaktır.

1.3.1. Rüzgâr şiddeti ve yönü

1980-2000 yıllarına yönelik olarak 10km çözünürlüklü rüzgâr şiddeti ve yönü verisi üzerine çalıştırılan RegCM modeli ve gözlem verileri incelenerek yapılan çalışmada Ege Denizi'nde yüzey rüzgârları iklimsel olarak karmaşık bir değişken olarak tanımlanmış ve 15 meteorolojik gözlem istasyonu ile sayısal model (numerical model) verileri karşılaştırıldığında uyumluluğun söz konusu olduğu tespit edilmiştir (Vagenas ve diğerleri, 2017). Ayrıca söz konusu çalışmada sayısal model sonuçlarına göre Ege Denizi'nin kuzeybatısı hariç kış mevsiminin rüzgâr şiddetinin ortalamasının tüm bölgede genel olarak en yüksek değerlere eriştiği, ilkbaharda rüzgâr şiddetinin genel olarak azaldığı, Ege Denizi'nin güneyinde kuzeye nazaran yüksek değerlerin olduğu, sonbaharda kuzeydoğu ile güneybatı bölgesinde yüksek rüzgâr şiddetinin mevcut olduğu özet olarak ifade edilebilir. En yüksek rüzgâr şiddeti değerleri genel olarak Ege Denizi'nin güneydoğu bölgesinde görülmektedir.

Etezyen rüzgarlarına yönelik 1955-2002 yıllarını kapsayan sürece ilişkin kullanılan gözlem verileri ile yapılan bir diğer çalışmada Etezyen rüzgarlarının şiddetinde azalma olduğu, Orta Doğu ile Güney/Orta Avrupa üzerindeki basınç farkları arasındaki azalmanın bunun bir nedeni olabileceği belirtilmektedir (Puopkou ve diğerleri, 2011). Ayrıca rüzgâr şiddeti değişimi için Ege Denizi'nin batısına yönelik tüm sezonlarda (kışın ve ilkbaharda belirgin, yaz ve sonbaharda daha düşük seviyede) rüzgâr şiddetinde azalma olduğu da tespit edilmiştir (Vagenas ve diğerleri, 2017).

Rüzgâr yönünün mevsimlere/mevkiilere göre değişkenlik göstermekle birlikte yıl içerisinde yönünün çok değişmediği, hâkim rüzgar yönünün Kuzey Ege'de kuzeydoğulu, Orta Ege'de kuzeyli, Ege Denizi'nin güneydoğusunda kuzeybatılı, güneybatısında ise mevsimsel değişimlerin olduğu ifade edilmektedir (Vagenas ve diğerleri, 2017).

1.3.2. Hava sıcaklığı

Hava sıcaklığında 1860 yılından beri 0.4-0.8 °C'lik bir yükselme görülmüş ve özellikle Kuzey Yarım Küre'de 1990'lı yıllar yüzyılın en sıcak dönemidir (IPCC 2001). Son dönemlerde yayımlanan IPCC'nin özel raporunda ise küresel ısınmanın 1,5 °C olduğu, 1970 yılına kadar deniz suyu yüzey sıcaklığında belirgin değişimin olmadığı, özellikle 1993 yılı sonrasında artış hızının yükseldiği raporlanmıştır (IPCC Özel Raporu, 2018).

1961-2002 yıllarına ilişkin Ege Denizi'ndeki 9 meteorolojik istasyondan elde edilen hava sıcaklığı verileri analiz edildiğinde 1961-1981 yılları arasında hava sıcaklığında azalma,

1982-2002 yılları için ise artma eğilimi olduğu tespit edilmiştir (Good ve diğerleri, 2008). Dünya üzerindeki genel değişim ile uyumlu bir sonuç ortaya konmuştur.

Meteorolojik olayların Ege Denizi üzerindeki oşinografik değişimlere olan etkisi üzerine Vlahakis ve Pollatou (1993) tarafından yapılan çalışmalarda deniz suyu yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığının mevsimlere sâri olarak benzer değişiklikler gösterdiği de ifade edilmiştir.

1.3.3. Güneş radyasyonu

Küresel ısınmanın güneşte meydana gelen olaylardan kaynaklanıp/kaynaklanmadığı incelendiğinde güneşin dünyanın iklimi üzerinde çok az bir etkisinin olduğu görülmektedir. 40 yıldan fazla süredir uydular Güneş'ten gelen enerjiyi gözlemlemekte ve bu süreçte güneş enerjisi sadece %0,1 artıp/azalmaktadır (NASA Global Climate Change Websayfası). Güneş halihazırda çok düşük seviyede güneş lekesi (sunspot) aktivitesi yaşadığı, bu sürecin “grand minimum” olarak isimlendirildiği ve bu dönemde dünyanın 0,3 °C soğumasının beklendiği ancak insan etkisinden dolayı soğumanın değil ısınmanın meydana geldiği görülmektedir (NASA Global Climate Change Websayfası).

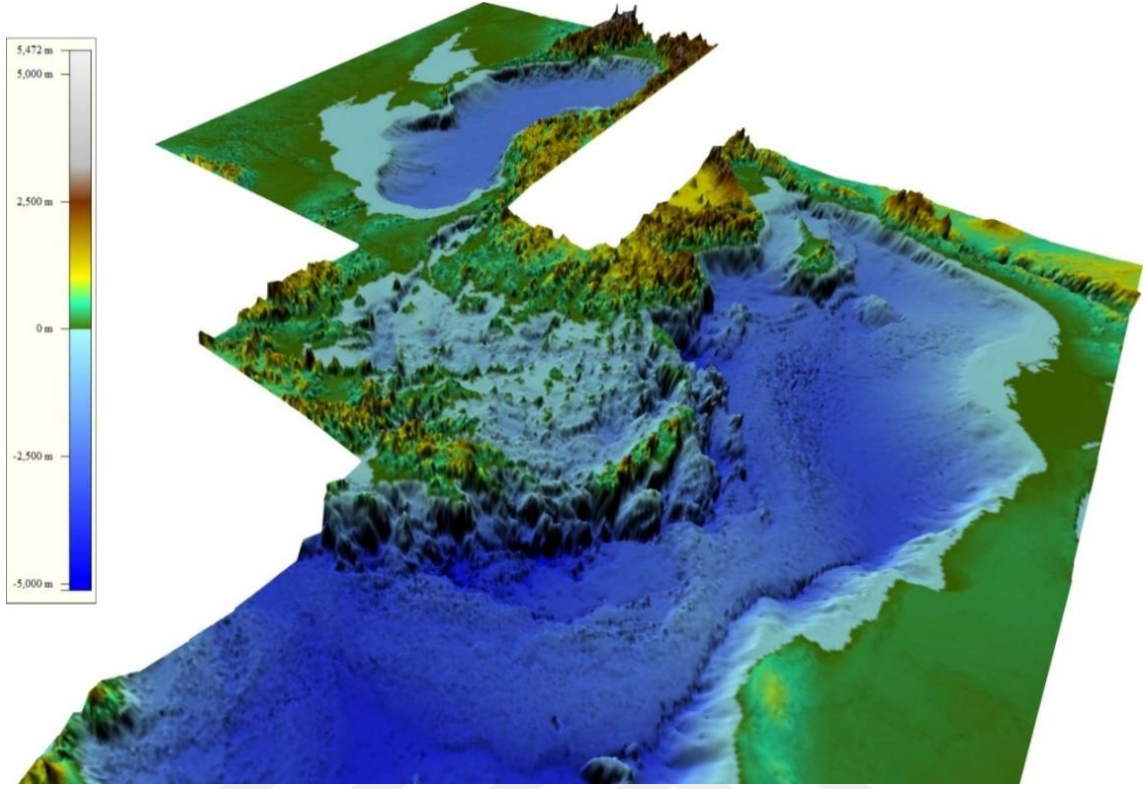
1.4. Batimetrik Değerlendirmeler

Bölge batimetrik açıdan incelendiğinde: Şekil 1-2’de gösterildiği gibi kuzeyinde doğu-batı ekseninde uzanan “Kuzey Ege Çukuru”, ortasında “Sakız Çukuru”, güneyinde “Girit Çukuru” olmak üzere üç basene sahiptir. Kuzey Ege Çukuru ile Sakız Çukuru birbirine 350m derinliğindeki tepe ile bağlıdır. Derinlik değerlerinin 1/3’e yakını 200m’den sığdır. Sakız Baseni ve Girit Baseni sığ Kikland platosu ile etkileşim halindedir.

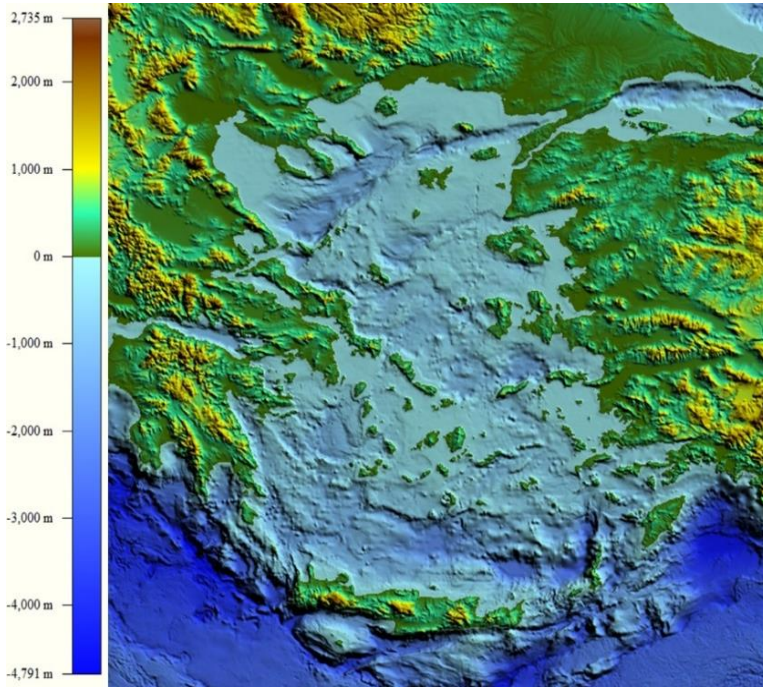
Özetle söz konusu üç çukur arasındaki sığ platolar basenler arasındaki etkileşimi belirlemektedir. Bu batimetrik değişimler, kuzey-güney eksenli dip suların hareketine engel teşkil edebilmektedir (Zervakis ve diğerleri, 2004). Ege Denizi, Akdeniz ile Karadeniz’e göre sığ bir denizdir. Dip tabiatı ise genel olarak sahilden 50m derinliklere kadar kumlu silt, çamur, kum, daha derin yerlerde ise silt/çamurdur.

1.5. Oşinografik Değerlendirmeler

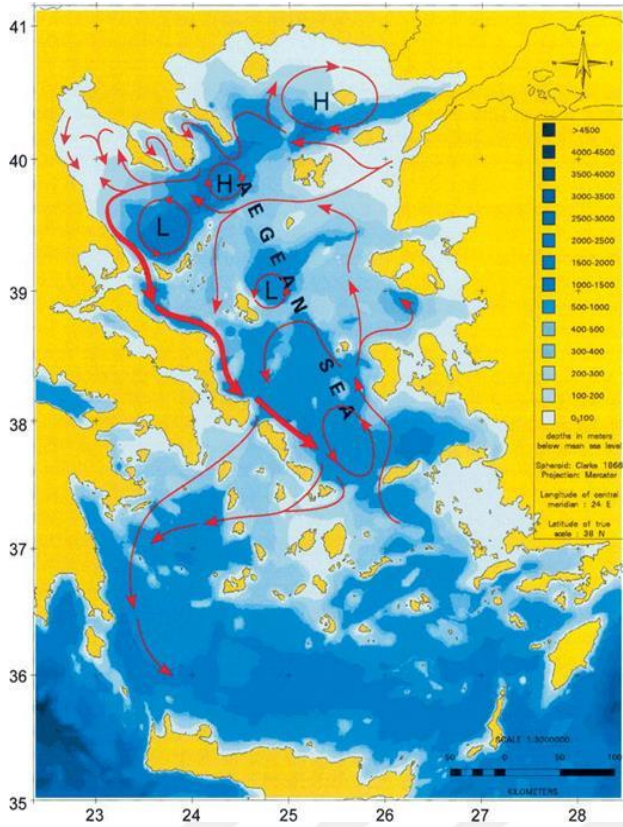
Ege Denizi’nin oşinografik sirkülasyonu üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların genel olarak ortaya koyduğu ifade Şekil-3’te görüldüğü gibi “Ege Denizi’nin genel sirkülasyonunun siklonik (saat yönünün tersine) olduğudur” (Olson ve diğerleri, 2007).



Şekil 1. Ege Denizi'nin GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans) verileri kullanılarak üretilen 3 boyutlu derinlik haritası.



Şekil 2. Ege Denizi'nin GEBCO verileri kullanılarak üretilen 2 boyutlu haritası.



Şekil 3. Ege Denizi'nin genel sirkülasyonu (Olson ve diğerleri (2007)'nden alınmıştır).

Ege Denizi iki farklı özelliğe sahip denizin etkisi altındadır. Bu denizlerden biri olan ve güneyde yer alan Akdeniz, deniz-hava etkileşiminin güçlü olduğu, hem derin/dip hem de ara tabaka su kütlelerinin meydana geldiği, global ölçekte sıcaklık-tuzluluk değişimleri açısından önem arz eden, buharlaşmanın yüksek olmasından ötürü tuzluluğu ve yoğunluğu yüksek olan, çözünmüş oksijen oranı yüksek, içerdiği besin oranı düşük (oligotropik) bir denizdir (Robinson ve diğerleri, 1992). Doğu Akdeniz'e Sicilya Boğazından giren yüzey suları iki kola ayrılmaktadır. Bu kollardan biri Doğu Akdeniz'in orta hattından Kıbrıs adasına doğru ilerlemektedir. Doğu Akdeniz'in ortasından giden kolda ikiye bölünerek bir kolu Girit ile Rodos adaları yakınlarında Rodos Döngüsü meydana getirmektedir (Robinson ve diğerleri, 1992). Söz konusu Doğu Akdeniz suları Girit ile Rodos adaları arasından Ege Denizi'ne giriş yapmaktadır (Poulos ve diğerleri, 1997).

Ege Denizi'ni kuzeyden Türk Boğazları üzerinden etkileyen diğer bir deniz olan Karadeniz ise düşük tuzluluk değerine sahip su girişine sebep olması açısından bölgenin sirkülasyonunu etkilemektedir. Karadeniz'in kuzeybatı bölgesine tatlı su girişi bölgenin dinamikleri açısından büyük öneme haizdir. Tuna nehrinden gelen su miktarı Karadeniz'e

giren tatlı su miktarının %50'sine tekabül etmektedir (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Kış mevsiminde tatlı su girişinin azalması ve rüzgâr sebepli karışımından dolayı sırasıyla Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi'ndeki yüzey tuzluluk değerleri artmaktadır. Bununla beraber ilkbahar ve yaz başlangıcında yüzey tuzluluğu azalmaktadır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). Tuna nehri sularının İstanbul Boğazına gelmesi 1-2 ayı, İstanbul Boğazı'ndan Çanakkale Boğazına söz konusu suların erişmesi ise yaklaşık 10 günü bulmaktadır (Özsoy ve Ünlüata, 1997; Gerin ve diğerleri, 2013). Ege Denizi'ne nehirlerden giren tatlı su girişinin oluşturduğu etki yerel ölçekte kalmakta ve bölgenin oşinografisi üzerinde etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir (Poulos ve diğerleri, 1997).

Oşinografik açıdan yapılan analizlerde, Ege Denizi, genel olarak Çanakkale Boğazı'ndan gelen Karadeniz kaynaklı az tuzlu-soğuk su kütlesi ile Akdeniz'den gelen sıcak-tuzlu su kütlelerinin etkisi altındadır. Limni Adası doğusunda Akdeniz ile Karadeniz sularının kolaylıkla ayrılmasını sağlayan güçlü yüzey sıcaklık-tuzluluk farklılığı IR uydu görüntüleri destekli gerçek veriler üzerinden görülebilmektedir (Teocharis ve Georgopoulos, 1993). Kuzey Ege Denizi'nin yüzeyinde az yoğun Karadeniz sularının etkisi görülürken, orta tabakada (100-200m) Doğu Akdeniz kökenli sular, 400m'den daha derin sulara ise Kuzey Ege Denizi kökenli daha yoğun sular mevcuttur (Zervakis ve Georgopoulos, 2002). Kuzeyden esen soğuk-kuru etezyen rüzgarları yaz mevsimindeki hava sıcaklığını azaltma eğilimindedir (Mexatas ve Bartzokas, 1994).

Deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerine farklı veri seti ile birçok çalışma yapılmıştır. 1982-2012 yıllarını kapsayan süreç için Karadeniz ile Akdeniz'e ait günlük AVHRR (Advanced very high resolution radiometer) deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin analiz sonuçlarına göre deniz suyu yüzey sıcaklığında Karadeniz (0.051 °C/yıl) ve Akdeniz (0.038 °C/yıl) için belirgin bir ısınmanın söz konusu olduğu belirtilmiştir (Shaltout ve Omstedt, 2014). Ancak 1985-1996 yılları Akdeniz AVHRR deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir (D'Ortenzio ve diğerleri, 2000). Akdeniz'deki gerçek deniz suyu yüzey sıcaklığı verileriyle yapılan bir çalışmada 1970-1980 yıllarında Akdeniz'de deniz suyu yüzey sıcaklığında azalma, 1980-2000 yılları arasında ise artmanın olduğu tespit edilmiştir (Lelieveld ve diğerleri, 2002). Geleceğe yönelik senaryonun nasıl olacağına yönelik 1961-2099 yıllarını kapsayan süreç için yapılan çalışmada Akdeniz deniz suyu yüzey sıcaklığının 3.1°C artacağı vurgulanmaktadır (Somot ve diğerleri, 2006). Karadeniz, Ege Denizi'ne göre

daha soğuk bir denizdir; ancak Karadeniz'in ısınma eğilimi Ege Denizi'nin ısınma eğilimine göre daha yüksek değere sahiptir (Shaltout ve Omstedt, 2014).

Yukarıda özetlendiği üzere çevre denizlerde deniz suyu yüzey sıcaklığında belirgin bir ısınmanın söz konusu olduğu anlaşılmaktadır. Ege Denizi ile İyon Denizi'nde aynı enlemlerdeki deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri karşılaştırıldığında Ege Denizi'nin yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı değerlerinin İyon Denizi'ne göre ~ 1 °C daha düşük olduğu görülmektedir (Shaltout ve Omstedt, 2014). Bu değişikliğin kısmen Karadeniz'den gelen suların etkisi ile, kısmen de Doğu Akdeniz'deki ısı dengesini Karadeniz-Akdeniz arası etkileşimin kontrol ettiğinin göstergesi olduğu ifade edilmektedir (Shaltout ve Omstedt, 2012).

Ege Denizi'nin genelinde deniz suyu yüzey sıcaklığının mevsimsel değişimi üzerine yapılan çalışmada tüm mevsimlerde deniz suyu yüzey sıcaklığı artma eğilimi göstermektedir (Shaltout ve Omstedt, 2014; Skliris ve diğerleri, 2011). Ege Denizi'nin güneydoğusunda sınırlı bir saha için Landsat verileri kullanılarak sadece yaz mevsimi için yapılan kıymetlendirmelerde de benzer sonuç elde edilmiştir (Kuleli ve Bayazit, 2020).

Son olarak Ege Denizi'nin oşinografisi için önem arz eden bir diğer olay EMT (Eastern Mediterranean Transient)'dir. Akdeniz'de 1983-1989, 1993, 1996, 2006 yıllarında daha soğuk kış mevsimleri (ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı $< 14,5$ °C), 2005, 2010, 2011 yıllarında daha sıcak kış mevsimleri (ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı $< 15,4$ °C) meydana gelmiştir. Soğuk 1993 kışı Güney Ege Denizi'nde başlayan EMT olayının başlangıcı olarak görülebilir. EMT 1992-1993 soğuk kışları takiben oluşmuştur (Klein ve diğerleri, 1999). EMT, basit bir ifade ile 1990'lı yılların başlarında derin su akışında Adriyatik Denizi'nin yerini Ege Denizi alması olayıdır. Bu hususu ilk ortaya koyan Roether ve diğerleri (1996)'dir. Doğu Akdeniz'deki dip ve derin suların %20'sinin yerini Ege Denizi sularının aldığı, bu durum öncesinde söz konusu suların kaynağının sadece Adriyatik suları olduğu ifade edilmiştir (Roether ve diğerleri, 1996). Bu değişim sonucu Ege Denizi'nde tuzluluk artmıştır (Roether ve diğerleri, 1996).

1993 yılından sonra Ege Denizi'nden Doğu Akdeniz'e yüksek miktarda akış(çıkış) olduğu, bu rakamın daha önceki yıllara nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Roether ve diğerleri, 2007). 1988-1995 yıllarında yüksek tuzlu suların Akdeniz'den Ege Denizi'ne girmesi,

Ege Denizi'ndeki ısı kaybının meydana gelmesi nedenleri ile EMT'nin meydana geldiği değerlendirilmektedir (Incarbona ve diğerleri, 2016).

Yakın geçmişte varlığı tespit edilen İyon Denizi yüzey sularındaki siklonik ve antisiklonik sirkülasyon Adriyatik ile Ege Denizlerinin orta ve yüzey tabaka sularında büyük bir etkisi vardır (Krokos ve diğerleri, 2014; Velaoras ve diğerleri, 2014). Akdeniz'de İyon Denizi önemli bir bileşendir. İyon Denizi'nde yüzeyde antisiklonik döngü oluştuğunda EMT veya EMT'ye benzer hadiseler meydana gelirken, siklonik ise EMT'nin rahatladığı/beklenmediği bir durumdur. Ayrıca İyon Denizi'ndeki antisiklonik döngüde Doğu Akdeniz'de yüzey tuzluluğu artmakta, siklonik döngüde ise Atlantik Okyanusu'ndan gelen görece daha az tuzlu yüzey suları engellenemediğinden tam tersi durum söz konusu olmaktadır. EMT'ye benzer olay terimi ile ifade edilmek istenen yoğunluğu yüksek suların EMT olayındakinden farklı olarak derin sulara kadar değil orta tabakaya kadar erişebilmesi durumunun meydana gelmesi olayıdır. EMT nedenleri için özetle ortalamadan daha düşük kış sıcaklıkları, Karadeniz'den gelen suların azalması ile deniz-hava etkileşiminin artması, Ege Denizi'nde meydana gelen upwelling'in su yoğunluğunda artışa sebep olması gösterilebilir.

1.6. Upwelling

Ege Denizi'nin yüzeyi küçük boyutundan dolayı meteorolojik değişimlere hızlı tepki vermektedir (Georgiou ve diğerleri, 2015). Ege Denizi'nin coğrafik özellikleri, meteorolojik olaylara tepkisi, mevsimsel değişimleri dikkate alındığında upwelling olayının karmaşık bir olay olduğu ifade edilebilir. Upwelling olayının varlığını tespit edebilmek maksadıyla deniz suyu yüzey sıcaklığı, denizdeki besinler, rüzgâr şiddeti/yönü ve tuzluluk parametreleri dikkate alınmaktadır. Halihazırda upwelling olayının Ege Denizi'nde tespiti için bir metod/formül geliştirilmemiştir. Ancak dünyada birçok denizde deniz suyu yüzey sıcaklığı, denizdeki besinler veya rüzgâr verileri üzerinden upwelling olayının tespiti üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Ege Denizi'ndeki upwelling olayı ilk kez Ünlüata (1986) tarafından ortaya konmuştur. Ege Denizi üzerinde meydana gelen upwelling olayının tespiti maksadıyla yapılan çalışmalar "Ege Denizi'nde upwelling olayına ne sebep oluyor" sorusunun ileri sürülmesine sebep olmuştur. Ekman teorisi ve sinoptik ölçekteki jeostrofik denge bu olayı açıklamak için güzel araçlardır. Etezyen rüzgarlarının deniz yüzeyinde meydana getirdiği sürtünme kuvveti Coriolis kuvvetinin de yardımıyla Ege Denizi'nin doğusunda yüzey sularının doğudan batıya

doğru gitmesine sebep olmaktadır. Bu hareket eden sular yaklaşık 40m derinliğe kadar olan orta tabaka suların yüzeye çıkıp batıya hareket etmesine ve yüzey sularının yerini orta tabakadan gelen suların almasına sebebiyet vermektedir (Androulidakis ve diğerleri, 2017; Mamoutos ve diğerleri, 2017). Kuzeyli rüzgarlardan dolayı upwelling olayı meydana gelerek deniz yüzeyinde soğuma olmaktadır (Zervoudaki ve diğerleri, 1999; Kourafalou ve Barbopoulos, 2003; Skliris ve diğerleri, 2010; Sayın ve diğerleri, 2011). Upwelling'in meydana geldiği saha Ege Denizi'nin ortasını da kapsamaktadır ve döngüler oluşturmaktadır (Sayın ve Beşiktepe, 2010; Sayın ve diğerleri, 2011).

Upwelling, iyi bilindiği üzere düşük deniz suyu yüzey sıcaklığı, tuzluluk, denizdeki zengin besinler üzerinden tanımlanarak tespiti yapılabilir. Ancak söz konusu parametrelerin etkinliği bölgeden bölgeye değişkenlikler gösterebilir. Upwelling olayının meydana geldiği alanda yüksek üretkenliğe sahip, besin değeri yüksek, yüksek balık popülasyonunun olması beklenir (Ryther, 1969; Cushing, 1971; Millan-Numez ve diğerleri, 1982; Freon ve diğerleri, 2009). Fakat bu etki Ege Denizi'nde yeteri kadar derinden suyun yüzeye çıkamamasından dolayı Ege Denizi'nde gözlenememektedir. Fitoplanktonlar üzerine yapılan çalışmalar bu sonucu desteklemektedir (Mamoutos ve diğerleri, 2017). Bu nedenle Ege Denizi üzerinde denizdeki besin değeri üzerinden Farallones Körfezi ve Madagaskar güney sahil bölgesi için yapılan çalışmalarda belirtilen sonuçlara benzer bir çıktı elde edilemeyecektir (Garcia-Reyes ve diğerleri, 2014; Ramanantsoa ve diğerleri, 2018).

Ege Denizi'nde upwelling üzerinde yapılan çalışmalar deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerine odaklanmıştır (Androulidakis ve diğerleri, 2017). Deniz suyu yüzey sıcaklığının azalması upwelling olayının bir sonucudur; ancak söz konusu olayın arkasında yatan ve olayın kaynağı olan parametre rüzgârın deniz yüzeyinde meydana getirdiği sürtünme kuvveti (wind stress)dir. Sürtünme kuvveti sonrasında meydana gelen suyun kütleli hareketi de Ekman Transport ile açıklanabilir.

Özet olarak Ege Denizi'nin kuzeydoğusu ile merkezi upwelling'in etkisi altında ve farklı rüzgâr şiddeti, deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı verilerine sahiptir. Kuzeydoğusu ve kuzeybatısında aynı enlemdeki iki noktada hava sıcaklığı ile deniz suyu yüzey sıcaklığı farklılık arz etmekle birlikte, kuzeybatı mevkinde kuzeydoğu mevkinde göre daha yüksek değerler almaktadır. Merkezdeki rüzgâr sistemi güney ve kuzey bölümlerinden farklıdır. Merkez bölgesi hem kuzeyden (Karadeniz'den) gelen ince yüzey tabaka suları ile

güneyden Doğu Akdeniz suları hem de rüzgarlardan kaynaklı upwelling etkisi altındadır (Vervatis ve diğerleri, 2013; Georgiou ve diğerleri, 2015). Güneydoğu ve güneybatı bölümleri farklı rüzgâr paternlerinin etkisi altındadır. En düşük rüzgâr şiddeti kuzeybatı noktasından elde edilmiştir fakat aynı enlemde Türkiye sahilinde özellikle yaz mevsiminde daha yüksek rakamlar mevcuttur. İyon Denizi, Ege Denizi'nin güneybatı bölümünü etkilemektedir, diğer taraftan Doğu Akdeniz güneydoğu bölümünde etkindir (Savvidis ve diğerleri, 2004; Ziv ve diğerleri, 2004).

1.7. Teori

1.7.1. Ekman teorisi

Wilfrid Ekman rüzgâr kaynaklı upwelling olayını matematiksel olarak ortaya koyan ilk bilim insanıdır (Ekman, 1905). Ancak rüzgâr ve akıntı arasındaki korelasyonu Fridtof Nansen kuzey kutbundaki bilimsel seferinde rüzgâr ile akıntı arasındaki yön farkını gözlemlemesi ile gözlemleyebilmiştir (Nansen, 1902). Ekman'ın doktora çalışması ile ortaya koyduğu ve kendi ismi ile anılan bu teorisi halen rüzgâr kaynaklı sirkülasyonun anlaşılmasında temel bir bilgi olarak kabul görmektedir.

Ekman teorisine göre belli bir süre sahile paralel olarak esen rüzgâr kuzey yarım kürede rüzgârın yönünün sahilten 90° sağa doğru yönünün değiştirmesine sebebiyet vermektedir (Sverdrup, 1938). Denizin yüzeyinde rüzgârın etkisi ile oluşturan sürtünme kuvvetinin (τ_x , τ_y) coriolis parametresi (f) ile suyun yoğunluğuna (ρ_w) bölünmesi ile Ekman kaynaklı taşınım elde edilmektedir.

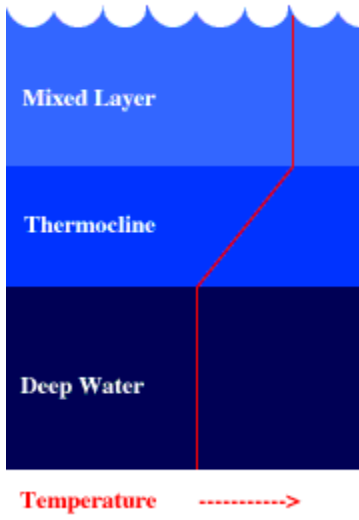
$$Q_x = \frac{\tau_y}{\rho_w f} \quad (2.1)$$

$$Q_y = \frac{-\tau_x}{\rho_w f} \quad (2.2)$$

1.7.2. Deniz suyunun fiziksel özellikleri

Deniz suyunun genel olarak sıcaklık değişimi derinliğe sâri incelendiğinde yüzeyden yaklaşık 100m derinliğe kadar karışım tabakası (mixed layer), karışım tabakasından sonra deniz suyu sıcaklığında azalmanın meydana geldiği termoklin tabakası ve akabinde değişimin neredeyse olmadığı veya çok az olduğu derin sular diye ifade edilen katmanlardan meydana geldiği ifade edilebilir. Tipik olarak deniz suyunun derinliğe göre değişimi Şekil-4'de gösterilmiştir.

Karışım tabakası derinliği zamansal ve mekânsal farklılıklar gösterebilmektedir. Coğrafi değişiminin nedeni olarak bölgenin batimetrisi, akıntılar, iklimsel rejim, mevsimler gibi nedenlerle açıklanabilir. Karışım tabakasının aylara sâri değişimi sinüs grafiğine benzemektedir, deniz yüzeyi hava sıcaklığı değişimi ve rüzgâr ile ilişkilidir (Geary,1961). Karışım tabakasının ortaya konulması için tuzluluk ve sıcaklık odaklı farklı yaklaşımlar ileri sürülmüştür (Geary, 1961; Sprintall ve Tomczak, 1992). Ancak en genel kabul gören “izotermal sıcaklık dağılımının olduğu yüzeyden termoklin tabakasına kadar olan alanın derinliği” tanımıdır.



Şekil 4: Deniz suyu sıcaklığının derinliğe göre tipik değişimi (NOAA).

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Veriler

Eğer bir ortamın uzun dönemli değişimi analiz edilmek isteniyorsa mevcut sistemin eksiksiz olarak bütünüyle ortaya konabiliyor olması gerekmektedir. Ancak böyle bir bilginin günümüz koşullarında temin edilmesi imkansızdır. Bilimsel çalışmalarda yaşanan en önemli sıkıntı deniz üzerinde ölçümlerin eksikliğidir. Bunun yerine örneklem veri üzerinden sistem tanımlanmaya çalışılmaktadır veya bu eksiklik sayısal modeller vasıtasıyla giderilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca farklı kaynaklardan elde edilen veriler arasında uyumsuzluklar olabilmektedir. Örneğin radiosonde ölçümlerinden elde edilen gerçek veriler ısınmaya işaret ederken, uydulardan elde edilen sonuçlarda böyle bir trendin olmadığı çıktısı alınabilmektedir (Weisse ve diğerleri, 2010).

Dünya üzerinde yapılan yerinde ölçümler (karada, gemide, şamandırada vs.) noktasal veri sağlamak ve düzensiz olduklarından tüm dünya denizlerinin tamamını içerecek şekilde veri hizmeti sağlayamamaktadır. Bu düzensiz veriler deniz/atmosfer için düzenli gridli veri haline matematiksel denklemler vasıtasıyla getirilmesine analiz adı verilmektedir (Glickman, 2000). Bu analiz verisinin doğruluğu ve kalitesi her geçen gün daha fazla gözlem verisi sayesinde sürekli artmaktadır (Weisse ve diğerleri, 2010). Bu veriler sayesinde gerçek durum açıklanmaya çalışılmaktadır. Kuzey yarım kürede daha fazla sayıda gözlem verisi olmasından dolayı analiz verisi daha iyi sonuçlar vermektedir.

Özellikle 1970’li yılların sonlarında uydu verilerinin kullanılmaya başlaması ile sayısal modellerden elde edilen verilerin doğruluğu artmaya başlamıştır. Sayısal modeller gerçek durumu açıklamak/yansıtılabilmek için kullanılırlar. Uzun dönemli trendlerin sayısal model verileri ile elde edilip edilemeyeceği üzerine yapılan birçok çalışmada söz konusu verilerin trendin elde edilmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir (Bengtsson ve diğerleri, 2004; Bromwich ve diğerleri, 2007; Weiss ve diğerleri, 2009). ECMWF 1980’li yılların başında ilk (yeniden analiz edilmiş(reanalysis) verisini üretme işlemini gerçekleştirmiştir. Sürekli kendini geliştiren ECMWF, 2009 yılında farklı bir strateji ile bu tez çalışmasında da kullanılan ERA Interim yeniden analiz edilmiş verisini üretmiştir. Bu veri seti gelişmiş sayısal model ve veri asimilasyon sistemi ile yüksek çözünürlüklü veri üretmektedir. Dünya üzerinde

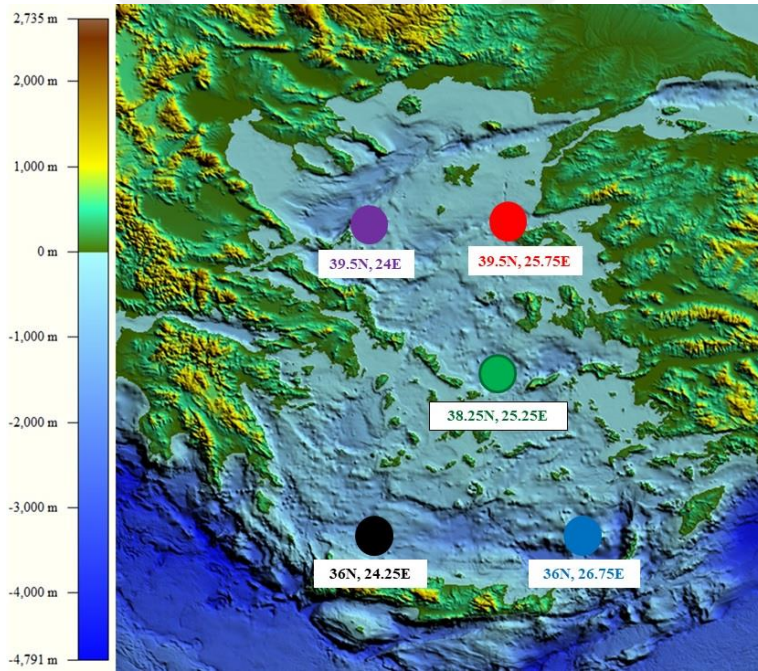
herhangi bir bölgeye ait iklimsel değişimlerin ve eğilimlerin anlaşılabilmesi maksadıyla en az 30 yıllık veri setinin kullanılması gerekmektedir (WMO Nu.1203, 2017). Bu nedenle bu çalışmada imkanlar çerçevesinde 40 yıllık veri seti üzerinden çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin doğruluğu özellikle 1979 sonrasında uydu verileri ile doğrulama yapılması ile çok daha doğru sonuçlar vermiştir. Atmosferik verilerin değişkenliği nedeniyle bu verilerin doğruluk oranı deniz suyu yüzey sıcaklığına göre daha azdır. 1979 sonrası döneme ait sayısal model ile uydudan elde edilen hava sıcaklığı verileri karşılaştırıldığında uyumluluğun mevcut olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Bengtson ve diğerleri, 2004). 1979-2001 yıllarına ait hava sıcaklığı trendinin ($0.11\text{ }^{\circ}\text{C/onyıl}$) 1958-2001 yıllarına ait hava sıcaklığı trendine ($0.14\text{ }^{\circ}\text{C/onyıl}$) göre daha düşük bir değere sahip olduğu sonucu elde edilmiştir (Bengtson ve diğerleri, 2004). 1979 sonrası dönem için değişkenliği daha az olan ve direkt uydu verilerinden de elde edilebilen deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin trendi ($0.08^{\circ}\text{C/onyıl}$) ile 1979 sonrası dönem hava sıcaklığı trendinin ($0.11\text{ }^{\circ}\text{C/onyıl}$) yakın olduğu tespit edilmiştir (Bengtsson ve diğerleri, 2004). Ancak uydu gözlemi olmayan 1979 öncesi dönem dahil edilerek 1958-2001 süre zarfı için elde edilen $0.14\text{ }^{\circ}\text{C/onyıl}$ trend değerinin ise göreceli olarak daha büyük bir değer olduğu görülmektedir. 1979 öncesi dönem ilave edilerek elde edilen trend değeri beklenenin üstünde bir değerdir. Bu farklılık 1979 öncesindeki verilerde uydu gözlemlerinin dikkate alınmaması ile açıklanmaktadır.

Bu çalışmada sayısal model verilerinin üretiminde yeni bir dönemin başladığı ifade edilen 1979 yılı sonrası veriler esas alınarak 1979-2018 yıllarını kapsayan ve önceki çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda Ege Denizi'ni en iyi şekilde karakterize edebilecek Şekil-5'te mevkii bilgileri verilen yerlerdeki yüksek çözünürlüklü ECMWF Era Interim günlük deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, yüzey atmosfer basıncı, rüzgâr şiddeti-yönü verileri kullanılmıştır. Noktaların belirlenmesinde geçmiş dönemde ve bu çalışma süresince elde edilen sonuçlardan faydalanılmıştır. Kuzeydeki noktaların belirlenmesinde kuzeybatı mevkii için Karadeniz sularının Yunanistan sahilleri üzerinde görülmesi (Kourafalou ve Barbopoulos, 2003), kuzeydoğu mevkii için upwelling'in beklendiği Bababurnu yakınları (Zervoudaki ve diğerleri, 1999; Androulidakis ve diğerleri, 2017), orta mevkii ise hem kuzey hemde güney arasındaki etkilerin gözlemlendiği ara bir nokta olması (Vervatis ve diğerleri, 2013), güneybatı için İyon denizi (Hopkins, 1978), güneydoğu için ise Doğu Akdeniz etkisinin ön planda olması (Georgiou ve diğerleri, 2015) bu noktaların seçilmesinde etmen olmuştur.

Yapılan analizlerin noktasal olarak yapılmasının bir diğer katkısı da zaman serisi analizleri için kolaylıklar sunmasıdır.

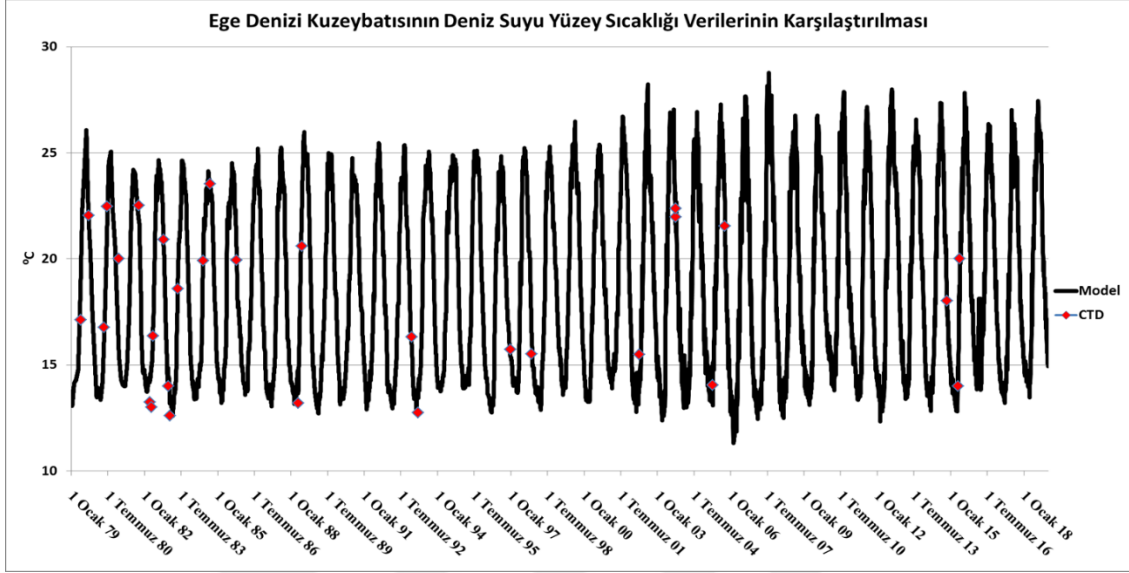
Akdeniz'e yönelik olarak 8 farklı mevkideki gerçek hava sıcaklığı verilerinin değişimleri üzerine yapılan çalışmada farklı mevkiler için farklı trendler bulunması bu çalışmamızda uyguladığımız noktasal analizin önemini ve doğruluğunu desteklemektedir (Hasanean, 2001). Ayrıca Ege Denizi'ne ait kuzey (Saros Körfezi), orta (İzmir Körfezi), güney (Gökova Körfezi) bölgelere ait çalışmalar farklı karakteristiğin söz konusu olduğunu göstermiştir (Eronat ve Sayın, 2014). Bir başka ifade ile geçmişteki yapılan trend analizlerinde tüm Ege Denizi için genel bir trend değerinden bahsetmenin detaylı sonuç elde etme hususunda engel teşkil edecektir. Bulgular kısmında elde edilen değerler Ege Denizi'nin kuzey-güney ve batı-doğu ekseninde farklı sonuçlar sunmaktadır.



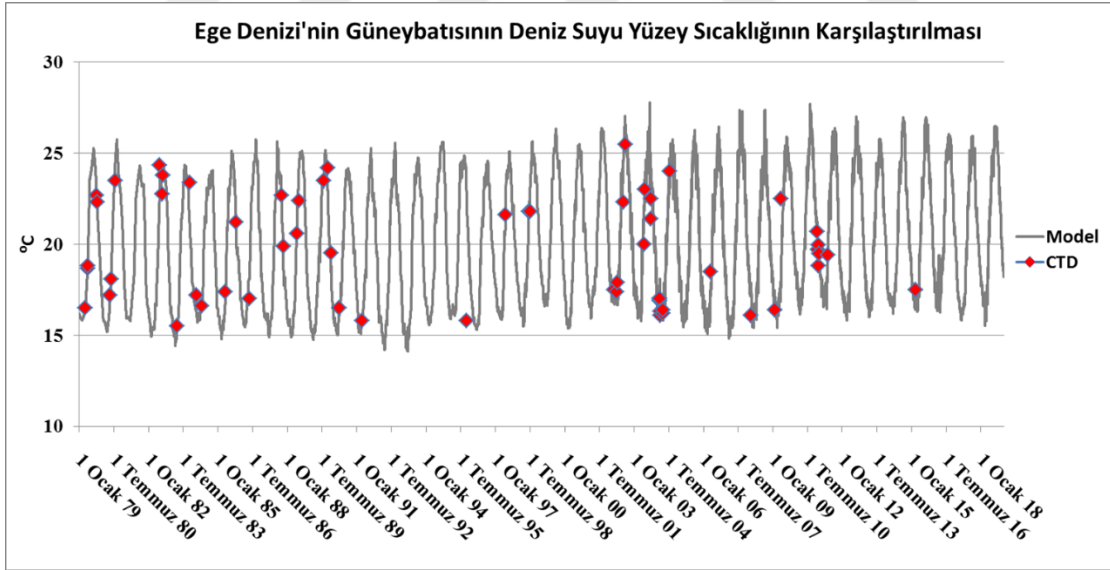
Şekil 5. Noktasal analizlerin yapıldığı mevkiler.

Farklı mevkilere ait ECMWF yeniden analiz edilmiş verisi ve gerçek deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri karşılaştırıldığında aralarında uyumluluğun söz konusu olduğu, Şekil 6-7'de yapılan karşılaştırmalarda da görüldüğü gibi genel olarak ECMWF yeniden analiz edilmiş verilerinin gerçek verilere benzer değerler aldığı ve benzer bir paterni izlediği anlaşılmaktadır. Gerçek verilerin sayısının azlığı nedeni ile görsel üzerinden yapılan plotlamalar üzerinden

karşılaştırma yapılabilmiştir. Zaman serisi üzerinden iki farklı nokta için yapılan karşılaştırmada yeniden analiz edilmiş verisi ve gerçek veriler arasında uyumluluğun belirgin olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6. Ege Denizi kuzeybatısında gerçek-model verilerinin noktasal karşılaştırılması.



Şekil 7. Ege Denizi güneybatısında gerçek-model verilerinin noktasal karşılaştırılması.

ERA Interim yeniden analiz edilmiş verilerinin güvenilirliğinin testi için gözlem/gerçek verileri ile karşılaştırılmasına yönelik yapılan birçok çalışmada aralarında uyumluluğun söz konusu olduğu tespit edilmiştir (Bengston ve diğerleri, 2004; Berrisford ve diğerleri, 2011; Shaltout ve diğerleri, 2013). Geçmişte ve günümüzde sayısal model verilerinin iklimsel

analizler için kullanılıp kullanılmayacağına yönelik bazı tereddütler oluşmuş ve bu nedenle bu hususta bazı çalışmalar yapılmıştır. Weisse ve diğerleri (2010)'nin "Marine Climate and Change Storms, Wind Waves and Storm Surges" isimli kitabında "Can climate trends be estimated from reanalysis data?" isimli başlık altında gerçek veriler ile model verilerinin karşılaştırılması ile elde edilen olumlu neticelere istinaden yeniden analiz edilmiş model verilerinin trend analizlerinde kullanılabilecek bir veri seti olduğu anlatılmaktadır. Bu çalışmada yapılan noktasal karşılaştırma ile de yeniden analiz edilmiş verilerinin güvenilirliği ortaya konmaya çalışılmıştır.

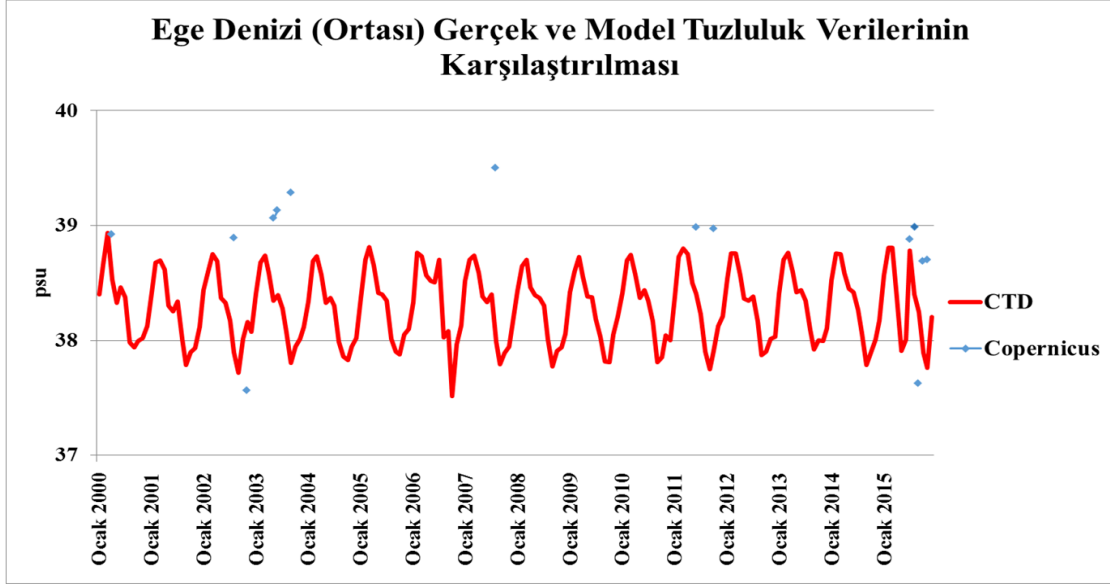
ECMWF Era Interim verilerinin dışında aynı mevkilerde 2000-2016 yılları arasındaki döneme ait "Copernicus Marine Environment Monitoring Service"ın Global SSS/SSD L4 modelinin 0.25° çözünürlükteki yüzey tuzluluğu verileri temin edilmiştir. Söz konusu deniz suyu yüzey tuzluluğu verilerinin güvenilirliğinin test edilmesi maksadıyla gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Copernicus'dan elde edilen 2000-2016 yıllarına ait yüzey tuzluluk verileri ile gerçek veriler orta ile güneydoğu noktaları için karşılaştırıldığında genel olarak gerçek verilerin orta için ~ 0.5 psu, güneydoğu için ~ 0.3 psu daha fazla değerler aldığı tespit edilmiştir.

Tuzluluk verileri hususunda Copernicus'un deniz suyu yüzey sıcaklığı verisi için yapılan analizlerde dikkate alındığında göreceli olarak daha fazla farklılıklar arz ettiği görülmektedir. Başka bir ifade ile Şekil 8-9'da gösterildiği üzere Copernicus'un tuzluluk değerlerinin gerçek veri olmadığında kullanılabilecek olması ile birlikte güvenilirliğinin deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerine nazaran daha düşük olduğu söylenebilir. Ancak verilerin izlediği patenin bölgenin dinamiklerine uygun olduğunu görülmektedir: fakat hassasiyet açısından eksiklikleri mevcut olduğu değerlendirilmektedir.

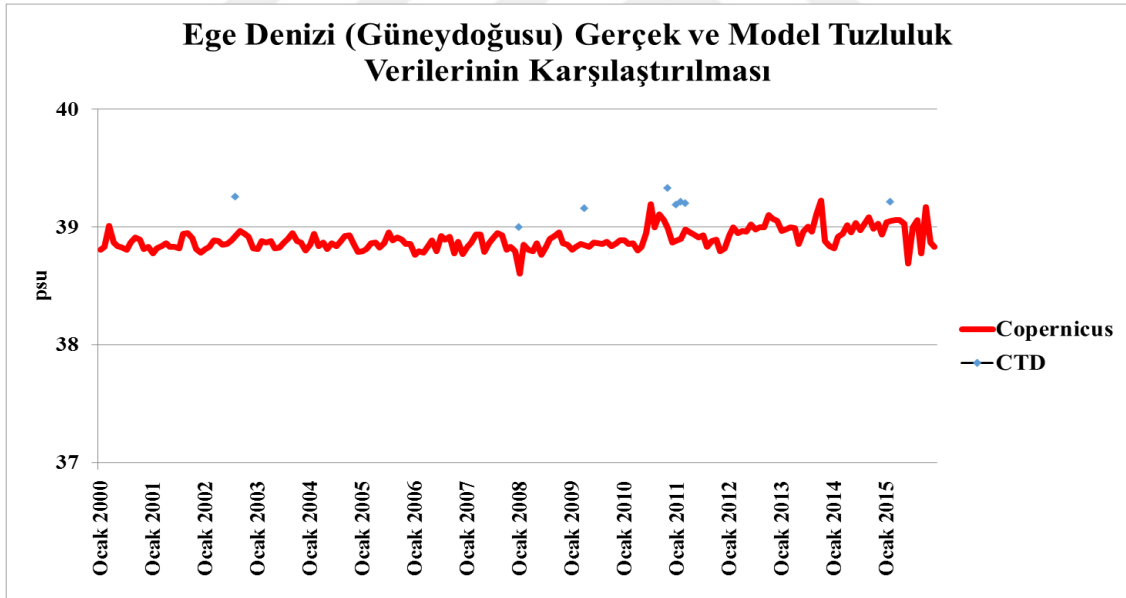
Güneydoğu noktasındaki yüzey tuzluluğun değişiminin az olduğu, Ege Denizi'nin orta istasyonundaki mevkii için ise daha değişken bir durumun söz konusu olduğu ve yaklaşık 1 psu'luk farklılığın olduğu anlaşılmıştır. Ege Denizi'nin ortası upwelling'e ilaveten hem kuzeyden gelen az tuzlu Karadeniz, hemde güneyden gelen göreceli daha tuzlu Akdeniz suları dikkate alındığında böyle bir değişim beklenen bir durum olduğu söylenebilir.

Upwelling'in tespiti maksadıyla Şekil-10'da mevkii bilgileri verilen ve $35-41^\circ\text{K}$ enlemleri ile $22-28^\circ\text{D}$ boylamları arasındaki sahaya ait 0.75° çözünürlükteki günlük deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgar şiddeti ve yönü verileri kullanılmıştır. Rüzgâr yönü ve şiddeti

verileri deniz yüzeyinden 10m yüksekliğe kadar olan sahaya ait u ile v bileşenlerinin dönüştürülmesi ile elde edilmiştir.

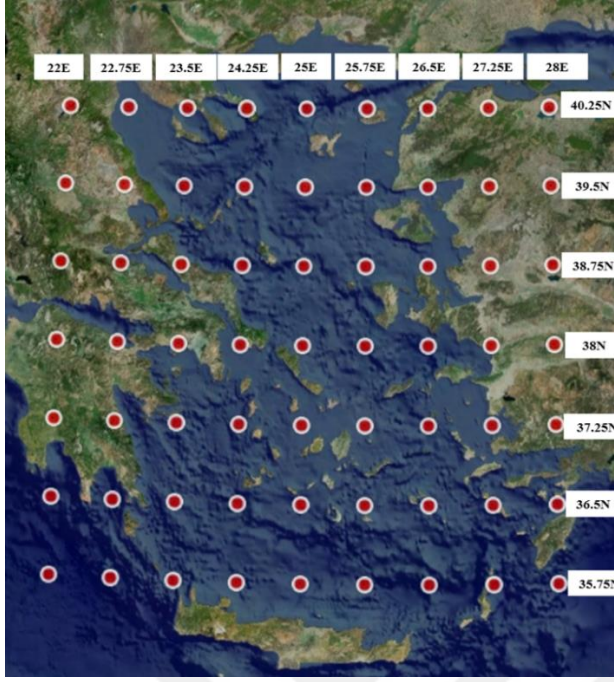


Şekil 8. Ege Denizi ortası için gerçek-model tuzluluk verilerinin karşılaştırılması.



Şekil 9. Ege Denizi güneydoğusu için gerçek-model tuzluluk verilerinin karşılaştırılması.

Sayısal model verilerinin güvenilirliğinin tespiti için yukarıdaki verilere ilaveten Coriolis, Medar ile SHOD Başkanlığı envanterinde yer alan değişken zaman ve mevkilere ait gerçek deniz suyu sıcaklık ve tuzluluk verileri kullanılmıştır. Bu verilerin kaynağı ilgili çizimde belirtilmiştir.



Şekil 10. Upwelling analizi maksadıyla kullanılan verilerin mevkii bilgileri.

2.2. Metodlar

2.2.1. Trend analizi

Meteorolojik ve oşinografik verinin zamana göre değişimi grafikler üzerinden tespit edilebilir; fakat istatistiksel metodlar kullanarak verinin trendinin gösterilmesi daha güvenilir bir yöntemdir. Trend analizi analizciler tarafından geçmiş verinin kıymetlendirilmesi suretiyle gelecek değerlere yönelik tahminde bulunulması için basit ve iyi bir araçtır. Bu çalışmada hem parametrik (Lineer) hemde parametrik olmayan (Mann Kendall test %5 güven aralığında) metodlar uygulanmıştır.

Lineer trend geçmiş veri setini kullanarak $y=ax+b$ fonksiyonunu ortaya çıkarmakta ve verinin eğimini/davranışını ortaya çıkarmaktadır. Bu denklemde “y” tahmini, “a” eğimi, “x” ise zamanı ifade etmektedir. Bu yöntemde anlamlı sonuç elde edebilmek için en az 12 adet örneklemenin bulunması gerekmektedir. Lineer trend, verilerin birbirinden bağımsız ve normal dağılıma sahip olduğunu varsayan istatistiksel bir tekniktir. Pozitif eğilim artma eğilimini, negatif ise azalma eğilimini ifade eder. Bu çalışmada lineer trend analizinde günlük veri seti kullanılarak günlük tüm veri seti, ay ay seçilerek aylık, mevsimsel olarak seçilerek mevsimsel, yıllık ortalama ve aylık ortalama veri seti üzerinden farklı trendler etüt edilmiştir. Farklı şekilde yapılan analizler ile oldukça yoğun olan verideki değişimlerin açık ve kolay anlaşılır bir şekilde

ortaya konulması hedeflenmiştir. Ayrıca bu sayede farklı bir perspektif ile analizlerin yapılması sağlanmıştır.

Bir diğer yöntem olan Mann Kendall testi ise parametrik olmayan ve geçmiş veri setinin artma/azalmasının monoton olup olmadığını göstermek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde normal dağılım şartı yoktur ve tüm dağılımlar için kullanılabilir. Bu yöntemde en az 10 örneklemin kullanılması gerekmele birlikte daha çok veri daha doğru sonucun ortaya çıkarılmasına katkı sağlamaktadır. En temel ifade ile Mann Kendall testi bir önceki ve bir sonraki veri arasındaki farkın hesaplanması suretiyle hesaplama yapmaktadır. Zaman serisi “ $x_1, \dots, x_n$ ” olan bir veri seti için Mann Kendall denklemi aşağıda sunulmuştur. Eğer z değeri 0’dan büyükse bu artma eğilimini, eğer tam tersi durum varsa azalma söz konusudur.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3.1)$$

$$z = \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (3.2)$$

Sıfır hipotezi olarak “Trend yoktur”, diğer hipotez olarak “Artma veya azalma trendi vardır” kabul edilmektedir. Mann Kendall testi uygulanarak Lineer Trend analizleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

2.2.2. Upwelling indeksi (UI)

Deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr (deniz yüzeyinde oluşturduğu sürtünme kuvveti üzerinden) upwelling’in etkinliğinin tespiti maksadıyla kullanılan iki kritik veridir.

Bakun (1973;1975), Bakun ve Nelson (1991), Bakun ve Agostini (2001) ve Gomes-Gesteira ve diğerleri (2006;2008) tarafından yapılan çalışmalarda sahilde meydana gelen upwelling’in gücünü tespit etmek maksadıyla rüzgâr verisinden faydalanılmıştır. Bu çalışmaların yanında Ekman transport ile Ekman pumping üzerine Kaliforniya sahilinde yapılan çalışma ile de upwelling’in etkinliği ortaya konulmaya çalışılmıştır (Pickett ve Paduan, 2003). Rüzgâr parametresi üzerinden elde edilen indeks sahilin şeklinden dolayı Ekman taşınımının yönünün değişmesi ile hesaplanmaktadır. Pozitif değerler sahilden öteye doğru bir taşınımı başka bir ifade ile upwelling’i işaret etmekte iken, negatif değerler ise sahile doğru bir taşınımın olduğunu ifade etmektedir. UI (rüzgâr) basit bir ifade ile deniz yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti kaynaklı Ekman taşınımının tahmin edilmesidir (Schwing ve diğerleri, 1996). Bu yöntem upwelling’in yoğunluğunun ortaya konulmasını sağlamaktadır. UI (rüzgâr), rüzgâr

nedeniyle deniz yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetinden (τ_x, τ_y) Ekman Taşınımının (Q_x, Q_y) elde edilmesidir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Q_x = \frac{\tau_y}{\rho_w f} \quad (3.3)$$

$$Q_y = \frac{-\tau_x}{\rho_w f} \quad (3.4)$$

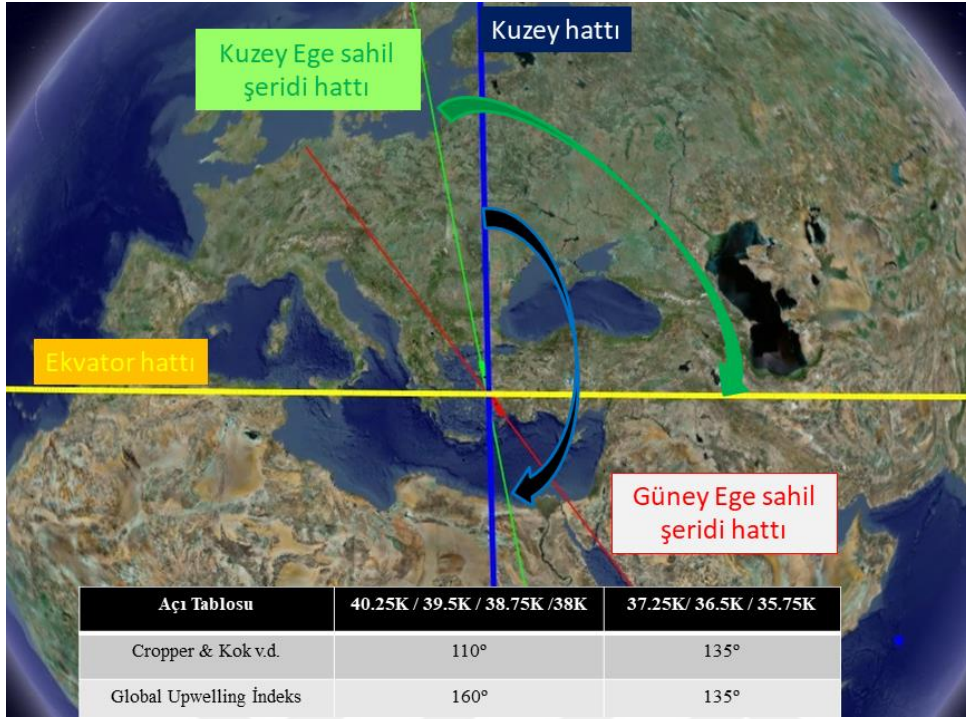
$$UI(rüzgar) = -\sin\left(a - \frac{\pi}{2}\right) Q_x + \cos\left(a - \frac{\pi}{2}\right) Q_y \quad (3.5) \text{ (Cropper ve diğerleri, 2014)}$$

$$UI(rüzgar) = -(\sin\left(a - \frac{\pi}{2}\right) Q_y + \cos\left(a - \frac{\pi}{2}\right) Q_x) \quad (3.6) \text{ (Kok P.H.ve diğerleri, 2017)}$$

$$UI(rüzgar) = \sin(360 - a) Q_y + \cos(360 - a) Q_x \quad (3.7) \text{ (Global Upwell. Indeks-NOAA)}$$

Denklemlerde doğu-batı/kuzey-güney Ekman taşınımı Q_x/Q_y ile sembolize edilmektedir. Açılar ise herbir denklem için farklı şekilde hesaplanmaktadır. Cropper ve diğerleri (2014), Kok P.H. ve diğerleri (2017)'nin denklemlerinde “a” açısı sahil şeridi ile ekvator hatları arasındaki açıyı (kara tarafına doğru), global upwelling indeksi için ise “a” açısı sahil hattı ile kuzeyi gösteren vektör hattı arasındaki (kara tarafında doğru) açıyı ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan açılar Şekil 11’de gösterilmiştir. Ege sahil şeridinin girintili çıkıntılı olmasından ötürü genel dünya üzerindeki konumuna istinaden hatlar çizilmesi suretiyle kıymetlendirme yapılmıştır. Bölgenin yapısı nedeniyle İzmir’in kuzeyi için ayrı, güneyi için ayrı bir açı kullanılmıştır. Şekil 11’de olduğu gibi açık denizlerdekinden daha kompleks sahil şeridine sahip olması nedeniyle kabul yapılarak yapılan açı hesaplamaları genel bir hattı göstermektedir, yerel ölçekte yapılacak kıymetlendirmelerde daha farklı açılar kullanılabilir. Tüm Ege Denizi üzerine bir değerlendirme yapıldığından genel iki belirgin sahil hattı çizilerek (İzmir’in bulunduğu enleminin kuzeyi-güneyi) açılar hesaplanmıştır. Pozitif UI değeri güçlü upwelling’i, negatif UI ise downwelling’i ifade etmektedir.

Batı Afrika, Kaliforniya, Madagaskar, Malezya, İberya yarımadası gibi bölgelerin sahilleri ile Ege Denizi’nin girintili-çıkıntılı sahil şeridi ve yapısı (çok sayıda içerdiği adalar) karşılaştırıldığında, Ege Denizi’nin daha zor ve karmaşık bir yapıya sahip deniz olduğu açık şekilde görülmektedir.

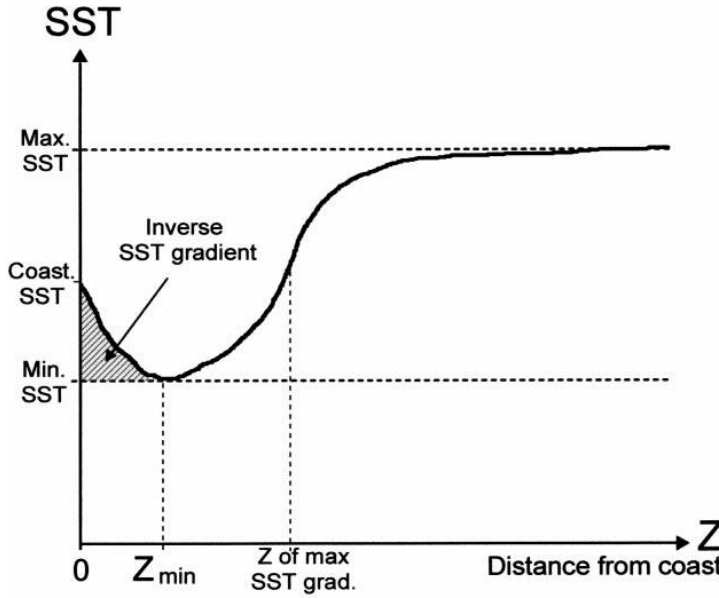


Şekil 11. UI(Rüzgâr) için kullanılan açılar.

UI'nin hesaplanmasında ikinci metod olan deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerinden yapılan hesaplamada, UI sahile dik ekseninde deniz suyu yüzey sıcaklığının maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkların alınması ile hesaplanmaktadır (Santos ve diğerleri, 2005; Von Schuckmann ve diğerleri, 2016). Yüksek UI değeri güçlü upwelling olayını ifade etmektedir. Upwelling yoğunluğunu tespit edebilmek maksadıyla sahil hattına dik ekseninde kıta sahanlığı içindeki deniz suyu yüzey sıcaklığı farkı dikkate alınmaktadır. Bu noktada en zorlayıcı husus deniz suyu yüzey sıcaklığı için (minimum, maksimum) referans alınacak noktaların belirlenebilmesidir. Deniz suyu yüzey sıcaklığının minimum olduğu nokta upwelling olduğu bilinen/tahmin edilen dik hattaki en düşük değer iken, deniz suyu yüzey sıcaklığının maksimum olduğu nokta upwelling olayının beklenmediği nokta olarak ifade edilebilir. Deniz suyu yüzey sıcaklığı için referans olarak kabul edilecek mevkiiler açık sular olan Atlantik & Pasifik Okyanusları için kolaylıkla belirlenebilir iken denizler için bu referans noktalarının belirlenmesi mesafe kısıtlaması (5° enlem farkından az olması) nedeniyle zordur. Bu nedenle bölgenin dinamiklerine uygun hareket edilmesi gerekmektedir.

Bazı çalışmalar sahilden 400-1000km ötede olan yerleri maksimum deniz suyu sıcaklığı referans mevki olarak kabul etmiştir (Camp ve diğerleri, 1991; Nykjær ve Camp, 1994;

Lathuili`ere ve diğeri, 2008). Tipik sahil hattı boyunca deniz suyu sıcaklığının değişimi Şekil-12’de gösterilmiştir. Tipik deniz suyu yüzey sıcaklığının sahilden uzaklaştıkça nasıl değiştiğini ortaya koyan Şekil-12’deki çalışma Ege Denizi üzerinde verisi temin edilen 7 enlem içinde uygulanarak boylama göre değişimi incelenerek elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde açıklanmıştır. Ayrıca açık denizlerde 400-1000km mesadaki deniz suyu yüzey sıcaklığı ile upwelling sahaları arasındaki verileri esas alarak hesaplanan upwelling indeks hesaplamalarının bu çalışmada kullanılması mümkün değildir: çünkü Ege Denizi’nin maksimum genişliği ~400km’dir. Bu nedenle UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) hesaplamasında Ege Denizi için *SST_{batı}* & *SST_{doğu}* terminolojisi bu çalışmada kullanılacaktır.



Şekil 12. Deniz suyu yüzey sıcaklığının sahile dik eksenindeki profili (Demarq ve Faure, 2000).

Deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerinden upwelling’in tanımlanması geniş bir kullanım alanına sahiptir (Nykjær ve Camp, 1994; Santos ve diğeri, 2012; Benazzouz ve diğeri, 2014). Her enlem için analizler referans olarak kabul edilen noktalar üzerinden yapılmıştır. Referans olarak kabul edilen mevki harita üzerinde bulgular bölümünde etraflıca gösterilmiştir.

$$U(SST) = SST_w - SST_e \quad (3.8)$$

Beklendiği gibi upwelling’in tanımlanması ve arkasındaki mekanizmaları direkt ve basit bir şekilde incelenmesi özellikle Ege Denizi’nin bölünmüş basenleri, meteorolojik olaylara hızlı tepkimesi nedenleriyle kolay bir işlem değildir. Bu çalışmada açık denizlerde

yapılan çalışmalardan farklı olarak Ege Denizi’nde kuzeyde doğu-batı ekseninde görülen yüzey suyu tuzluluk değerlerinin farklılığı nedeniyle yüzey suyu tuzluluk parametresi üzerine de analizler yapılmıştır.

Yukarıda açıklamaları yapılan ve daha önceden açık denizlerde uygulaması olan (Pasifik Okyanusu-Kaliforniya sahili, Atlantik Okyanusu-İberya yarımadası sahilleri vs.) upwelling indeksi hesaplamaları, açık deniz olmayan farklı özellikleri (dar, diğer denizlerde etkileşimli, kompleks sahil şeridi vs) içinde barındıran Ege Denizi’ne uygulanarak bölge için uygulanabilirliği/doğruluğu test edilmek istenmiştir.

2.2.3. Korelasyon katsayısı

Korelasyon katsayısı ile iki değişken arasındaki ilişkinin var olup olmadığı tespit edilmektedir. Elde edilen “r” değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Eğer “r” değeri +1 ise iki değişken arasında mükemmel bir uyum, eğer -1 ise zıt bir ilişki söz konusudur. Söz konusu değer 0.8’den büyükse iki değişken arasında çok yüksek düzeyde uyumun varlığından bahsedilebilir. Genel olarak 0.5’in altındaki değerler için ise zayıf bir ilişki vardır. Karl Pearson tarafından geliştirildiği için “Pearson korelasyonu” olarak da anılmaktadır.

2.2.4. Okyanus veri görselleştirme (Ocean Data View-ODV)’nin kullanılması

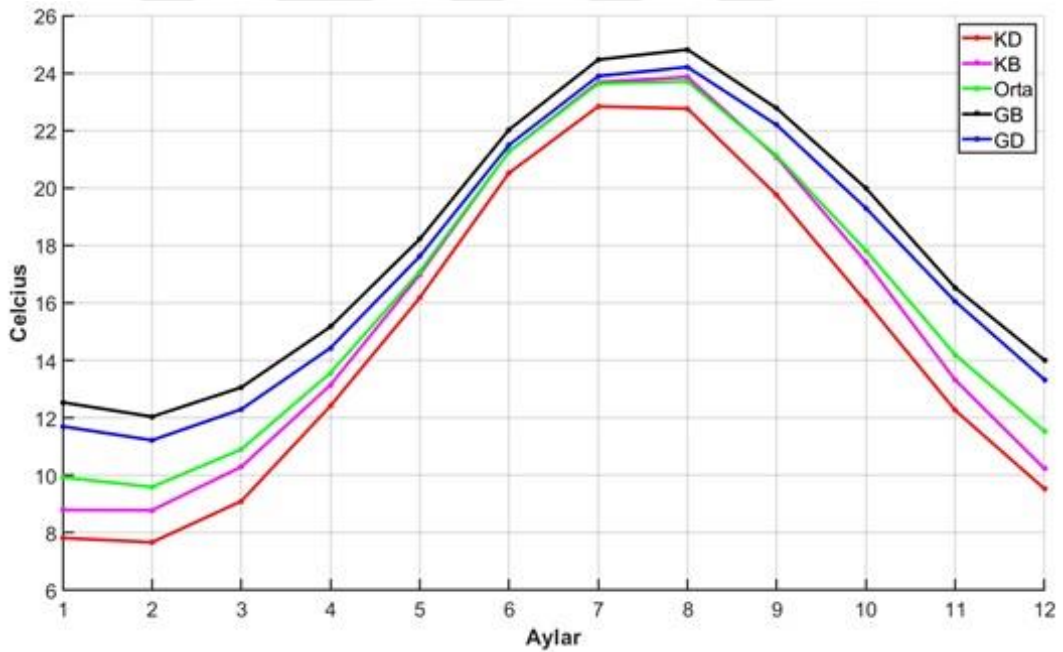
ODV programı ile T-S diyagramları, özellikle deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin yatay olarak harita üzerinde gösterilmesi ile su kütleleri ile yüzeydeki değişimler aylara sâri ve mevkilere yönelik olarak ortaya konulmuştur. ODV yazılımına ilave olarak MATLAB, Oriana, Panoply ile Microsoft Excell programlarından da faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi

3.1.1. Hava sıcaklığı verilerinin zamansal ve mekânsal analizi

Belirlenen beş mevkiide hava sıcaklığı verileri için yapılan noktasal analizlerinde hava sıcaklığının yazın arttığı, kışın azaldığı, hem enlemlere hemde boylamlara sâri değişimlerin meydana geldiği görülmüştür. Kuzeybatı noktası ile kuzeydoğu noktası aynı enlemde yer almasına karşın hava sıcaklığı değerlerinin farklı olduğu, Ege Denizi'nin ortasındaki mevki ile kuzeydoğu arasındaki farklılığın göreceli olarak kuzeybatı-kuzeydoğu arasındaki farklılığa nazaran daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu değişimler her mevki için aylık ortalamaların elde edilmesi ile hazırlanarak Şekil-13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Aylık ortalama hava sıcaklığı verilerinin aylara sâri değişimi.

Ege Denizi'nin kuzeybatısındaki hava sıcaklığı değerlerinin 25-30 °C değerini alma yüzdesinin en yüksek orana (%11) sahip olduğu, en düşük hava sıcaklığının ise (<5°C) %14 ile kuzeydoğu mevkiinde olduğu görülmüştür. Ege Denizi'nin kuzeyinin genel olarak diğer bölgelere nazaran daha yüksek oranda (~%18) 10 °C'nin altında hava sıcaklığı değerlerine

sahip olduğu ve tüm noktalarda verilerin büyük bir kısmının 10-25°C arası değerler aldığı görülmüştür.

3.1.2. Hava sıcaklığı verilerinin trend analizi

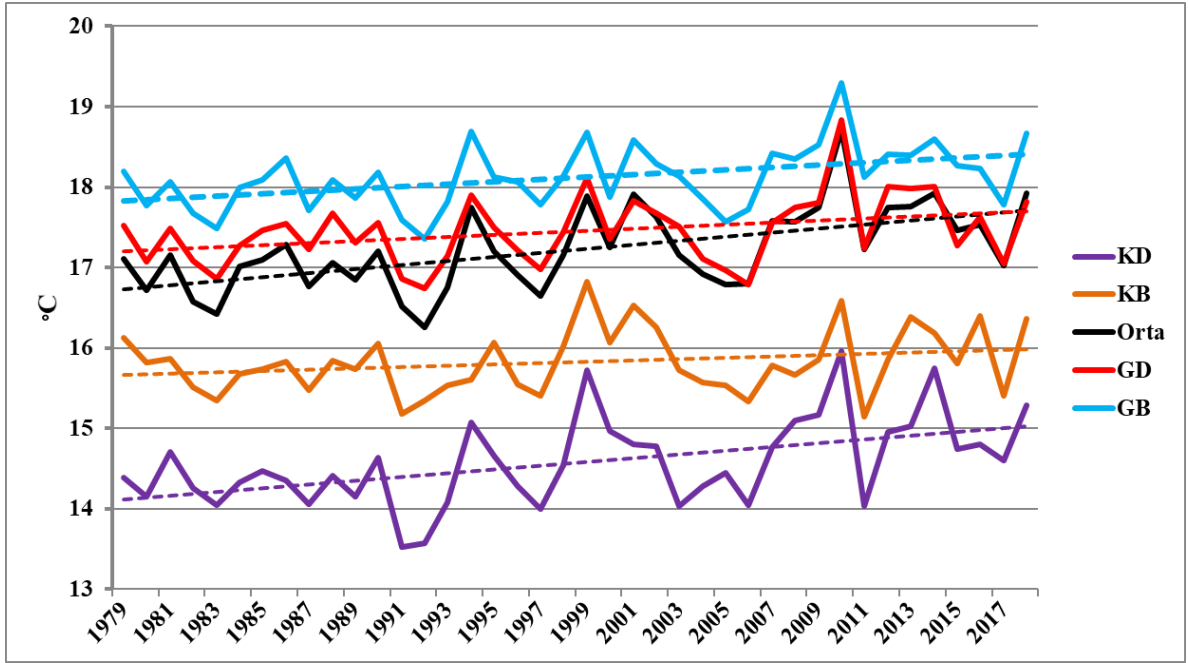
Tüm günlük veri seti üzerinden yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo-1’de, yıllık ortalama verilerine ilişkin trend analizleri Şekil 14’te, aylık trend oranları üzerinden hazırlanan görsel ise Şekil 15’te sunulmuştur.

Tablo 1. Günlük hava sıcaklığı verilerinin trend analizi (1979-2018).

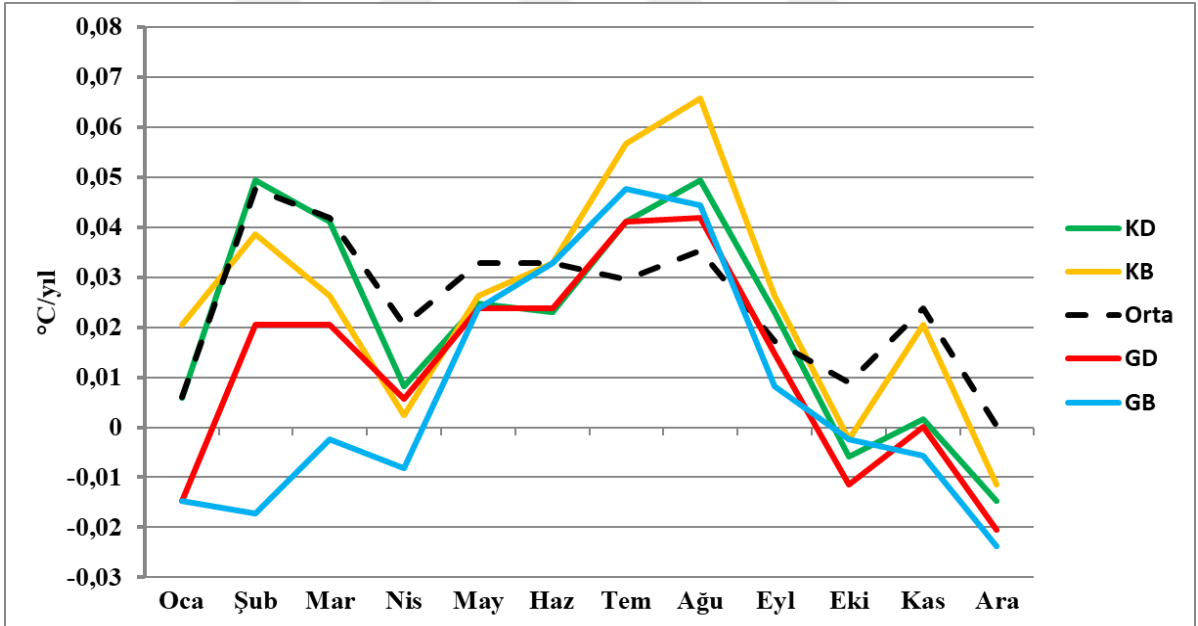
Mevkii	Lineer Trend Analizi		Mann Kendall Testi	
	Lineer Trend Fonksiyonu	Trend Oranı	Monotonik trend var mı? p<0.05	“z” değeri
KD	$y=0,00006x+14.11$	+0,0225 °C/yr	Evet	6.37
KB	$y=0,00002x+15.65$	+0,0084 °C/yr	Evet	6.48
Orta	$y=0,00007x +16.70$	+0,0251 °C/yr	Evet	7.71
GD	$y=0,00003x +17.18$	+ 0.0129 °C/yr	Evet	4.9
GB	$y=0,00004x +17.82$	+ 0.0147 °C/yr	Evet	5.51

Yıllık ortalama veriler ile günlük veri seti için yapılan analizler incelendiğinde her ikisinin de pozitif trend gösterdiği görülmüştür (Şekil 14). Ayrıca Tablo-1’de gösterildiği üzere iki farklı analizde de artma eğiliminin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ancak detaylı aylık analiz yapıldığında, farklı aylar için farklı mevkilerde farklı sonuçlar görülmüştür. Güneybatı (Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim (neredeyse düz)) & güneydoğu (Ocak, Ekim (neredeyse düz), Kasım, Aralık) mevkilerinde özellikle kış mevsiminde azalma eğilimi vardır. Diğer sezonlarda artış eğilimi gözlenmiştir ve yaz mevsiminde tüm mevkilerde güçlü artış eğilimi (0.036 °C/yıl’ın üzeri) görülmüştür (Şekil 15). En yüksek artış oranı kuzeybatı mevkisinde Ağustos ayında 0.065 °C/yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yıllık ortalama, mevsimsel, aylık analizlerde tüm mevkilerde değişimler benzer bir paterni izlemektedir.

Aylık ortalama hava sıcaklığı trendine ilişkin sonuçlar genel olarak 0.01825- 0.025 °C arası oranlarla pozitif yönde bir eğilim sergilemektedir. Elde ettiğimiz aylık trend oranları geçmiş çalışmalar ile uyumluluk arz etmektedir (Frich ve diğerleri, 2002; Domoskos ve diğerleri, 2003; Good ve diğerleri 2008); fakat farklı mevkiler için farklı trend oranlarının olduğu açıkça görülmüştür.



Şekil 14. Yıllık ortalama hava sıcaklığı verilerinin değişimi.



Şekil 15. Hava sıcaklığı verilerinin aylık trend oranı.

Giriş kısmında EMT'nin başlangıç yılı olarak ifade edilen 1991-93 yıllarında bu çalışmada da hava sıcaklığında belirgin olarak bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. 2000'li yılların başlarında ise hava sıcaklığında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. EMT'nin rahatladığı süreç olarak ifade edilen bu döneme yönelik elde edilen bu sonuç Eronat ve Sayın

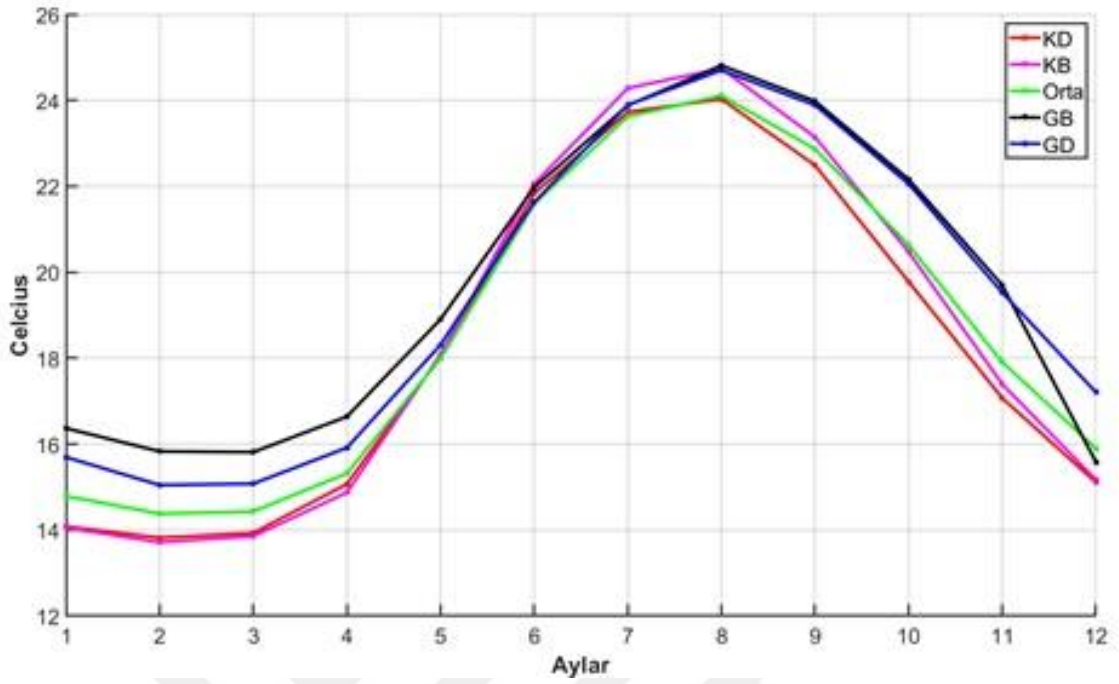
(2014)'ın çalışması ile uyumludur. Eronat ve Sayın (2018) tarafından İzmir Körfezi'nde hava sıcaklığı üzerine 1991-2017 yılları için yapılan çalışmada da 1991-1993 ile 2003-2007 yıllarında hava sıcaklığının düşük, 1997-2002 yılları için ise yüksek olduğu belirtilmiştir. EMT için yapılan analizde ise 1992-1993 yıllarının EMT (İyon Denizi'nde güçlü antisiklonik döngü), 2000-2001 yıllarının EMT görülmediği (İyon Denizi'nde siklonik döngü), 2007-2009 yıllarının EMT'ye benzer olayların (İyon Denizi'nde antisiklonik döngü) meydana geldiği anlaşılmaktadır (Eronat ve Sayın, 2018). Hava sıcaklığı ile EMT arasındaki güçlü ilişki bu karşılaştırmalardan anlaşılabilir. 1979-2018 yıllarını kapsayan süreç için yaptığımız analizde kış mevsiminin sonbahar mevsimi ile birlikte hava sıcaklığı trendinin diğer mevsimlere nazaran daha az artma eğiliminde olduğu ve hava sıcaklığının 1991-1993, 2003-2006 yılları arasında düşük, 1998-2002 yıllarında ise yüksek olduğu görülmüştür. Elde ettiğimiz değerler önceki çalışmalar ile benzerliklerin mevcut olduğunu ortaya koymaktadır.

3.2. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin analizi

3.2.1. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin zamansal ve mekânsal analizi

Genel olarak aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri incelendiğinde Şekil 16'da gösterildiği üzere deniz suyu yüzey sıcaklığının yazın arttığı, kışın ise azaldığı görülmüştür. Kuzeydoğusu ve kuzeybatısında aynı enlemdeki iki noktada deniz suyu yüzey sıcaklığı farklılık arz etmekle birlikte, kuzeybatı mevkisinde kuzeydoğu mevkisine göre yazın daha yüksek değerler almaktadır. Güneybatı ile güneydoğu içinde farklı etkiler altında olmaları nedeniyle özellikle kış mevsiminde farklılıklar söz konusudur. Güneybatının genel olarak diğer mevkilere göre daha sıcak değere sahip olduğu görülmüştür. Orta mevki ise kuzey ile güney arasında bir yerde bulunması nedeniyle geçiş noktası olmanın özelliklerini yansıtmaktadır. Etezyen rüzgarlarının izlediği rota üzerindeki (KD, Orta, GD) mevkilerin deniz suyu yüzey sıcaklığı daha soğuk değerlere haizdir.

Ege Denizi'nin kuzeybatısının (%14) göreceli olarak kuzeydoğusuna nazaran (%2,3) 25-30 °C arası değerler alma yüzdesinin belirgin şekilde daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Hem kuzey hemde güney mevkilerinde aynı enlemlerde olmalarına karşın doğu-batı ekseninde farklı oranların mevcudiyeti müşahade edilmiştir. Güney Ege'nin doğusu ile batısının yüzdelilerinin benzer olduğu, en soğuk bölgenin kuzeydoğu noktası, en sıcak bölgenin ise güney bölgeleri olduğu açıkça görülebilmektedir. Ayrıca deniz suyu yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasında bir aylık farklılık/gecikme mevcuttur.



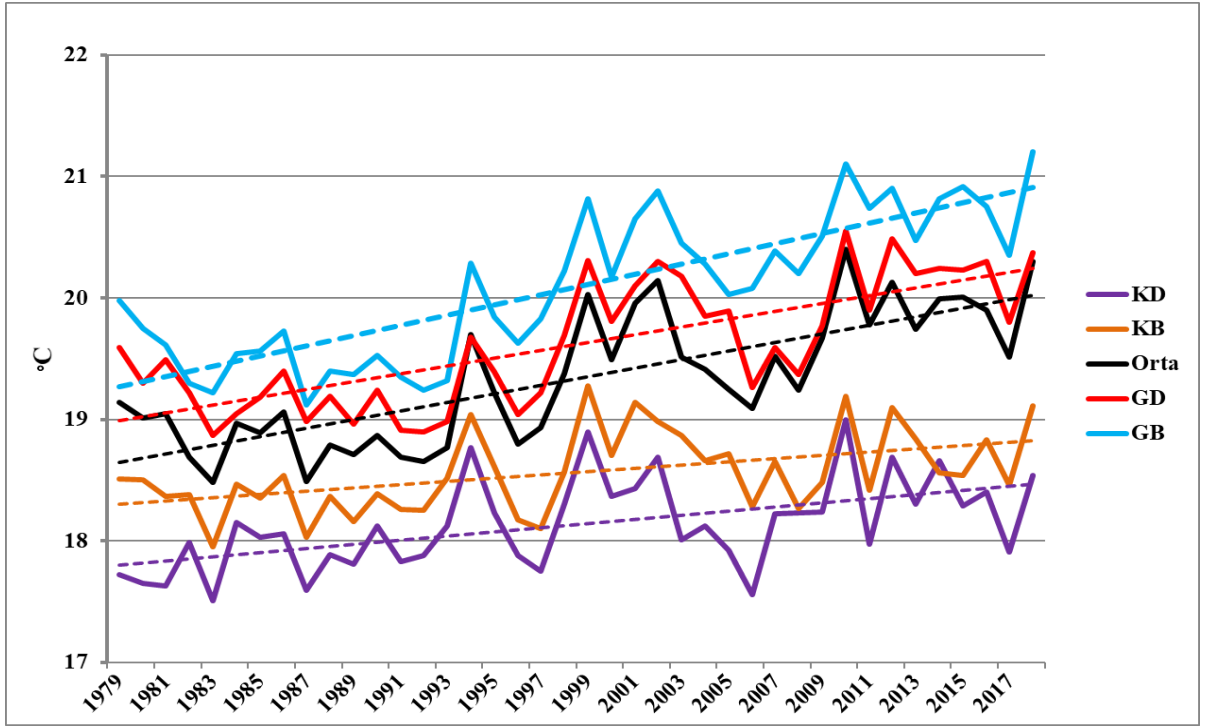
Şekil 16. Aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin aylara sâri değişimi.

3.2.2. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin trend analizi

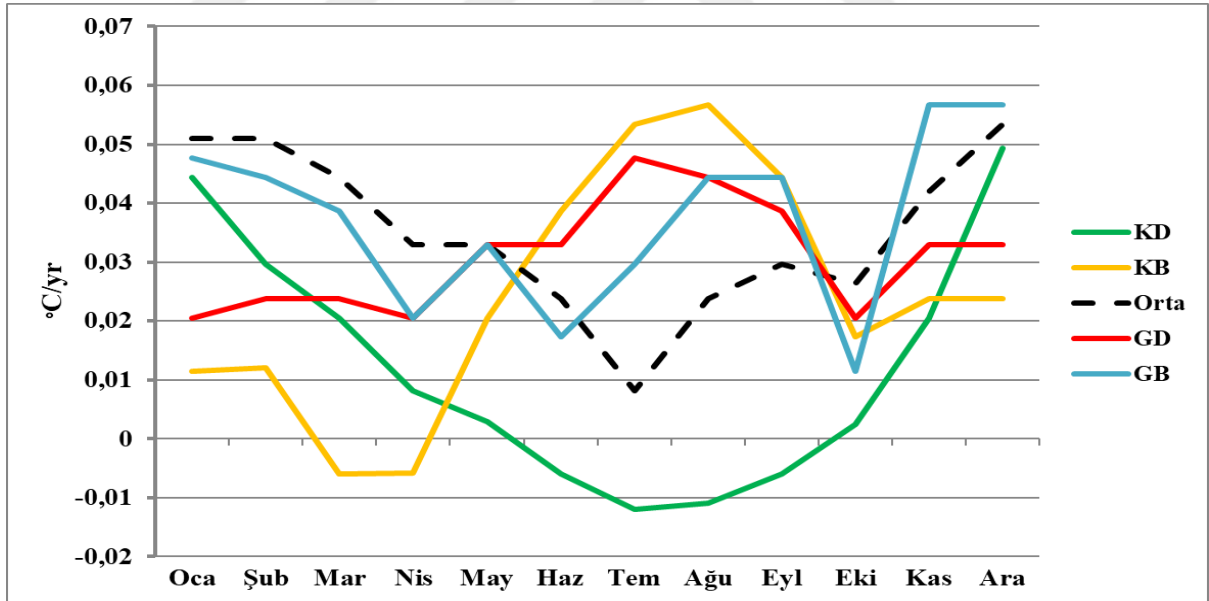
Tüm günlük veri seti üzerinden yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo-2’de, yıllık ortalama veriler üzerinden hazırlanan grafik Şekil 17’de, aylık trend oranları üzerinden hazırlanan görsellere istinaden yapılan analizler ise Şekil 18’de sunulmuştur.

Tablo 2. Günlük deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin trend analizi (1979-2018).

Mevkii	Lineer Trend Analizi		Mann Kendall Testi	
	Lineer Trend Fonksiyonu	Trend Oranı	Monotonik trend var mı? $p < 0.05$	“z” değeri
KD	$y = 0,00004x + 17.78$	+ 0.017 °C/yıl	Evet	8.15
KB	$y = 0,00003x + 18.29$	+0,013 °C/yıl	Evet	8.19
Orta	$y = 0.00009x + 18.61$	+0,035 °C/yıl	Evet	7.59
GD	$y = 0.00008x + 18.96$	+0,032 °C/yıl	Evet	7.806
GB	$y = 0.0001x + 19.22$	+0,042 °C/yıl	Evet	7.56



Şekil 17. Yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin değişimi.



Şekil 18. Deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin aylık trend oranı.

Mann Kendall ile lineer trend analizlerine göre yıllık ortalama verilerinin trendi tüm bölgelerde artış göstermektedir (Şekil 17). Aylık deniz suyu yüzey sıcaklığı sonuçlarımız farklı oranlarla olmakla beraber tüm sezonlarda artışın olduğuna işaret etmektedir (Şekil 18). Maksimum yukarı doğru trendin kuzeybatı mevkiinde Ağustos (+0.056 °C/yıl) ayında, en

yüksek soğuma eğiliminin kuzeydoğu mevkisi için Temmuz ve Ağustos aylarında ($-0.011^{\circ}\text{C/yıl}$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Mart, Nisan (kuzeybatı mevkisinde), Haziran, Ağustos, Eylül (kuzeydoğu mevkisinde) aylarında ise azalma eğiliminin söz konusu olduğu anlaşılmaktadır.

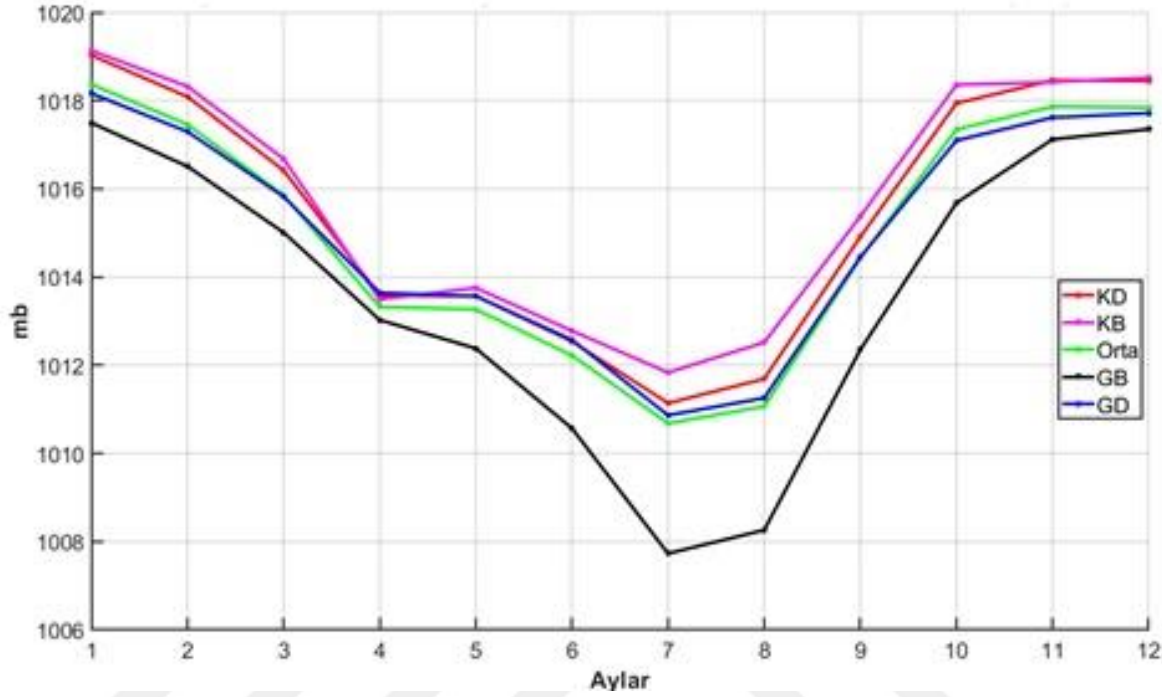
Kuzeydoğu mevkisinde mevsimsel analizlerde görülen hava sıcaklığı ile deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerindeki zıt eğilimler düşünülmesi gereken ilginç bir husustur. Bu tezatlığın arkasındaki mekanizmayı anlamak için UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) hesaplamaları ile rüzgar şiddeti verileri incelenmiştir. Detayları ilerleyen başlıklarda sunulan UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) ve rüzgar şiddeti verilerinin yaz mevsiminde kuzeydoğu mevkisi için yukarı doğru bir trende sahip olduğu görülmüştür. Rüzgar şiddeti verilerinin artma eğilimi upwelling olayının etkinliğinin artmasına ve upwelling'in etkinliğinin artması nedeniyle deniz suyu yüzey sıcaklığının kuzeydoğu mevkisinde azalması sonucunun ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Yüzey atmosfer basıncı ile rüzgar şiddeti verileri haricinde yukarıdaki açıklamalara ilave olarak Ege Denizi'nin termohalin sirkülasyonunda etkisi olan Karadeniz ile Akdeniz'den gelen suların da kuzeydoğu mevkisindeki söz konusu tezatlık üzerinde dolaylı etkisi olabileceği değerlendirilmektedir.

3.3. Yüzey Atmosfer Basıncı Verilerinin Analizi

3.3.1. Yüzey atmosfer basıncı verilerinin zamansal ve mekânsal analizi

Genel olarak yaz mevsiminde beklendiği üzere yüzey atmosfer basıncı sıcaklıkların da etkisi ile düştüğü ($\sim 1010\text{mb}$), kışın hava sıcaklığının azalması ile arttığı ($\sim 1018\text{mb}$) görülebilmektedir. Şekil 19'da sunulduğu üzere mevkilere göre değişimler belirgin şekilde görülebilmektedir. Genel olarak güney enlemlerin daha düşük, kuzey enlemlerin ise daha yüksek yüzey atmosfer basıncı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu beklenen bir durumdur; çünkü hava sıcaklığı burada belirgin bir parametredir. Dünya üzerinde tüm enerjilerin kaynağı olan güneşin farklı açılarla dünya üzerine gelmesi farklı enlemlerde farklı ısınmalara sebep olmaktadır. Ayrıca karaların ve denizlerin farklı dağılım oranları bir diğer farklı ısınmaya sebep olan etmendir. Bu nedenle farklı ısınmanın bir sonucu olarak farklı basınç değerleri ile karşılaşmaktayız. Güneybatı noktasında hava sıcaklığının en yüksek değere erişen mevkî olması bu mevkide yüzey atmosfer basıncının düşük olmasını açıklamakta dikkate alınabilecek bir durum olduğu değerlendirilmektedir.

Verilerin büyük bir kısmının (yaklaşık %60) 1010-1020mb aralığında yer aldığı tespit edilmiştir. Güneydeki mevkiiler kuzeydekilere nazaran belirgin şekilde daha düşük yüzey atmosfer basıncına sahiptir.



Şekil 19. Aylık ortalama yüzey atmosfer basıncı verilerinin aylara göre değişimi.

3.3.2.Yüzey atmosfer basıncı verilerinin trend analizi

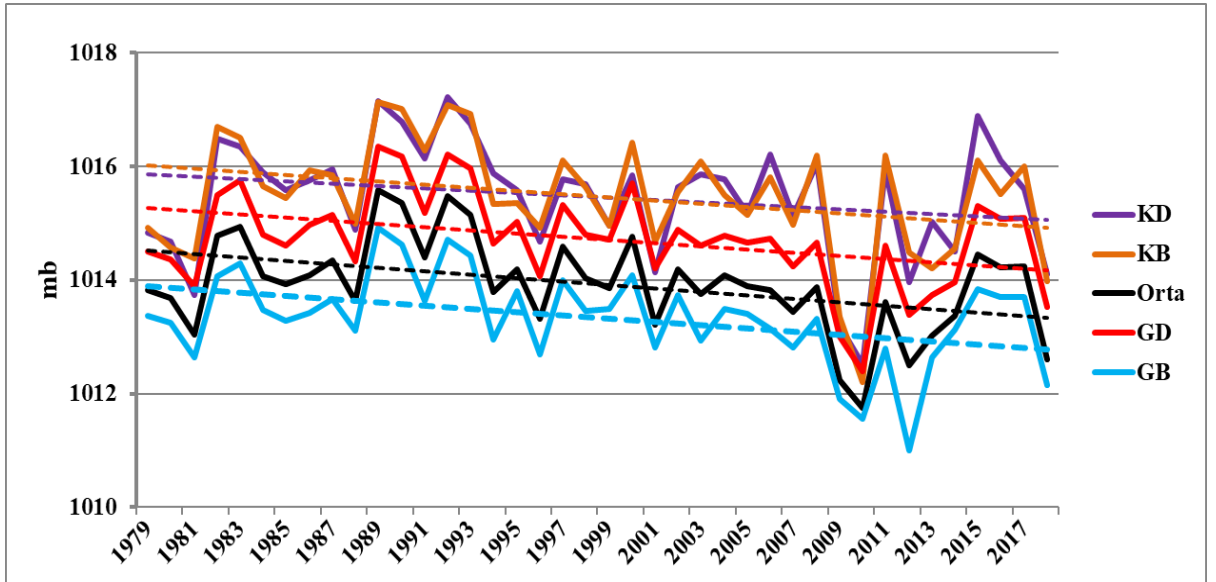
Tüm günlük veri seti üzerinden yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo-3'te, yıllık ortalama veri seti üzerinden yapılan çalışma Şekil 20'de, aylık trend oranları üzerinden hazırlanan görsel ise Şekil 21'de gösterilmiştir.

Yıllık ortalama yüzey atmosfer basıncı trend oranları tüm mevkiilerde benzer paterni izlemekte ve azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 20). Aylık ortalama yüzey atmosfer basıncı verileri tüm mevkiilerde küçük farklılıklar olmakla birlikte değişken oranlarda (-0.032 ile -0.027 mb/yıl) azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 21). Nisan, Kasım ve Aralık ayları artma eğiliminin olduğu aylar olarak göze çarpmaktadır. Diğer tüm aylarda açık şekilde azalma trendi görülmüştür. Tüm mevkiiler için en yüksek artma eğilimi aralık ayında (~ 0.047 mb/yıl), en yüksek azalma eğilimi ise temmuz ve eylül (~ 0.07 mb/yıl) aylarında görülmüştür. Mevsimsel perspektiften bakıldığında en yüksek azalma oranı (-0.063 mb/yıl) merkez mevkiinde yaz mevsiminde görülmüştür.

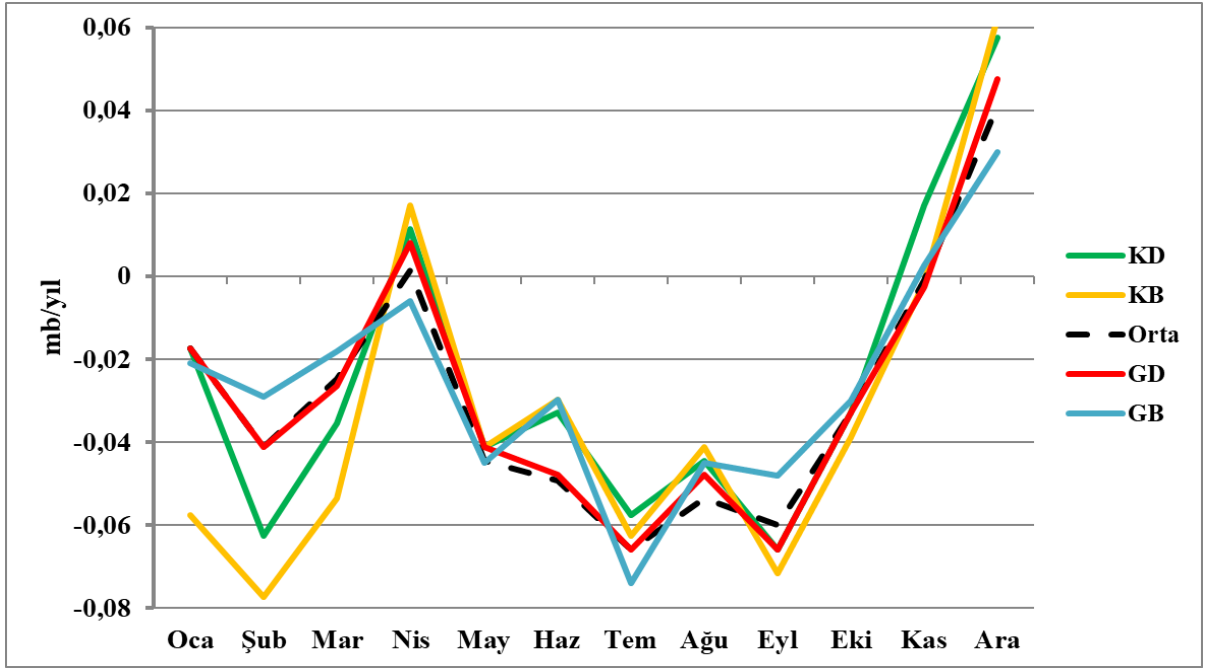
Tablo 3. Günlük yüzey atmosfer basıncı verilerinin trend analizi (1979-2018).

Mevkii	Lineer Trend Analizi		Mann Kendall Testi	
	Lineer Trend Fonksiyonu	Trend Oranı	Monotonik trend var mı? p<0.05	“z” değeri
KD	$y = -0,00006x + 1015.9$	-0,021 mb/yıl	Evet	-6.76
KB	$y = -0,00007x + 1016$	-0,027 mb/yıl	Evet	-6.49
Orta	$y = -0,00008x + 1014.5$	-0,030 mb/yıl	Evet	-8.05
GD	$y = -0,000077x + 1015$	-0,0282 mb/yıl	Evet	-7.902
GB	$y = -0,000079x + 1014$	-0,0289 mb/yıl	Evet	-7.245

Yüzey atmosfer basıncı Ege Denizi özelinde elde edilen trend değerlerine ilaveten sinoptik ölçekte de yaklaşık 20 yıllık yüzey atmosfer verisinin üzerinden Atlantik okyanusu, Sibirya yakınları ile Orta Doğu mevkilerine yönelik yapılan analizde yaz mevsiminde Orta Doğu üzerindeki yüzey atmosfer basıncının açık bir şekilde artan sıcaklıklar ile birlikte azaldığı diğer mevkilerde ise net bir değişimin gözlenmediği tespit edilmiştir. Bu sonuç Orta Doğu ve Doğu Akdeniz üzerinde artan sıcaklığın önemli bir bileşen olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Yüzey atmosfer basıncı incelendiğinde sinoptik ölçekte kıymetlendirme yapılması daha faydalı olacaktır.



Şekil 20. Yıllık ortalama yüzey atmosfer basıncı verilerinin değişimi.



Şekil 21. Yüzey atmosfer basıncı verilerinin aylık trend oranı.

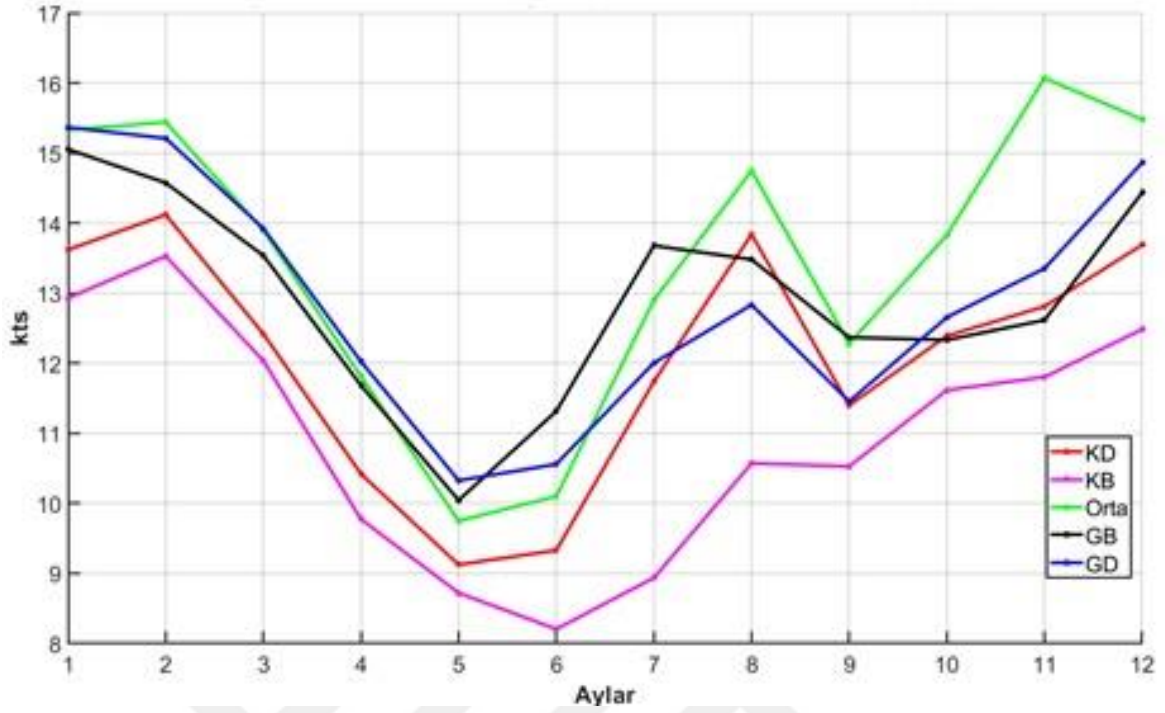
3.4. Rüzgâr Şiddeti Verilerinin Analizi

3.4.1. Rüzgâr şiddeti verilerinin zamansal ve mekânsal analizi

Şekil 22’de sunulan aylık ortalama rüzgâr şiddeti analizlerine göre genel olarak rüzgâr şiddeti verilerinin yaz ile kış mevsimlerinde yüksek olduğu belirgin şekilde söylenebilir. Ayrıca yazın kuzeydoğu ile orta mevkisindeki verilerin yüksek rüzgâr şiddeti değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Verilerde enlemsel ve boylamsal farklılıkların mevcudiyeti de söz konusudur.

Ege Denizi’nin kuzeydoğusu ile ortasının neredeyse aynı yüzdelere sahip olduğu, kuzeybatı bölgesinin düşük rüzgâr şiddeti (0-10kts) yüzdesinin son derece yüksek olduğu, tüm mevkilerde rüzgâr şiddetinin en çok 10-20kts arası değerlere sahip olduğu görülmüştür. Güneybatı ile güneydoğu noktalarındaki yüzdelerin de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Rüzgâr şiddeti verileri diğer parametrelere nazaran daha hızlı değişkenlik gösterebildiğinden ötürü yapılan analizler detaylı bir değerlendirmenin sağlanmasına katkı sağlamıştır.



Şekil 22. Aylık ortalama rüzgâr şiddeti verilerinin aylara sari değişimi.

Kış mevsimindeki rüzgâr şiddeti değerlerinin diğer mevsimlere nazaran daha yüksek olduğu görülmüş olup elde edilen sonuç Vagenas ve diğerleri (2017)'nin çalışması ile uyumludur.

3.4.2. Rüzgâr şiddeti verilerinin trend analizi

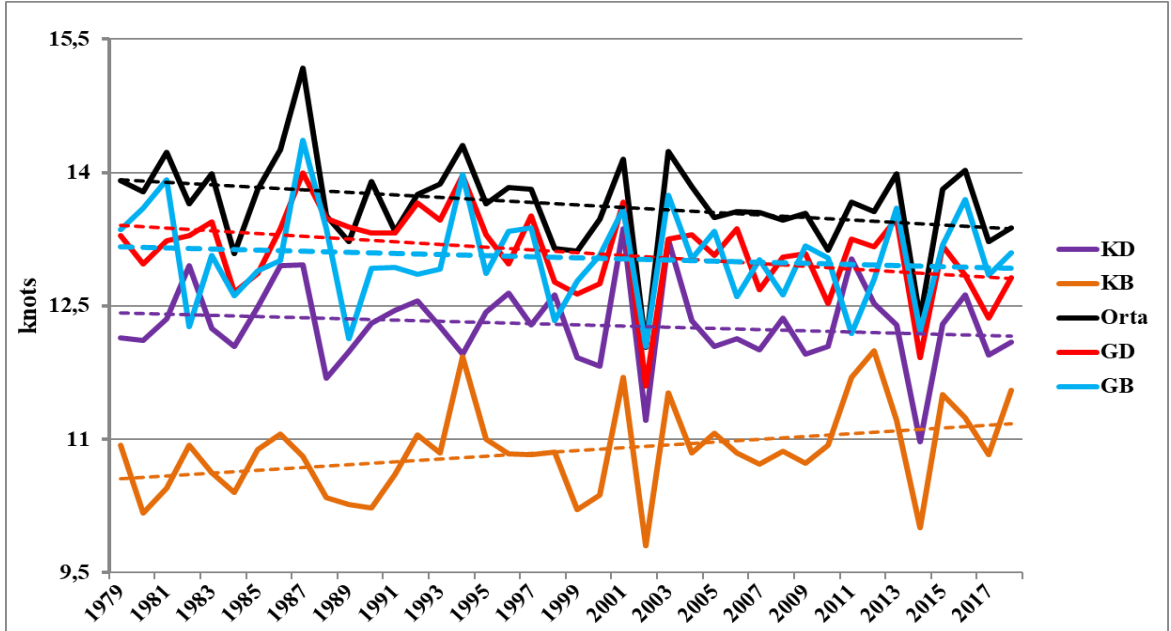
Tüm günlük veri seti üzerinden yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo-4'te, yıllık ortalama verilerden faydalanılarak hazırlanan görsel Şekil 23'te, aylık trend oranları üzerinden hazırlanan grafik ise Şekil 24'te sunulmuştur. Rüzgar şiddeti verilerinin trend analizleri mevsimsel olarak farklılık göstermektedir (Şekil 24). Günlük veri seti ile yıllık ortalama veri seti üzerinden elde edilen trend eğilimleri genel olarak (kuzeybatı hariç) azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 23). Ayrıca güneybatı noktasında Mann Kendall testi için monoton trend tespit edilememiştir.

Şekil 24'te sunulan aylık trend oranlarına yönelik kolay bir görüşün ortaya konulabilmesini sağlayacak bir görüntü tespit edilememektir: ancak en açık ve anlaşılır sonuç etezyen rüzgarlarının estiği zaman periyodunda tüm mevkilerde (kuzeybatı hariç) belirgin bir azalıştan (-0.053 kts/yıl'a ulaşan) kolaylıkla bahsedilebileceğidir.

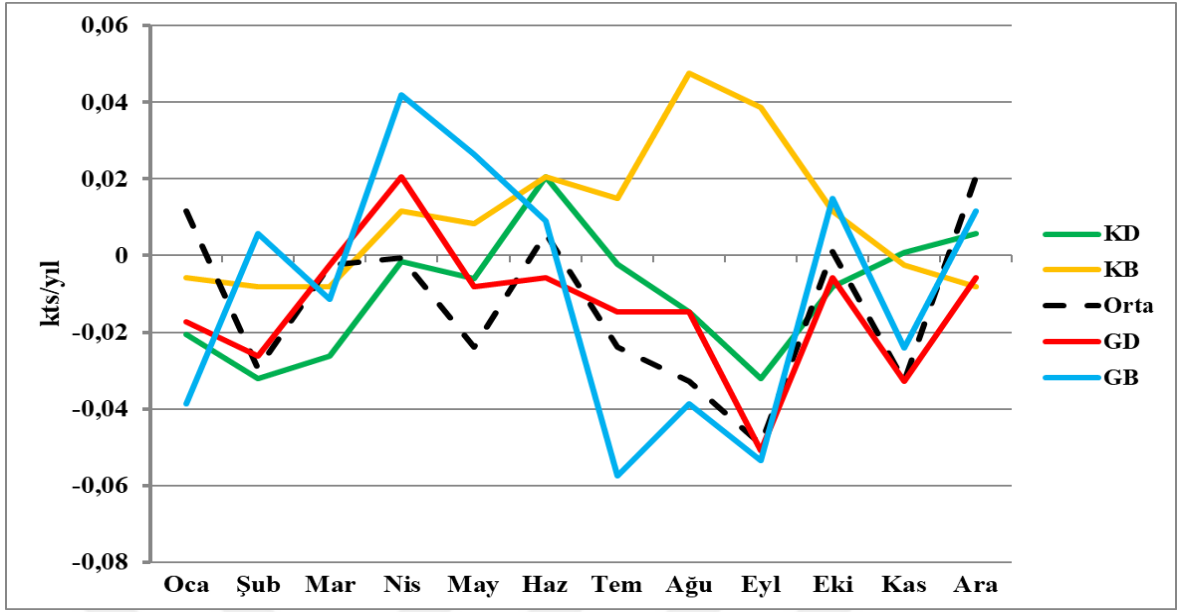
Tablo 4. Günlük rüzgar şiddeti verilerinin trend analizi (1979-2018).

Mevkii	Lineer Trend Analizi		Mann Kendall Testi	
	Lineer Trend Fonksiyonu	Trend Oranı	Monotonik trend var mı? p<0.05	“z” değeri
KD	$y = -0,000017x + 12.43$	-0.0065 kts/yıl	Evet	-1.707
KB	$y = 0,00004x + 10.54$	+0.0073 kts/yıl	Evet	2.26
Orta	$y = -0,00004x + 13.93$	-0.0146 kts/yıl	Evet	-2.96
GD	$y = -0,00004x + 13.42$	-0.0146 kts/yıl	Evet	-3.42
GB	$y = -0,00002x + 13.16$	-0.0073 kts/yıl	Hayır	-1.51

Rüzgâr verilerinin her mevkide mevsimden mevsime değişkenlik göstermesi nedeniyle mevsimsel ve aylık rüzgar trendleri deniz suyu yüzey sıcaklık ile hava sıcaklığı trendlerinden daha karmaşıktır. En basit ifade ile rüzgar şiddeti verilerinde güneybatı (kış mevsiminde), kuzeybatı (yaz & sonbahar) ve kuzeydoğu (yaz-neredeyse düz) mevkileri hariç tüm sezonlarda azalma eğilimi söz konudur. En yüksek azalma oranı (-0.057 kts/yıl) güneybatı mevkiinde temmuz ayında, en yüksek artma trendi (+0.047 kts/yıl) ise Ağustos ayında kuzeybatı mevkisinde görülmüştür. Etezyen rüzgarlarının estiği periyotta tüm mevkilerde (kuzeybatı hariç) eylül ayında -0.053 kts/yıl'a erişen azalma eğilimi görülmektedir. Kuzeybatı mevkii aynı ayda +0.03 kts/yıl artma oranına sahiptir.



Şekil 23. Yıllık ortalama rüzgâr şiddeti verilerinin değişimi.



Şekil 24. Rüzgâr şiddeti verilerinin aylık trend oranı.

3.5. Rüzgâr Yönü Verilerinin Analizi

Rüzgâr yönü ile ifade edilen rüzgârın geldiği yöndür. Analizlerde vektörel olarak ortalamalar alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Kolay anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi için rüzgâr gülleri ile rüzgârın geldiği yönün analizleri yapılmıştır. Ege Denizi için her mevki için rüzgâr gülleri ayrı ayrı hazırlanarak kuzeybatı için Şekil 25'te, kuzeydoğu için Şekil 26'da, orta istasyon için Şekil-27'de, güneybatı mevki için Şekil 28'de ve güneydoğu istasyonu için ise Şekil 29'da gösterilmiştir. Rüzgâr gülleri rüzgâr verilerinin sunulmasında en pratik yol olarak değerlendirildiğinden bu yöntem başvurulmuştur. 40 yıllık veri seti üzerinden analiz yapılması iklimsel açıdan doğru bir kıymetlendirme yapılarak istasyonların genel rüzgâr yönü istikameti hakkında doğru bir sonuca ulaşılması açısından büyük öneme sahiptir.

Rüzgâr yönü verileri mekânsal ve zamansal olarak incelendiğinde; kuzeybatı noktasında KD (045°) yönünün Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ayları için belirgin olduğu, diğer aylarda ise saçılmaların söz konusu olduğu görülmektedir (Şekil 25). Kuzeydoğu bölgesinde ise kuzeybatıya nazaran daha kuzey yönünde KD ile KKD arası (030°) rüzgâr yönünün dominant olduğu ön plana çıktığı anlaşılmaktadır (Şekil 26).

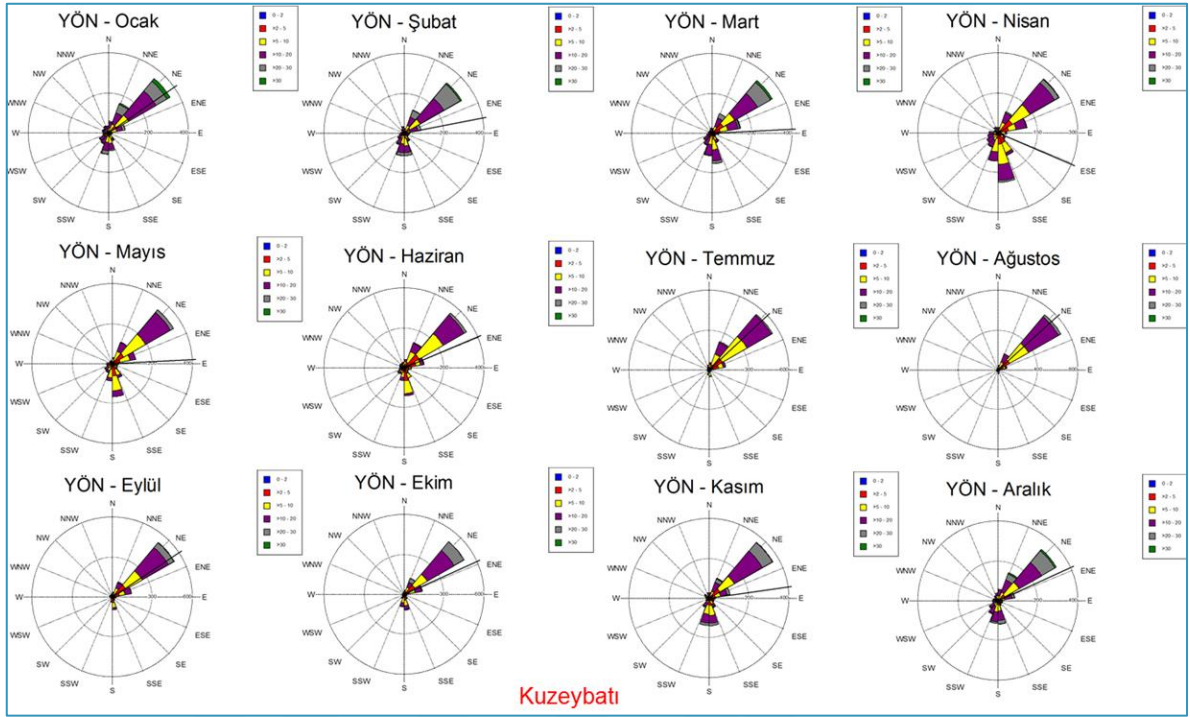
Orta Ege Denizi'nde KKB ile KKD arası bir yönün genel olarak mevcut olduğu; Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık aylarında K-KKD, Nisan, Ekim aylarının geçiş dönemi (KKB-KKD) olduğu ve Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında KKB-K arası

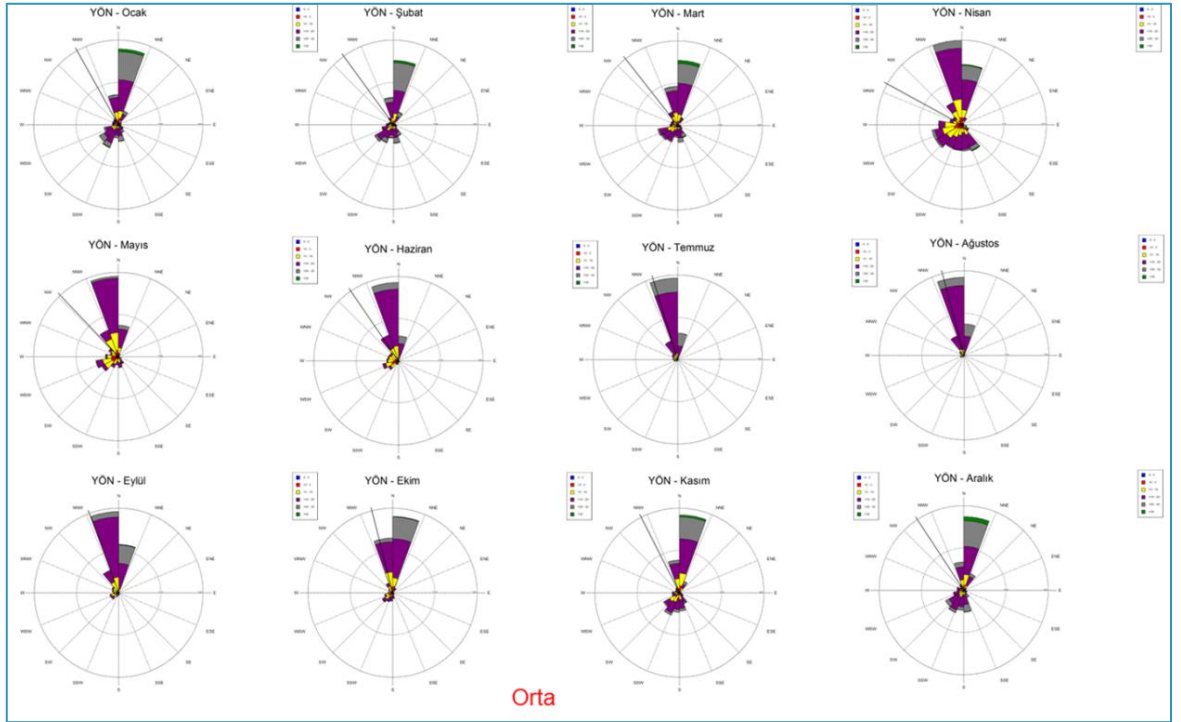
yönlerin görüldüğü ifade edilebilir (Şekil 27). Kuzeydoğu noktasının kuzeybatıya göre daha kuzey yönünden estiği, Ege Denizi'nin ortasında ise rüzgârın diğer tüm noktalara göre tam kuzeye (yıldız) yakın bir yön değerine sahip olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir.

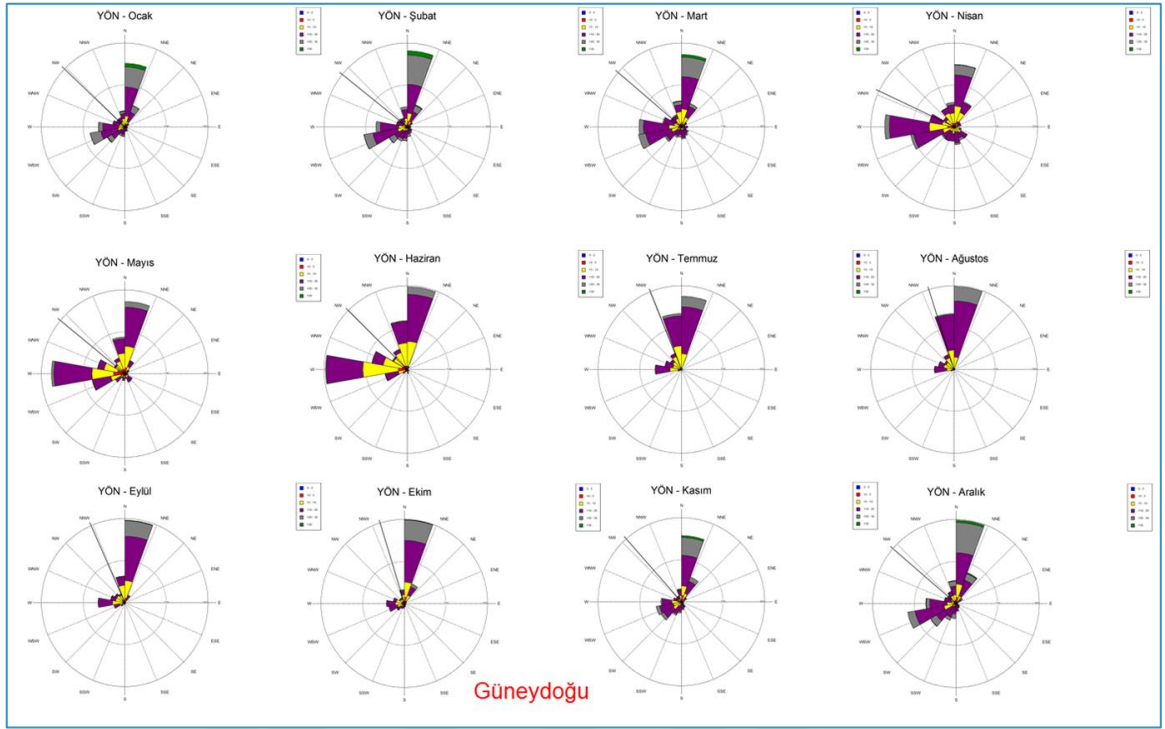
Güneybatı noktasında ise özellikle KKB yönünün Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında belirgin olduğu görülebilmektedir (Şekil 28). Diğer aylarda batı istikametinden de rüzgarların estiği görülebilmektedir. Güneydoğu bölgesinde Nisan, Mayıs, Haziran aylarında K-KKD ile batıdan gelen rüzgarların etkin olduğu, Temmuz, Ağustos aylarında kuzeyli, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında K-KKD yönünün ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Güneybatıya nazaran kuzeydoğu yönüne daha meyilli olduğu görülmektedir (Şekil 29).

Noktasal değil fakat enlemlere sâri bir kıymetlendirme yapıldığında büyük ölçekte rüzgârın yönünün aylara sâri değişim göstermekle birlikte genel olarak kuzeyli yönün hakimiyeti görülmüştür. Enlemlere göre rüzgâr şiddeti ile yönünün (vektörel) ortalaması aylara göre hesaplandığında aylara göre farklılıkların söz konusu olduğu da tespit edilmiştir. Enlemlere göre analiz yapılmasının sebebi daha büyük ölçekte yönün genel istikametinin yakalanmasının hedeflenmesinden kaynaklanmaktadır.

Rüzgâr yönü ve şiddeti değişken bir parametre olması nedeniyle rüzgârı incelerken daha büyük ölçekte ve alanda kıymetlendirme yapmak gerekmektedir. Denizler üzerinde rüzgâr verilerini incelemek kara üzerinde incelemeye göre daha kolay ve avantajlıdır; çünkü deniz düz olması nedeniyle rüzgârın ilerleyebileceği geniş bir alan sunabilmekte ve sayısal modellerin verdiği sonuçların daha doğru olmasına katkı sağlamaktadır. Karalarda ise hem topografik hemde insan kaynaklı yapıların değişken genişlikler ile farklı yüksekliklere sahip olması nedeniyle rüzgârın yönü üzerinde kısa mesafede büyük değişkenlikler görülebilmekte ve bu nedenle çalıştırılan modellerde hatalı çıktılar elde edilebilmektedir.







Şekil 29. Güneydoğu mevkiî rüzgâr gülleri.

3.6. Karşılaştırmalar

3.6.1. Verilerin kendi mevkiindeki diğer verilerle olan ilişkisi

Ege Denizi'nin tümünü kapsayacak şekilde seçilen beş kritik mevki için rüzgâr şiddeti, hava sıcaklığı, deniz suyu yüzey sıcaklığı, yüzey atmosfer basıncı verileri karşılaştırılarak elde edilen “r” korelasyon katsayısı Tablo 5-9’da sunulmuştur. Elde edilen değerler tüm noktalarda hava sıcaklığı ile deniz suyu yüzey sıcaklıkları arasında beklenildiği üzere yüksek seviyede ilişkinin varlığını (~ 0.9) ortaya koymaktadır. Yüzey atmosfer basıncı verileri ile hava sıcaklığı arasında ise çok yüksek seviyede olmamakla birlikte ters ilişkinin (~ 0.5) mevcut olduğu görülmektedir. Benzer bir durum yüzey atmosfer basıncı ile deniz suyu yüzey sıcaklığı (-0.3 ile -0.45) arasında da görülebilmektedir.

Karşılaştırmalarda atmosferik parametrelerden en çok değişkenliğe sahip olan rüzgâr şiddeti verileri ile diğer veriler arasında net bir ilişkinin olmadığı sonucunu da ortaya koymuştur.

Tablo 5. Ege Denizi'nin kuzeydoğusuna ait verilerin (1979-2018) korelasyonu (r).

KD	Hava Sıc.	Yüzey suyu sıc.	Rüzgâr Şid.	Yüzey Atm. Basıncı
Hava Sıc.	XX	0.87	-0.1347	-0.5320
Yüzey suyu sıcak.	XX	XX	-0.2	-0.3368
Rüzgâr Şid.	XX	XX	XX	0.0680
Yüzey Atm. Basıncı	XX	XX	XX	XX

Tablo 6. Ege Denizi'nin kuzeybatısına ait verilerin (1979-2018) korelasyonu (r).

KB	Hava Sıc.	Yüzey suyu sıc.	Rüzgâr Şid.	Yüzey Atm. Basıncı
Hava Sıc.	XX	0.9070	-0.2388	-0.4499
Yüzey suyu sıcak.	XX	XX	-0.1972	-0.2811
Rüzgâr Şid.	XX	XX	XX	0.0516
Yüzey Atm. Basıncı	XX	XX	XX	XX

Tablo 7. Ege Denizi'nin ortasına ait verilerin (1979-2018) korelasyonu (r).

Orta	Hava Sıc.	Yüzey suyu sıc.	Rüzgâr Şid.	Yüzey Atm. Basıncı
Hava Sıc.	XX	0.89	-0.05	-0.53
Yüzey suyu sıcak.	XX	XX	-0.02	-0.4
Rüzgâr Şid.	XX	XX	XX	-0.05
Yüzey Atm. Basıncı	XX	XX	XX	XX

Tablo 8. Ege Denizi'nin güneydoğusuna ait verilerin (1979-2018) korelasyonu (r).

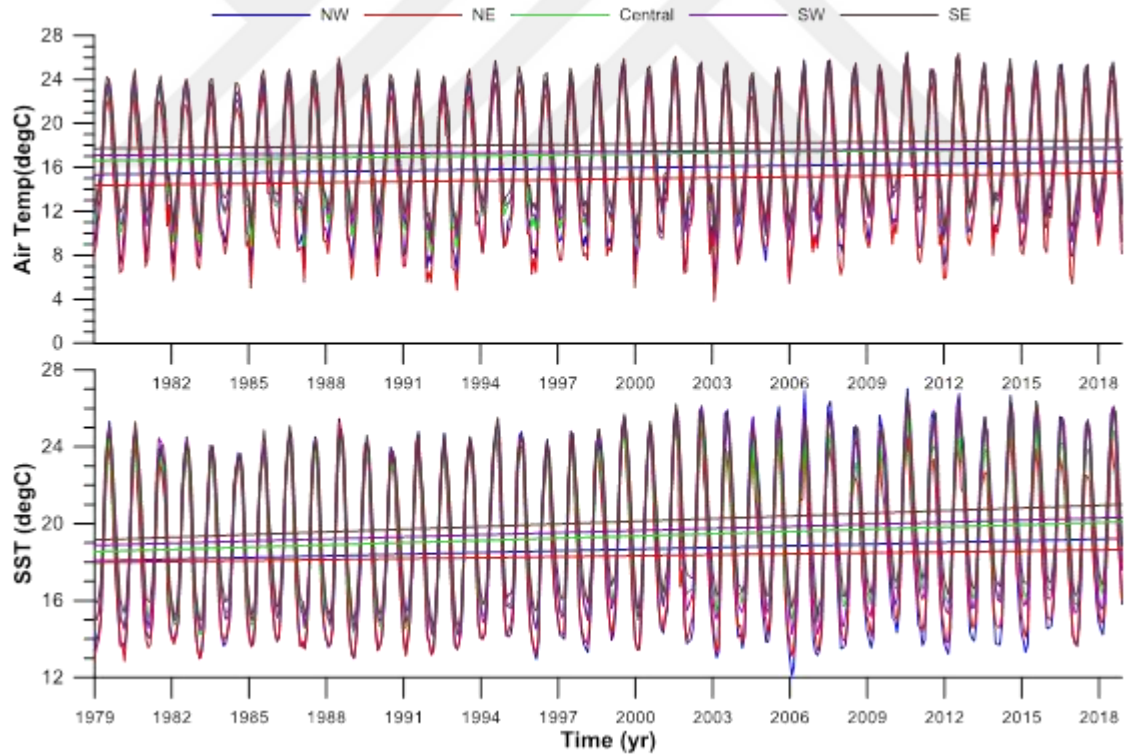
GD	Hava Sıc.	Yüzey suyu sıc.	Rüzgâr Şid.	Yüzey Atm. Basıncı
Hava Sıc.	XX	0.9003	-0.1713	-0.4706
Yüzey suyu sıcak.	XX	XX	-0.1515	-0.3122
Rüzgâr Şid.	XX	XX	XX	-0.0345
Yüzey Atm. Basıncı	XX	XX	XX	XX

Tablo 9. Ege Denizi'nin güneybatısına ait verilerin (1979-2018) korelasyonu (r).

GB	Hava Sıc.	Yüzey suyu sıc.	Rüzgâr Şid.	Yüzey Atm. Basıncı
Hava Sıc.	XX	0.8967	0.0458	-0.5595
Yüzey suyu sıcak.	XX	XX	0.0554	-0.4486
Rüzgâr Şid.	XX	XX	XX	-0.2254
Yüzey Atm. Basıncı	XX	XX	XX	XX

3.6.2. Trend oranlarının karşılaştırılması

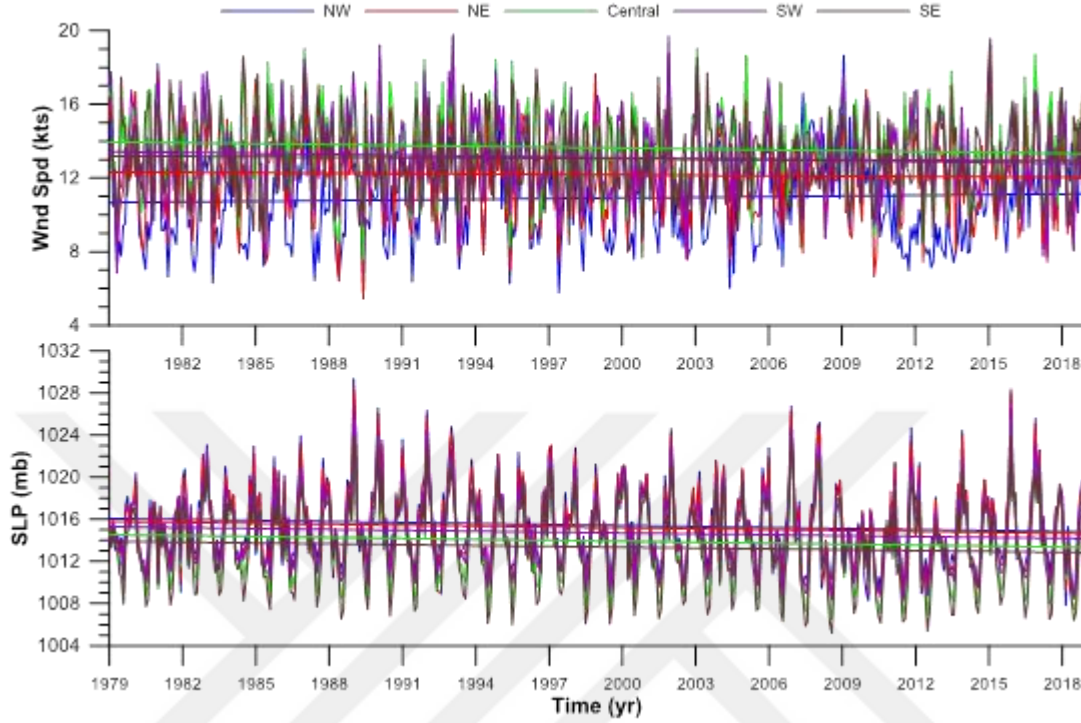
Beş farklı nokta için hazırlanan zaman serisi ile trend analizi görselleri deniz suyu yüzey sıcaklığı-hava sıcaklığı için Şekil 30'da ve rüzgar şiddeti-yüzey atmosfer basıncı için ise Şekil-31'de sunulmuştur. Tüm görseller deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti ve yüzey atmosfer basıncı için farklı trend değerlerinin söz konusu olduğunu göstermektedir.



Şekil 30. Deniz suyu yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı verileri trend oranları.

Deniz suyu yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı verileri 1980'li yıllarda düşük iken 2010'lu yıllarda yüksek değerlere sahiptir. Aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı ile hava

sıcaklığı trend oranları eğilimleri incelendiğinde beklendiği gibi güçlü bir uyum içerisinde oldukları görülmüştür.



Şekil 31. Rüzgâr şiddeti & yüzey atmosfer basıncı verileri lineer trend oranları.

Geçmişte yapılan çalışmalarda elde edilen trend değerleri ile bu çalışmada elde edilen trend oranları Tablo 10'da sunulmuştur. Son 40 yıllık süreçte hava sıcaklığı artma eğilimi göstermekte olup, trend oranları 0.017-0.03 °C/yıldır. 1860 yılından beri dünyadaki ısınmanın genel olarak 0.4-0.8°C olduğu bilinmektedir ve 1990'lı yıllardan sonraki süreç ise kuzey yarımküredeki en sıcak süreçtir (IPCC, 2001). IPCC'nin özel raporuna göre dünyadaki küresel ısınma 1.5°C'dir. Bu çalışmada tüm noktalarındaki değerlerdeki ısınma 40 yıllık süreç için IPCC raporu ile uyumlu olarak 0.68-1.2°C'dir. IPCC raporları dışında Ege Denizi ve çevre denizlerin hava sıcaklığı trendine yönelik birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel trendin artma eğilimi gösterdiği yönündedir. Örneğin Good ve diğerleri (2008)'nin 1982-2002 periyodu için yaptığı çalışmada hava sıcaklığının arttığı ifade edilmiştir.

MGM'nin 2019 raporunda hem hava sıcaklığı hemde deniz suyu yüzey sıcaklığı için artmanın söz konusu olduğu belirtilmiştir. Philandras ve diğerleri (2008) ile Mamara ve diğerleri (2015) tarafından Ege Denizi'ne yönelik farklı mevkilerde farklı trend oranları elde

edilmiş olsa da genel olarak eğilimin artmaya işaret ettiği tespit edilmiştir. NASA raporlarında güneş lekelerinin aktivitelerine göre dünyada 0.3°C soğumanın gerçekleşmesi beklense de gerçekte yukarı doğru bir trendin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum halihazırdaki ısınmanın dünyanın doğal bir tepkimesi olmadığına işaret etmektedir.

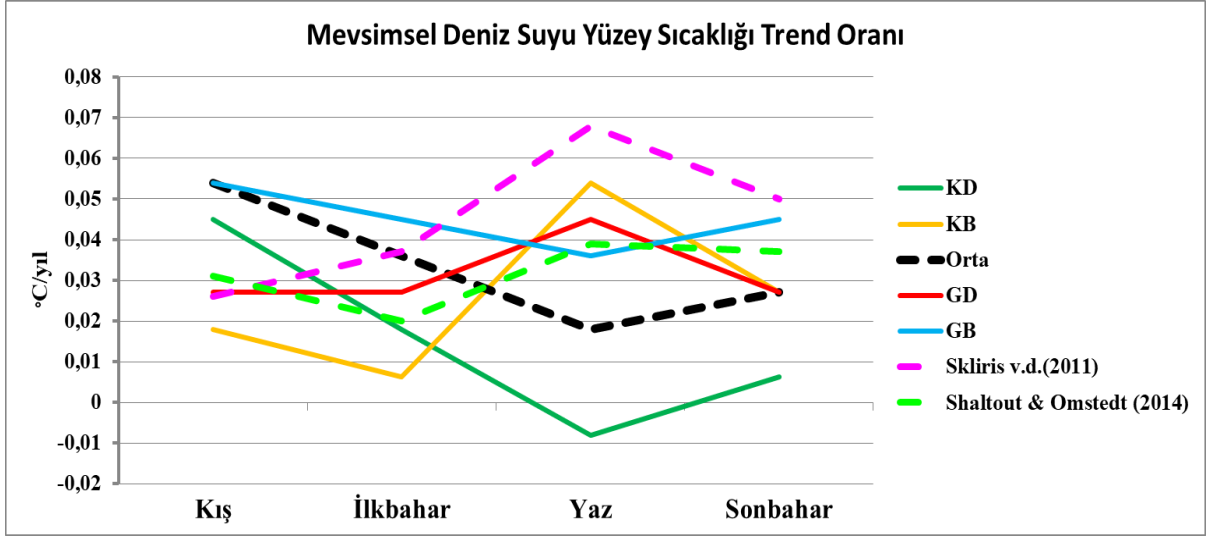
Bu çalışmada elde edilen hava sıcaklığı trend değerleri Tablo-10'da gösterildiği üzere, Mamara ve diğerleri (2015)'nin çalışmasına göre güney mevkilerde daha düşük değerlere, diğer mevkiler için ise neredeyse aynı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Son 40 yıllık süreçte deniz suyu yüzey sıcaklığı $0.68-1.84^{\circ}\text{C}$ artmıştır. Deniz suyu yüzey sıcaklığına yönelik de farklı mevkilerde farklı periyotlara yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalar genel olarak deniz suyu yüzey sıcaklığının artma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Genel olarak uydu tabanlı verilere ait trend oranlarının sayısal model ve gerçek veri odaklı sonuçlardan daha yüksek orana sahip olduğu tespit edilmiştir. Skliris ve diğerleri (2011) ile Shaltout ve Omstedt (2014) tarafından mevsimsel bazda tüm Ege Denizi için belirtilen trend oranları ile bu çalışmada elde ettiğimiz trend oranları karşılaştırılmıştır (Şekil 32). Mevsimsel trend oranlarına göre genel olarak Skliris ve diğerleri (2011) ile Shaltout ve Omstedt (2014) ile bu çalışmanın sonuçları ısınma eğilimi hususunda oranlar aynı olmasa da uyumlu olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu karşılaştırmalar ve elde edilen sonuçlar Ege Denizi için genel bir trend oranından bahsetmenin gerçek eğilimin detaylıca ortaya konması açısından doğru sonuç veremeyeceği gerçeğinin görülmesini sağlamıştır.

Kuleli ve Bayazit (2020)'ın Ege Denizi'nin güneydoğu bölümünde küçük bir sahaya ilişkin sadece yaz mevsimi Landsat verilerini kullanarak yaptığı çalışmada $+0.11^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ artışın meydana geldiği, söz konusu oranın bu çalışmada yine aynı bölgeye en yakın analiz noktası için aynı koşulları dikkate alarak elde ettiğimiz trend oranından büyük ($\sim 0.045^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$) bir değer olduğu görülmüştür. Skliris ve diğerleri (2011)'nin çalışmasında farklı mevkiler için farklı trendler söz konusudur. Bengil ve Mavruk(2018)'un Türkiye sahillerine yönelik kuzeydoğu-güneydoğu bölgeleri şeklinde ikiye bölerek yaptığı deniz suyu yüzey sıcaklığı trend analizinde iki bölge için elde ettiği sonuçlar artma eğilimi göstermekle birlikte aynı ($\sim 0.038^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$) değerler sahiptir. Skliris ve diğerleri (2011)'nin kuzeydeki mevkiler için elde ettiği değerler bizim çalışmamızda elde edilen oranlardan biraz daha yüksek ($\sim 0.02^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$) olmakla birlikte diğer mevkiler için benzer trend oranları olduğu görülmüştür.

Deniz suyu yüzey sıcaklığı görsellerine baktığımızda güneydoğu mevkisinin en yüksek, kuzeydoğu mevkisinin ise en düşük artma trendine sahip olduğu tespit edilmiştir. Deniz suyu yüzey sıcaklığı değerleri 1980’li yıllarda daha düşük değerlere sahip iken, 2010’lu yıllarda daha yüksek oranları içerdiği anlaşılmaktadır. Deniz suyu yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı birbirleri ile güçlü ilişki içinde olması sebebiyle trend oranları beklendiği üzere birlikte artmaktadır (Şekil 30).



Şekil 32. Deniz suyu yüzey sıcaklığının mevsimsel trendinin geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılması.

Bengston ve diğerleri (2004)’nin kullandığı yöntem doğrultusunda yapılan analizde kuzeydoğu, kuzeybatı ve orta mevkiler için elde edilen hava sıcaklığı ile deniz suyu yüzey sıcaklığı artış oranları arasındaki farklılığın güney mevkilerine nazaran daha az farka sahip olduğu görülmüştür. Hava sıcaklığı verileri atmosferik olayların değişkenliği nedeniyle daha çok değişkenlik gösterebileceği düşünülerek deniz suyu sıcaklığı referans olarak kabul edildiğinde güney mevkilerinde hava sıcaklığı trend oranının kabul edilebilir hata oranı içerisinde yer alabilmesi için 0.01 °C/yıl daha yüksek değere sahip olması beklenmektedir. Bu yapılan tespitin sonucu Mamara ve diğerleri (2016)’nin çalışması ile de doğrulamaktadır.

Aylık ortalama yüzey atmosfer basıncı ve rüzgâr şiddeti verileri trend oranlarının genel olarak her iki parameter için azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Rüzgâr şiddeti verilerinin de farklı mevkilere göre farklı trendlere sahip olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir. Aylık ortalama rüzgâr şiddeti grafiklerine göre kuzeybatı bölgesi hariç düşüş eğilimi olduğu görülmüştür (Şekil 31). Poupkou ve diğerleri (2011)’nin çalışması (kuzeydoğu,

orta, güneydoğu- Etezyen rüzgarının rotası) bizim çalışmamız ile şiddetin azalması hususunda uyumluluk göstermektedir. Vagenas ve diğerleri (2017)'nin çalışması güneybatı noktası için benzer iken kuzeybatı noktası için uyumlu sonuç vermemektedir. Poupkou ve diğerleri (2011)'nin araştırmasında orta Ege Denizi için elde ettiği sonuç, bu çalışmadaki bulgular ile neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir. Coğrafi mevkilere göre güneybatı mevkii rüzgâr şiddetinde en yüksek düşme eğilimine sahip bölgedir.

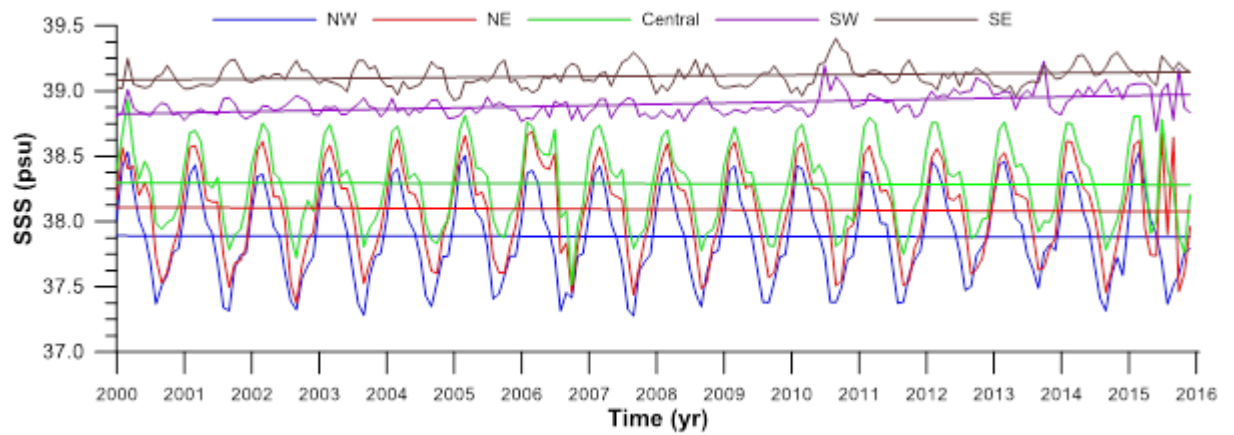
Genel olarak 40 yıllık süreçte rüzgâr şiddeti ile yüzey atmosfer basıncının değişme eğilimi 0.28-0.68kts ve 1.08-1.28mb'dır. Yüzey atmosfer basıncı ile rüzgâr şiddeti yakın ilişki içinde bulunan iki parametredir. Basınç farkı rüzgârı oluşturan ana mekanizma olması nedeniyle yüzey atmosfer basıncı da incelenmiştir.

Geçmişteki çalışmalarda genel olarak deniz suyu yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı üzerine odaklanıldığı tespit edilmiştir. Ege Denizi'nde esen etezyen rüzgarlarına yönelik olarak bazı iklimsel analizlerin yapıldığı da görülebilmektedir. Ancak yüzey atmosfer basıncı ile yüzey tuzluluğu üzerine ise diğer parametrelere nazaran neredeyse çalışma yapılmadığını söyleyebiliriz. Yüzey atmosfer basıncı için daha büyük ölçekte değişimleri inceleyen bazı çalışmaların yapıldığı tespit edilmiştir (Poupkou ve diğerleri, 2011). Ayrıca Poupkou ve diğerleri (2011)'nin çalışmasında Ege Denizi'ni etkileyen sinoptik ölçekteki basınç farklılığının azaldığına işaret edilmiştir.

Deniz suyu yüzey tuzluluğu verilerine ilişkin çalışmalar Şekil 33'te gösterilmiştir. Copernicus'tan elde edilen yüzey suyu tuzluluk verilerine ilişkin hesaplanan trend analiz değerleri ise Tablo-10'da sunulmuştur. Deniz suyunun yüzey tuzluluk değerleri 37.3psu(kuzeybatı)'dan 39.34psu(güneydoğu)'ya kadar farklılık gösteren değerler ile hem zamansal hemde mekânsal değişiklikler göstermektedir(Şekil 33). Güney-kuzey mevkileri arasındaki tuzluluk farkı yaz mevsiminde maksimum farka erişmekte iken Karadeniz sularının etkisinin azaldığı kış mevsiminde bu farklılık minimum olmaktadır. Tuzluluk değerlerinin güvenilirliği diğer verilere nazaran daha düşük olsa da değişime yönelik fikir vermesi açıdan önemlidir. Karadeniz sularının etkisinin arttığı ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yüzey suyu tuzluluk değerlerinin Çanakkale Boğazı'ndan gelen az yoğun sularının rotası üzerinde kalan kuzeybatı ile orta mevkilerin tuzluluk değerlerinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 33). Söz konusu azalma kuzeydoğu mevkiinde de görülmüştür. Bababurnu yakınlarında olan kuzeydoğu mevkii upwelling olayının beklendiği, genel olarak Karadeniz sularının izlediği

rotada olmaması nedeniyle bu bölgede tuzluluğun Şekil 33'te belirtilenin aksine daha yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca Karadeniz sularının etkisinden uzak olması nedeniyle dalgalanmanın da daha düşük olması beklenmektedir. Ancak yüzey suyu tuzluluk değerleri kuzeydoğu noktası için 39psu değerlerinden daha düşük sonuçlar sunmaktadır. Bu sonuç gerçek durumu benzetebilmek için Copernicus tarafından sunulan verilerin Ege Denizi gibi karmaşık sahil şeridi olan bir denizde kullanılmasında sakınca doğurabileceği sonucuna ulaştırmıştır.

1993 yılı Güney Ege Denizi'nde başlayan EMT olayının başlangıcı olarak görülebilir. (Klein ve diğerleri, 1999). Eronat ve Sayın (2018)'in çalışmasında 2000'li yılların başlarında EMT'nin etkisinin zayıfladığı, EMT sürecinde ise Akdeniz'deki iklimsel değişim ile Ege Denizi'nde hava sıcaklığındaki anormal değişikliklerin Ege Denizi'ndeki suyun yapısında etkili olduğunu belirtmiştir. EMT'nin rahatladığı 2007 yazından sonraki süreçte su sütunlarındaki tuzluluk artışı görüldüğü de aynı çalışmada belirtilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlarda 2000'li yılların başlarında hava sıcaklığı verilerinde belirgin bir değişimden bahsedilemez: ancak 2006 yılında bir ani düşüşün olduğu görülmüştür. 2007 yılından sonra yüzey tuzluluğunda artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 33). Yüzey tuzluluk oranlarındaki değişim incelendiğinde güneydoğu ile güneybatı mevkileri için sırasıyla 0,0096 psu/yıl, 0,0036psu/yıl artış söz konusu iken, kuzeydoğu, kuzeybatı ile orta mevkileri için sırasıyla -0,00072 psu/yıl, -0,00072 psu/yıl, -0,00096 psu/yıl azalış oranlarının mevcut olduğu tespit edilmiştir. Güneydeki artışlar EMT etkisi ile ilişkili olup olmadığına ilişkin daha detaylı inceleme yapılabilir; ancak güneyde yüzey tuzluluğunun pozitif yönde bir eğilime sahip olduğu açıktır.



Şekil 33. Deniz suyu yüzey tuzluluğunun değişimi.

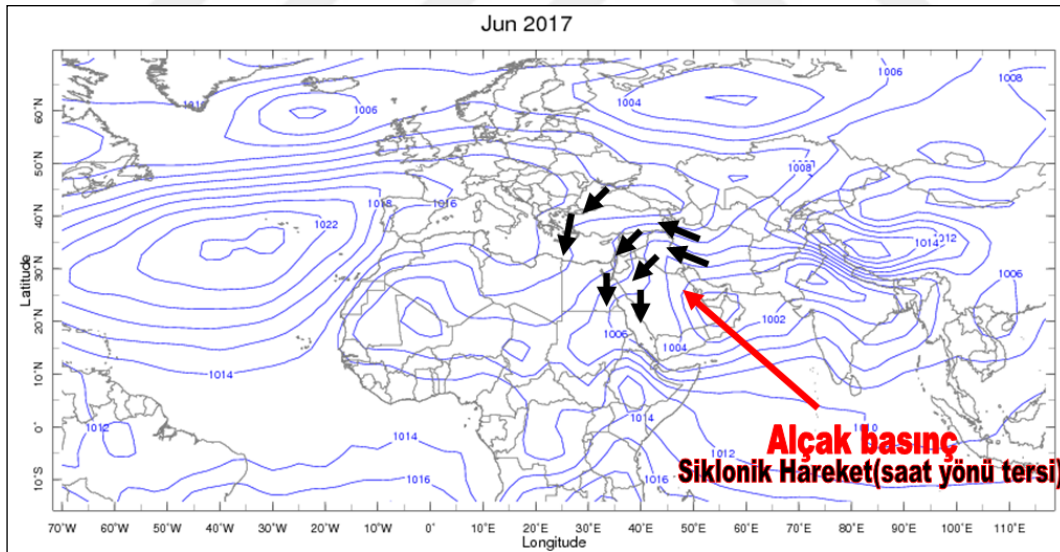
Tablo 10. Trend oranlarının karşılaştırılması.

Veri	Mevkii	Lineer Trend Oranları	Önceki Çalışmalarda Elde Edilen Oranlar		Mann-Kendall Testi	
					Monotonik trend var mı? p<0.05	“z” değeri
Deniz suyu yüzey sıc.	KD	+ 0.017 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	8.15
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.035°C/yıl		
			Bengil ve Mavruk (2018)	+0.032°C/yıl		
	KB	+0,029 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	8.19
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	Orta	+0,039 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.59
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.03°C/yıl		
	GD	+0,046 °C/yıl	Kuleli ve Bayazit (2020)	+0.110°C/yıl (yaz mevsimi)	Evet	7.806
			Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)		
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.04°C/yıl		
Hava Sıc.	KD	+0,029 °C/yıl	Bengil ve Mavruk (2018)	+0.032°C/yıl	Evet	7.56
			Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)		
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	KB	+0,030 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	Orta	+0,029 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GD	+ 0.019 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GB	+ 0.017 °C/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
Rüzgar şid.	KD	-0.008 kts/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	KB	+0.012 kts/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	Orta	-0.014 kts/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GD	-0.007 kts/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GB	-0.016 kts/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
Yüzey tuz.	KD	-0.00072psu/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	KB	-0.00072psu/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	Orta	-0.00096psu/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GD	+0.0096psu/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GB	+0.0036psu/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
Yüzey atm. basıncı	KD	-0.028 mb/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	KB	-0.032 mb/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	Orta	-0.030 mb/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GD	-0.027 mb/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		
	GB	-0.028 mb/yıl	Shaltout ve Omstedt (2014)	+0.038°C/yıl (tüm mevkiler)	Evet	7.56
			Skliris ve diğerleri (2011)	+0.05°C/yıl		

3.7. Upwelling

3.7.1. Upwelling'i meydana getiren parametrelerin ortaya konması

Atmosfer basıncı tüm dünya üzerindeki meteorolojik ve oşinografik olayların anlaşılması için önemli olduğu gibi Ege Denizi'nin dinamiklerinin anlaşılması için de önemlidir. Ortadoğu/Doğu Akdeniz ile Rusya/Ukrayna eksenindeki basınç farklılığı yatay basınç gradyan kuvvetinin oluşmasına sebep olmakta ve bu oluşan yatay basınç gradyan kuvveti coriolis kuvveti ile dengelenmektedir. Bu dengelemenin sonucu olarak havanın hareketi Haziran 2017 ayı ortalama yüzey atmosfer basıncı NCEP-NCAR verilerine istinaden Şekil 34'te, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün temsili olarak seçilen 26 Haziran 2019 tarihine ait sinoptik ölçekteki meteorolojik verilerine istinaden Şekil-35'te ve bölgenin dinamiklerine istinaden jeostrofik dengeyi açıklamak için hazırlanan çalışma Şekil 36'da gösterilmiştir. Bölgede hava kuzeyden güneye doğru bir yay gibi hareket etmektedir. Ekman teorisine göre rüzgâr, kuzeyden güneye doğru estiğinde Ege Denizi'nin doğu sahilinde yüzey sularının karadan denize doğru dik olacak şekilde hareket etmesine (doğu sahilinde upwelling) sebebiyet vermektedir.

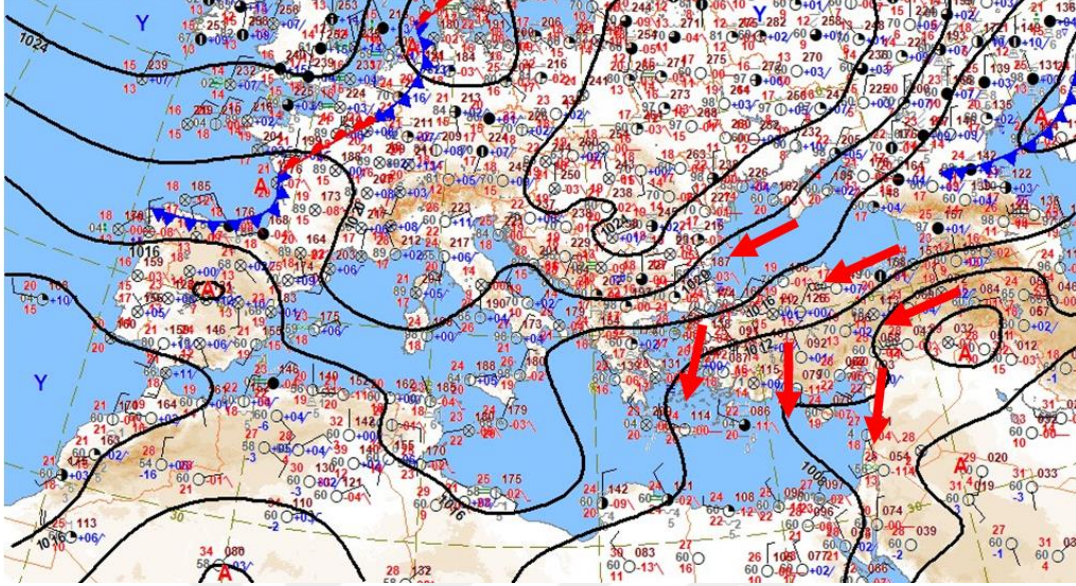


Şekil 34. Haziran 2017 yılı yüzey atmosfer değerleri ve yüzeydeki hava hareketi yönü

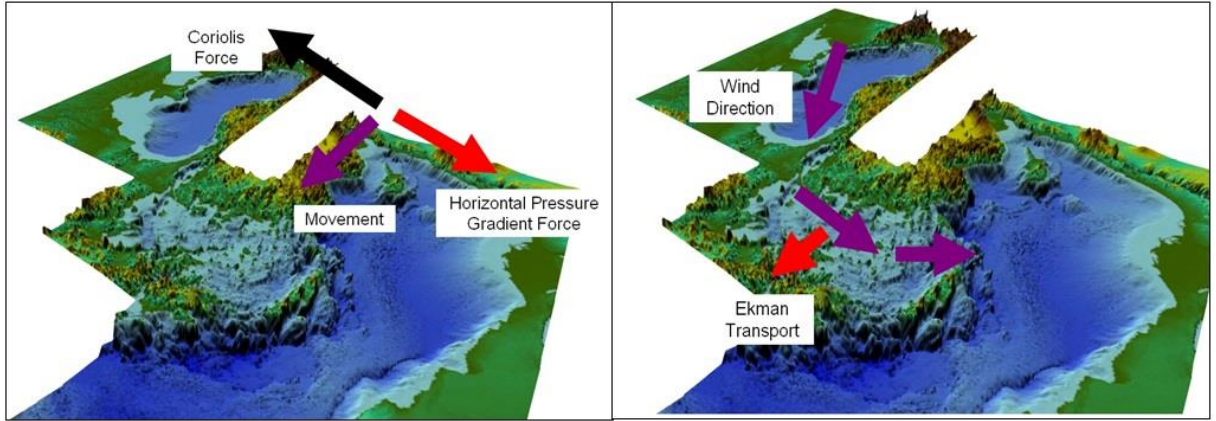
(http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Atm_Circulation, NCEP-NCAR).

Sinoptik ölçekteki basınç farklılıklarının etkisi ile oluşan upwelling'in tespiti ve detaylı inceleme yapılması maksadıyla sayısal model (ECMWF, Global SSS/SSD L4) ve gerçek veriler üzerinden etraflıca değerlendirmeler yapılmıştır. Bu kapsamda verilerin

uygunluğuna göre görseller hazırlanarak mevkisel ve zamansal karşılaştırmalar, analizler yapılmıştır ve müteakip sayfalarda sunulmuştur.



Şekil 35. 26 Haziran 2019 sinoptik ölçekte yüzey atmosfer basıncı değerleri ve yüzeydeki hava hareketinin yönü (<https://mgm.gov.tr/>).



Şekil 36. Ege Denizi'nde meydana gelen yukarı doğru akıntı (upwelling) olayını oluşturan kuvvetlerin gösterimi.

Ege Denizi yüzölçümü bakımından Akdeniz ve Karadeniz'e nazaran küçük bir deniz olmakla birlikte sahip olduğu özellikler ve dinamikler itibariyle eşsiz bir denizdir. Karadeniz sularının etkisi kuzeybatı mevkiinden görülürken, kuzeydoğu ve orta bölgelerde başka bir olay olan upwelling'in etkileri görülebilmektedir.

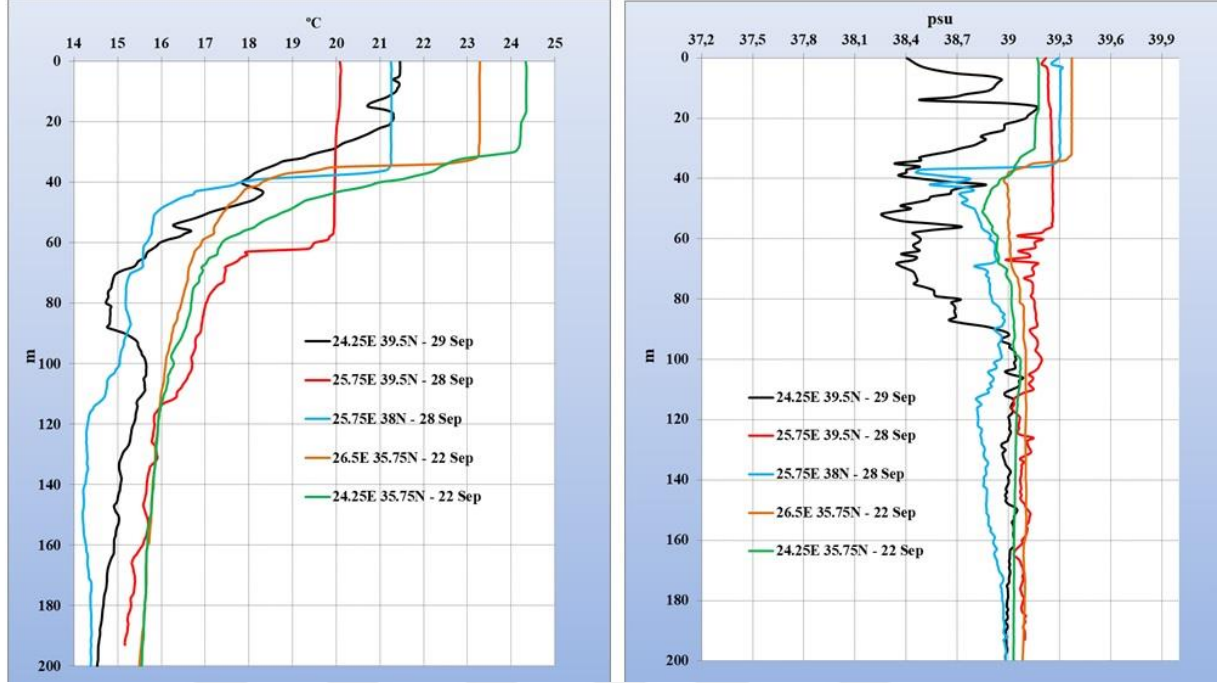
Aynı aya sahip maksimum farklı mevkiyi içerecek şekilde veri bulmaya çalışılmış ve bu kapsamda Mart 1993, Eylül 2003 ile Temmuz 2015 ayları pilot aylar olarak upwelling'in tespiti için incelemek üzere seçilmiştir. Deniz suyu sıcaklık ve tuzluluk verileri Coriolis ile SHOD Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Söz konusu deniz suyu sıcaklık-tuzluluk verilerinin ölçüm tarihlerine ilişkin ECMWF yeniden analiz edilmiş verileri seçilerek analizler yapılmıştır. Gerçek verilerin mevcut olduğu günlere ait rüzgâr şiddeti/yönü, deniz suyu sıcaklık, yüzey atmosfer basıncı verileri üzerinden yapılan değerlendirmeler Eylül 2003, Temmuz 2015 ve Mart 1993 için yapılmıştır.

Ege Denizi'nin kuzeydoğusu, kuzeybatısı, ortası, güneydoğusu ile güneybatısı farklı oşinografik özelliklere sahiptir (Şekil 37). Örneğin aynı enlemlerde birbirine yakın tarihlerde yapılan ölçümlere göre (28-29 Eylül 2003) kuzeydoğu (20°C-39.2psu) mevkiisi kuzeybatı mevkisine (21.5°C-38.4psu) göre upwelling'in etkisi ile hem daha tuzlu hemde daha soğuktur. Ege Denizi'nin genel siklonik döngüsü yüzey sularının Kuzey Ege Denizi'nin doğusundan Karadeniz sularının uzak tutulmasına sebep olan etmenlerdendir. Güneydeki ölçümlerden elde edilen deniz suyu yüzey sıcaklığı orta ve kuzeydeki mevkilere göre daha sıcaktır. Ege Denizi'nin ortasındaki istasyonda meydana gelen upwelling ve Orta Ege Denizi'ndeki siklonik döngünün de etkisi ile orta istasyondaki deniz suyu yüzey sıcaklığı değerleri kuzeybatı mevkisine göre daha güney enlemlerde bulunmasına karşın kuzeybatı mevkisinden daha düşüktür (Şekil 37). Bababurnu ve Midilli Adası'nın batısı üzerine yapılan çalışmalar bahse konu sahanın upwelling hadisesi oluşan bölge olduğunu göstermektedir (Androulidakis ve diğerleri, 2017).

Kuzeybatı noktası sahip olduğu düşük tuzluluk değeri ile bambaşka bir özellik olan Karadeniz sularının etkisini taşımaktadır ve farklı bir karakteristik yapısına sahiptir. Ayrıca kuzeybatı mevkiinde sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin derinliğe sari olarak dalgalanmaya sahip olduğu görülmüş olup bu durum bölgenin Karadeniz sularının etkisinde (izlediği rota üzerinde) olmasından (dikey karşımın meydana gelmesinden) kaynaklanmaktadır.

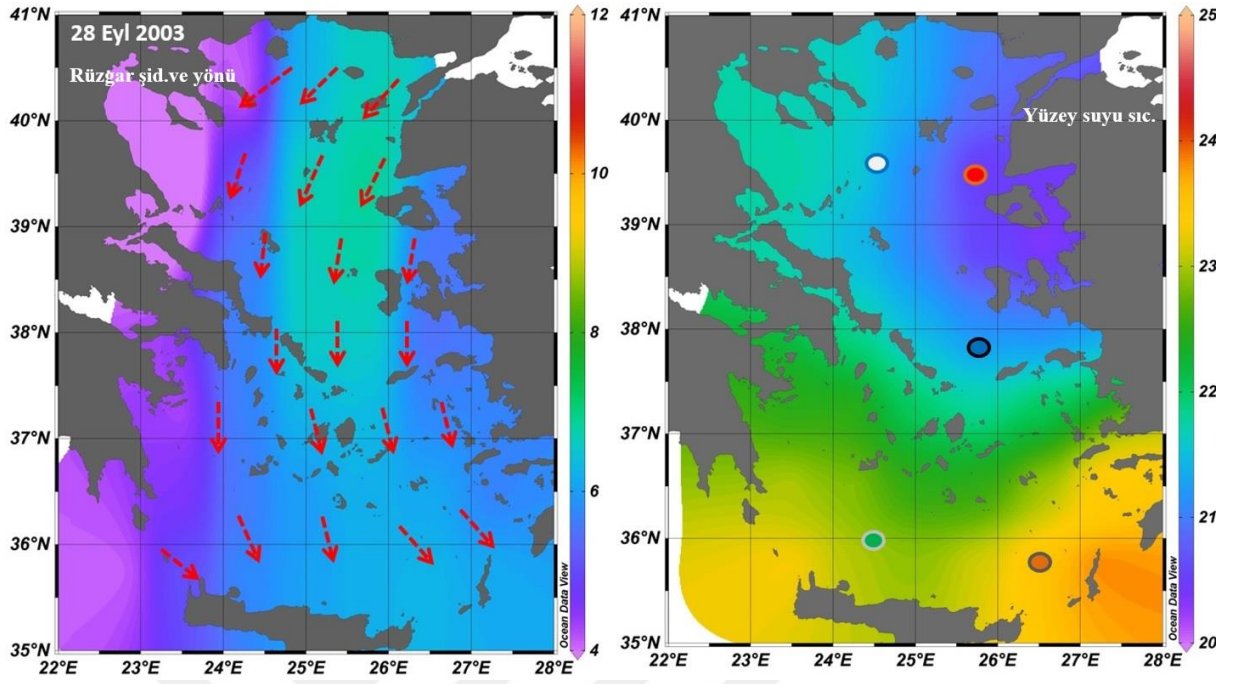
Eylül 2003 verileri içerisinde upwelling olayının gerçekleşmesinin beklendiği sahaya ilişkin 28 Eylül 2003 tarihi seçilerek yapılan incelemede deniz suyu sıcaklığı profilinde 39.5K-25.75D mevkiinde karışım tabakasının (20.78 °C) Şekil 37'de gösterildiği üzere upwelling'in etkin olduğu derinliğin Androulidakis ve diğerleri (2017) ile Mamoutos ve diğerleri (2017)'nin çalışmaların aksine 40m'den daha derin derinliklere kadar (yaklaşık

56m) eriştiği ve aynı günde kuzeyli rügarların (9 m/s şiddete ulaşan) bölgede hakim olduğu tespit edilmiştir.

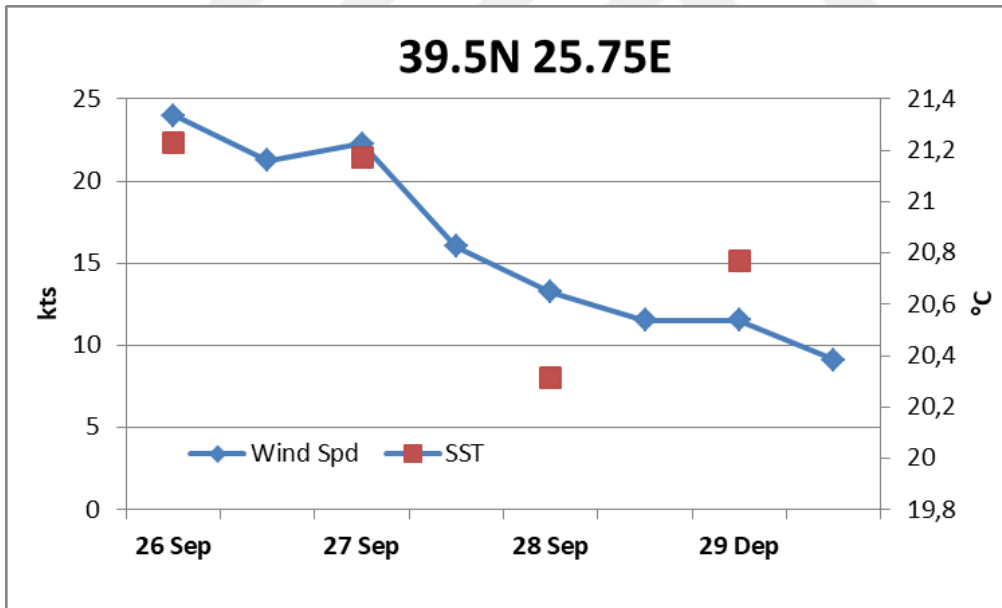


Şekil 37. Eylül 2003 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri.

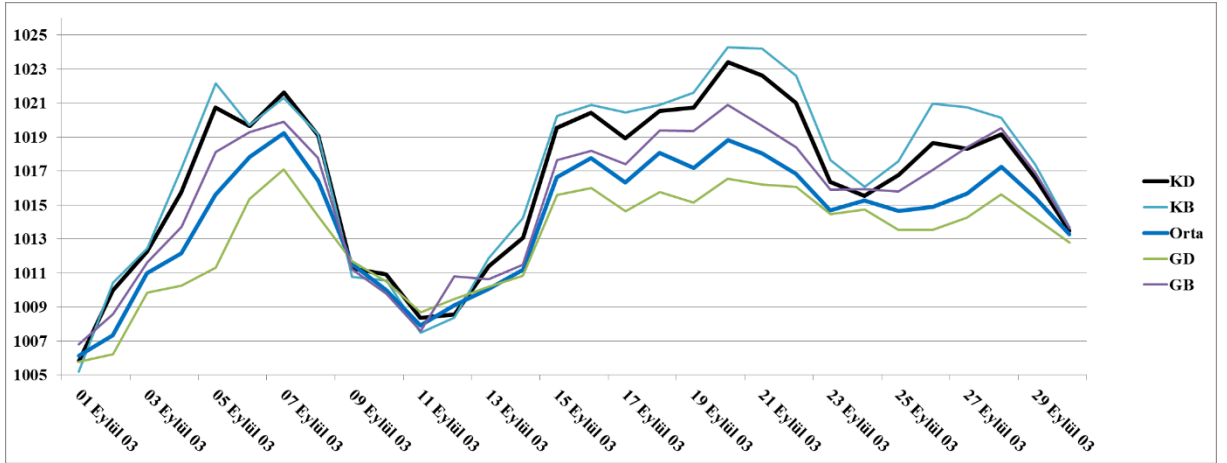
28 Eylül 2003 tarihine ait rüzgar şiddeti-yönü ile deniz suyu yüzey sıcaklığı ECMWF yeniden analiz edilmiş verilerine göre bölgede upwelling hadisesi mevcuttur (Şekil 38). Eylül başı itibariyle soğuyan havaların etkisinin deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerinde görülmesi nedeniyle yüzey suyunun sıcaklığı düşmüş ve enlemlere sari değişim eylül sonu itibari ile belirginleşmiştir. Şekil 38'deki deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri üzerinde yer alan mevkiiler Şekil 37'de profilleri sunulan CTD verilerinin mevkiilerini belirtmektedir. Bababurnundan Sakız Adası'na kadar olan alanda yüzey suyu sıcaklığı 20°C'ye kadar düşmektedir. Bahse konu alanda doğu-batı eksenindeki sıcaklık farkı ~1.3°C'dir. Şekil 39'da noktasal olarak rüzgâr şiddeti ile deniz suyu yüzey sıcaklığının değişimine bakıldığında bahse konu verilerin aralarında direkt bir ilişkinin olmadığını görülmektedir. Bu durum noktasal değil sinoptik ölçekteki değişimlerin Ege Denizi'nin meteorolojik ve oşinografik değişimlerinin üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca söz konusu tarihte Şekil 40'ta ise kuzey-güney eksenli yüzey atmosfer basıncı farkının (2mb) mevcut olduğu da görülmüştür.



Şekil 38. 28 Eylül 2003'e ait rüzgar şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı durumu.



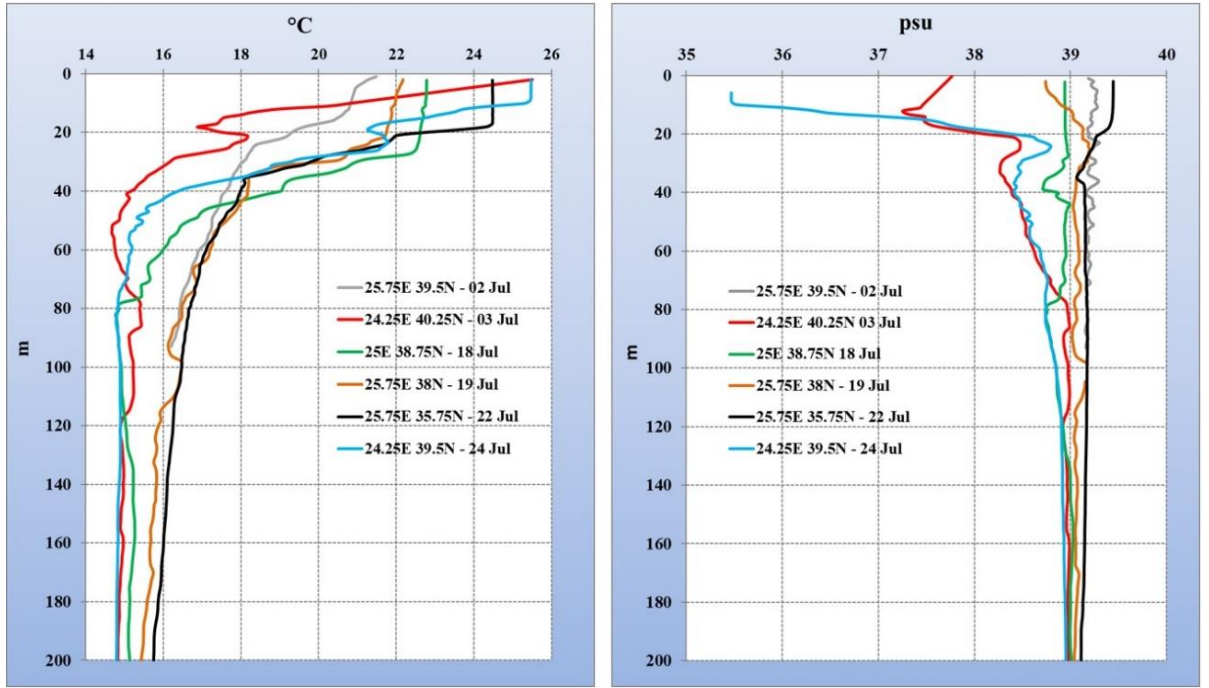
Şekil 39. 39.5K - 25.75D mevkiinde 28 Eylül 2003'de rüzgar şiddeti(m/s) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi (ECMWF yeniden analiz edilmiş verileri).



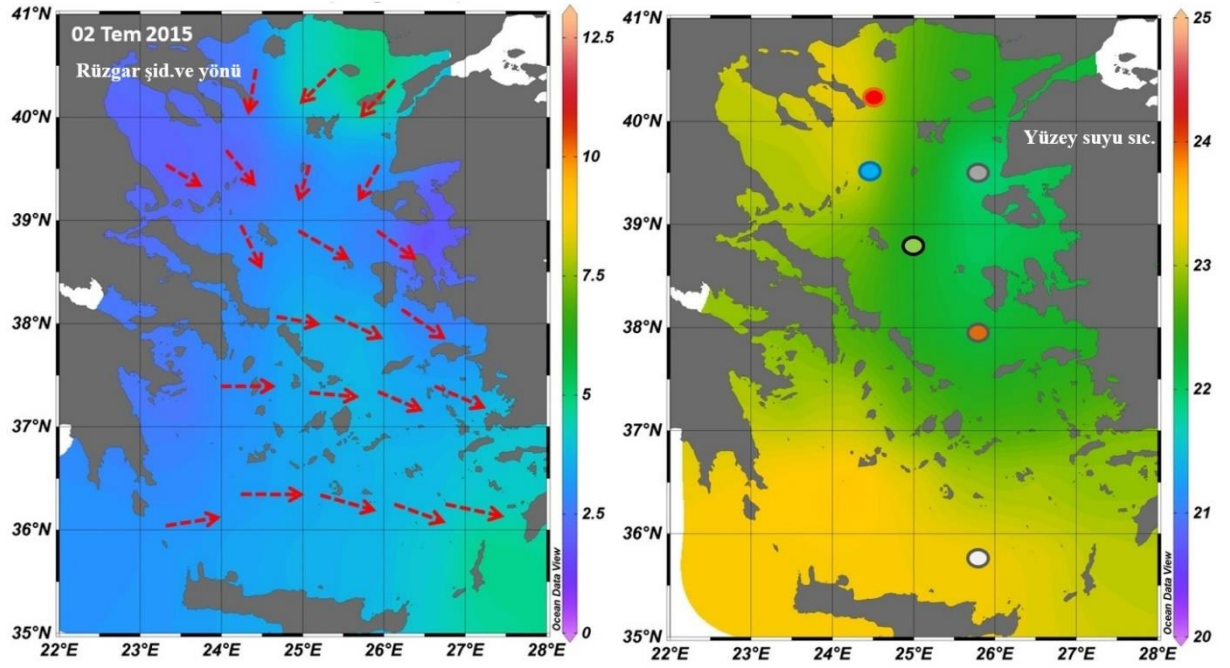
Şekil 40. Eylül 2003 ayında ECMWF yeniden analiz edilmiş yüzey atmosfer basıncı verisi değişimi.

Temmuz 2015 ayı CTD verileri incelendiğinde yüzey suyu tuzluluk ve sıcaklık verilerinin bölgesel olarak farklılıklar sergilemektedir (Şekil 41). Kuzeybatı noktası önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi özellikle yüzey suyu tuzluluğu değerleri (38 psu'dan az) açısından diğer kuzeydoğu, orta ve günedeki istasyonlara nazaran (yaklaşık 39psu) daha büyük değerler almaktadır. Kuzeydoğu mevki ise kuzeyde olmasına karşın güneydeki mevkiye göre neredeyse aynı yüzey suyu tuzluluk değerine (0.2psu fark) sahiptir.

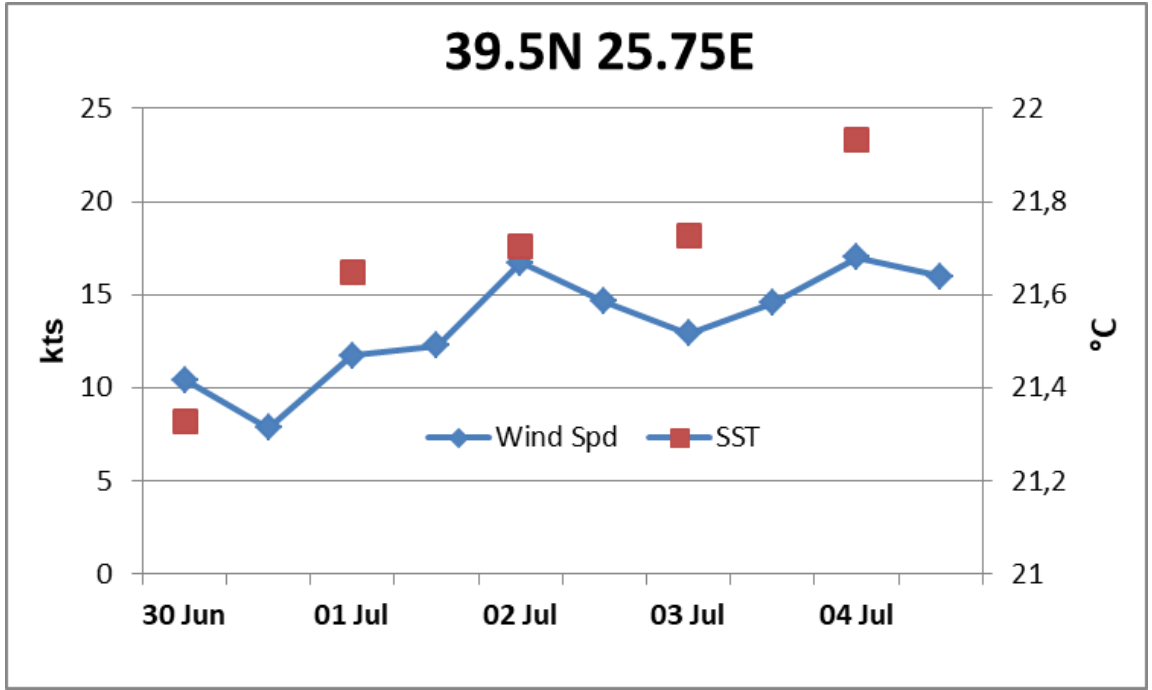
02 Temmuz 2015 (upwelling beklenmiyor) ile 18 Temmuz 2015 (upwelling belirgin) tarihlerine ait upwelling olayının gerçekleşmesinin beklendiği mevkilerdeki veriler incelenmek üzere seçilmiştir. 02 Temmuz 2015'te rüzgârın kuzeyli değil batılı ve düşük şiddetli (3m/s) olduğu, 39.5K – 25.75D mevkiinde 14m derinliğe kadar karışım tabakasının (20.87°C) mevcuttur (Şekil 41,42). 02 Temmuz 2015 tarihine ilişkin deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin sunulduğu Şekil 42'de yer alan mevkiler, Şekil 41'deki CTD verilerinin mevkilerini göstermektedir. Noktasal olarak yapılan analizde ise deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr şiddetinin değişimleri arasında ilişkinin söz konusu değildir (Şekil 43). Bababurnu ile Sakız Adası arasında ve Ege Denizi'nin doğusunda yer alan bölümde deniz suyu yüzey sıcaklığının batıya göre daha düşük (~ 21.7 °C) olduğu tespit edilmiştir. Ancak söz konusu farklılık 18 Temmuz 2015'e ait yüzey suyunun doğu-batı eksenindeki farklılığın yarısı kadardır.



Şekil 41. Temmuz 2015 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri.



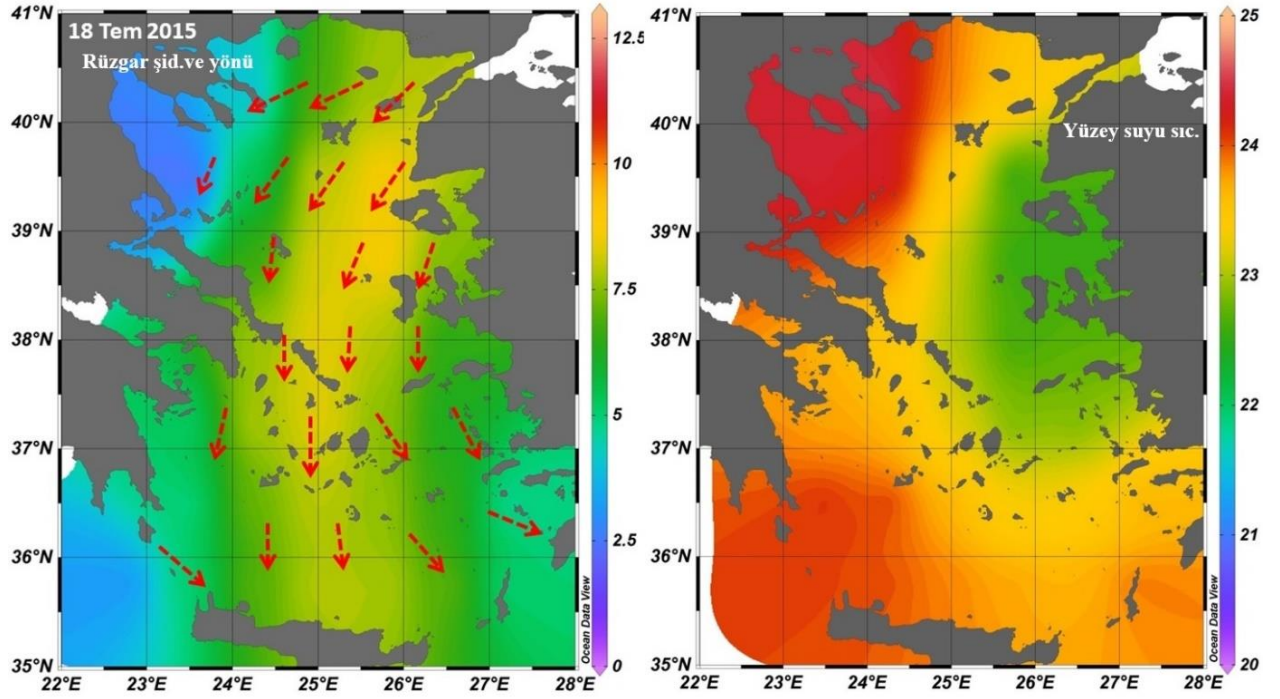
Şekil 42. 02 Temmuz 2015'e ait rüzgâr şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı durumu.



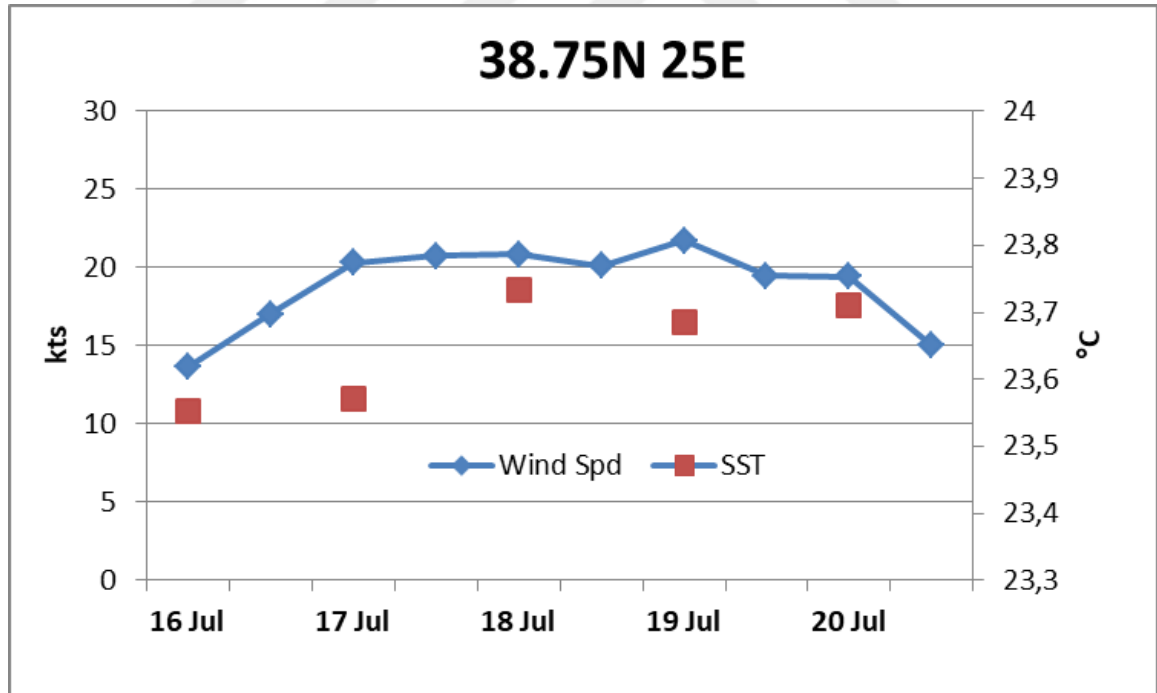
Şekil 43. 39.5K ve 25.75D mevkiinde 02 Temmuz 2015'te rüzgâr şiddeti(kts) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi (ECMWF yeniden analiz edilmiş verileri).

18 Temmuz 2015'te rüzgârın kuzeyli ve şiddetinin 9m/s'e yükseldiği, upwelling'in beklediği 38.75K – 25D mevkiinde 26m derinliğe kadar karışım tabakasının (22.78 °C) söz konusu olduğu tespit edilmiştir. ECMWF yeniden analiz edilmiş rüzgâr şiddeti-yönü ve deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerine göre yüksek rüzgar şiddetinin mevcut olduğu 18 Temmuz 2015 tarihinde deniz suyu yüzey sıcaklığı Bababurnu ile Ahikerya adası arasında kalan sahada batıya nazaran daha düşüktür (Şekil 44). 02 Temmuz 2015'te ise deniz suyu yüzey sıcaklığı 18 Temmuz 2015'e nazaran doğu ekseninde belirgin bir soğuma sergilememektedir. Anılan sahada doğu-batı ekseninde 2°C'ye ulaşan deniz suyu yüzey sıcaklığı farkı mevcut olup deniz suyu yüzey sıcaklığı Ege Denizi'nin doğusunda 22.8 °C'ye kadar düşmektedir. Boylamlara sari deniz suyu yüzey sıcaklığı değişimi belirgindir.

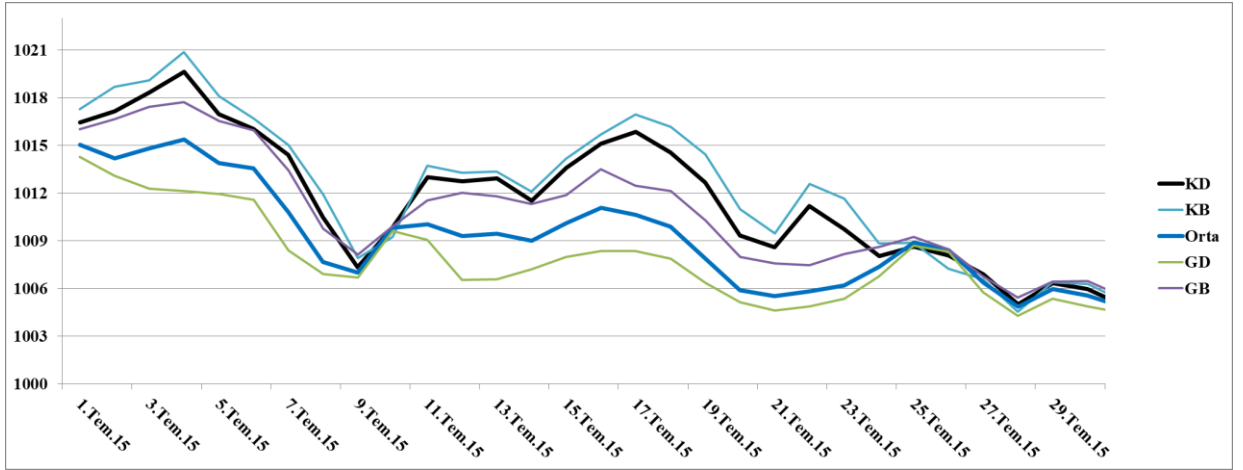
18 Temmuz 2015 için noktasal olarak yapılan analizde deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr şiddetinin değişimleri arasında direkt ilişki yoktur (Şekil 45). Sinoptik ölçekteki rüzgârın izlediği yön ve sahip olduğu şiddete bakılarak upwelling gününün tespitinin yapılması gerekmektedir Kuzeyli rüzgarlar mevcut olmadığında upwelling zayıflamaktadır. Kuzey-güney eksenindeki yüzey atmosfer basıncı farkı ~4mb'a ulaşabilmektedir (Şekil 46).



Şekil 44. 18 Temmuz 2015'e ait rüzgâr şiddeti (m/s) ve deniz suyu yüzey sıcaklığı durumu.



Şekil 45. 38.75K ve 25D mevkiinde 18 Temmuz 2015'te rüzgâr şiddeti(kts) ile deniz suyu yüzey sıcaklığının (°C) değişimi (ECMWF yeniden analiz edilmiş verileri).



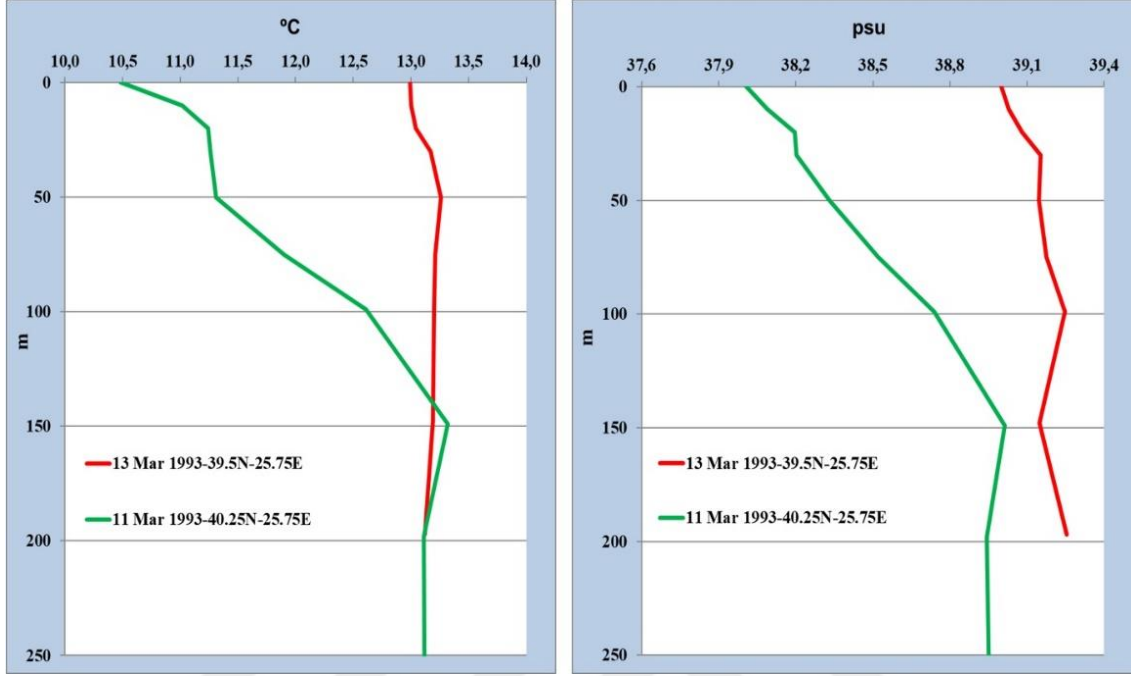
Şekil 46. Temmuz 2015 ayında ECMWF yeniden analiz edilmiş yüzey atmosfer basıncı verisi değişimi.

Mart 1993 ayı verileri incelendiğinde deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerinden upwelling tespiti yapılamamaktadır (Şekil 47). Rüzgâr şiddeti/yönü verileri Şekil 48’de sunulduğu üzere yaz mevsiminde esen etezyen rüzgarları ile aynı şiddette ve yönde olmasına karşın mevsimsel olarak mart ayında yüzey sularının alt tabaka sular ile aynı sıcaklık değerlerine sahip olması, upwelling’in deniz suyu sıcaklığı üzerinde derinliğe sâri olarak meydana getirdiği değişimin ortaya çıkmamasına sebep olmaktadır. Bu durum deniz suyu yüzey sıcaklığının upwelling’in tespitinde sadece yaz mevsimi için uygun olduğu, diğer mevsimlerde uygun olmadığı ile upwelling’in sadece yaz mevsiminde değil tüm mevsimlerde görülebileceği sonucuna varmamızı sağlamaktadır.

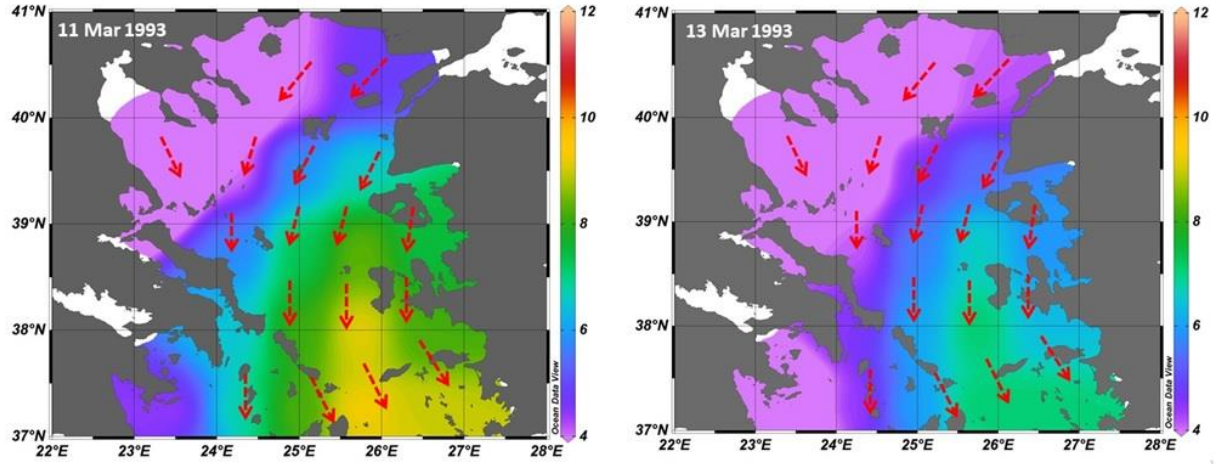
Deniz suyu sıcaklık-tuzluluk verilerinin mevcudiyetine istinaden seçilmiş veriler üzerinden yapılan kıymetlendirmede noktasal olarak deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr şiddeti verilerinin direkt olarak ilişkilendirmenin doğru bir yöntem olmadığı ve bu analizler ile upwelling’in tespiti hususunda belirgin bir sonuca varılamadığı görülebilmektedir. Upwelling’in daha geniş bir alana, büyük ölçekteki rüzgâr şiddeti/yönü verilerinin analizi ile tespitinin sağlanması daha doğru bir yöntemdir. Karşılaştırmalardan görüldüğü gibi rüzgârın geniş bir alandaki deniz yüzeyindeki etkisinin değerlendirilerek sonuca ulaşmak daha isabetli olacaktır.

Tablo 11’de ise upwelling’in tespiti için rüzgâr verilerinin analizine ilişkin yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Yapılan analizler Ege Denizi üzerinde rüzgâr şiddetinin sadece yaz mevsiminde değil diğer mevsimlerde de yüksek değerler alabildiğini göstermektedir. Bu

durum upwelling'in sadece yaz mevsiminde değil diğer mevsimlerde de görülebildiğine işaret etmektedir.



Şekil 47. Mart 1993 ayına ait sıcaklık ve tuzluluk profilleri.



Şekil 48. 11 ve 13 Mart 1993 tarihlerindeki gerçek CTD verilerin olduğu saha için rüzgâr yönü(m/s) ve şiddeti değerleri.

Genel olarak upwelling hadisesinin beklendiği mevkiler için yapılan noktasal analizlerde deniz suyu yüzey sıcaklığının azalması ile rüzgâr şiddetinin artması arasında direkt ilişki görülememiştir: ancak upwelling noktasal değil sinoptik ölçekte bir olay

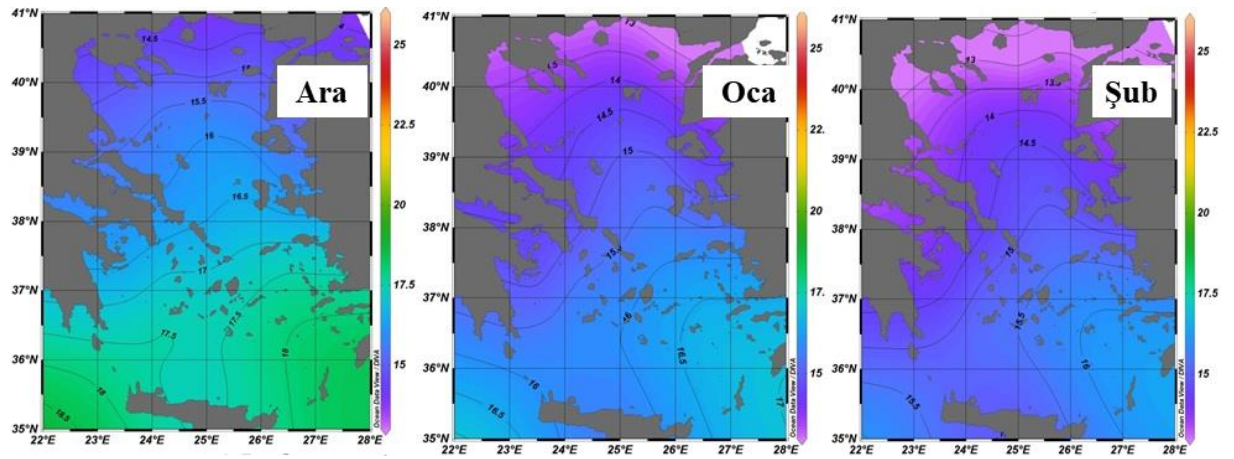
olduğundan tüm Ege Denizi'ne ait rüzgâr şiddeti verileri görselleştirilerek analizler yapılmıştır. 02 Temmuz 2015 tarihine bakıldığında rüzgarın batıdan estiği ve rüzgar şiddetinin ise düşük olduğu görülmektedir. Söz konusu tarihe ait deniz suyu sıcaklık profili incelendiğinde karışım tabakasının derinliğinin düşük olduğu, tuzluluk profilinin (~39.3psu) ise derinliğe sâri az değişim sergilediği görülmektedir. 18 Temmuz 2015'te ise rüzgâr şiddetinin yüksek (~20kts), kuzeyli ve upwelling'in etkisinde daha yüksek derinliğe erişen bir karışım tabakasının varlığı görülmektedir. 28 Eylül 2003'te ise karışım tabakasının 56m derinliğe kadar erişebildiği tespit edilmiştir.

Tablo 11. Upwelling tespitinde rüzgâr şiddeti/yönü verilerinin analizi.

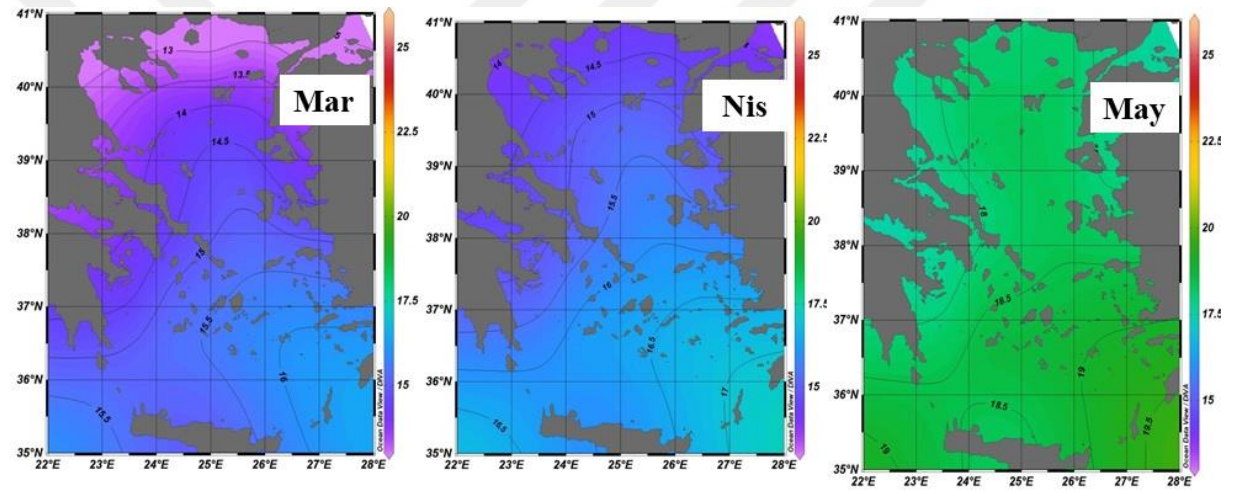
Tarih	Rüzgâr Şiddeti Değ.	Genel Rüzgâr Yönü
11 Mart 1993	Şiddeti güney doğru artmakta (9m/s'i bulabilmekte)	Kuzeyli rüzgâr ve izlediği rota Etezyen rüzgarlarına benzer
13 Mart 1993	Şiddeti Orta Ege'de 8m/s 'a erişmekte	Kuzeyli rüzgâr ve izlediği rota Etezyen rüzgarlarına benzer
28 Eylül 2003	Şiddeti güney doğru artmakta (9m/s)	Kuzeyli rüzgâr ve izlediği rota Etezyen rüzgarlarına benzer
02 Temmuz 2015	Şiddeti Orta Ege'de 3m/s'a maksimum ulaşabilmekte	Değişkenlik göstermekle birlikte genel olarak batılı (Etezyen patern değil)
18 Temmuz 2015	Şiddeti güney doğru artmakta (9m/s bulabilmekte)	Kuzeyli rüzgâr ve izlediği rota Etezyen rüzgarlarına benzer

3.7.2. Deniz suyu yüzey sıcaklığı ile upwelling indeks hesaplanması

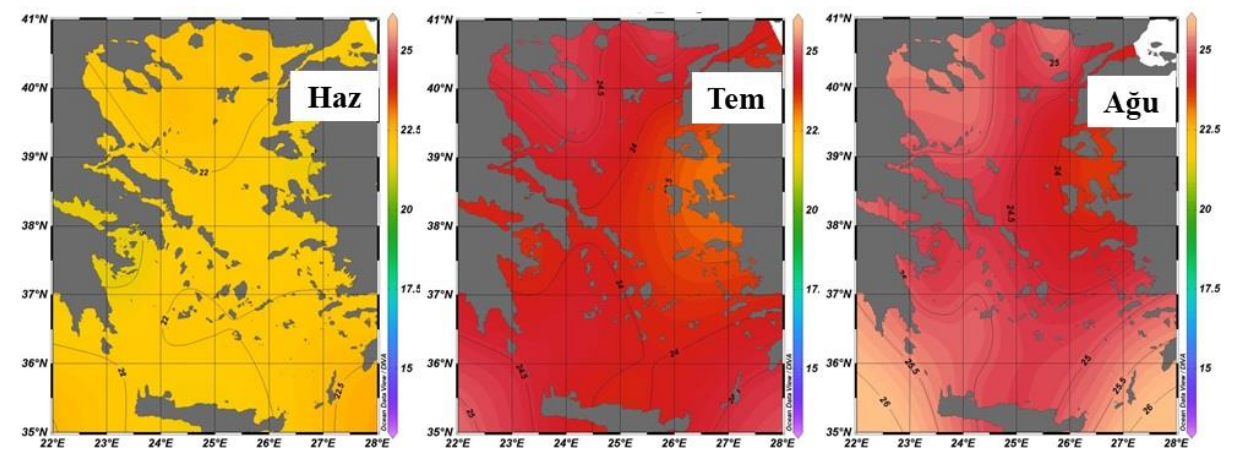
0.75° çözünürlükteki deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin her grid noktasındaki 40 yıllık ortalaması alınarak elde edilen aylara sari yüzey görüntüsü kış mevsimi için Şekil 49'da, ilkbahar mevsimi için Şekil-50'de, yaz mevsimi için Şekil-51'de, sonbahar mevsimi için ise Şekil-52'de gösterilmiştir. Söz konusu verilerden istifade edilerek upwelling'in tespiti kolaylıkla belirlenebilmiştir. Elde edilen yüzey görüntülerinden UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) hesaplanması aşamasında referans olarak kullanılacak batı ile doğu eksenindeki noktalarının belirlenmesinde faydalanılmıştır.



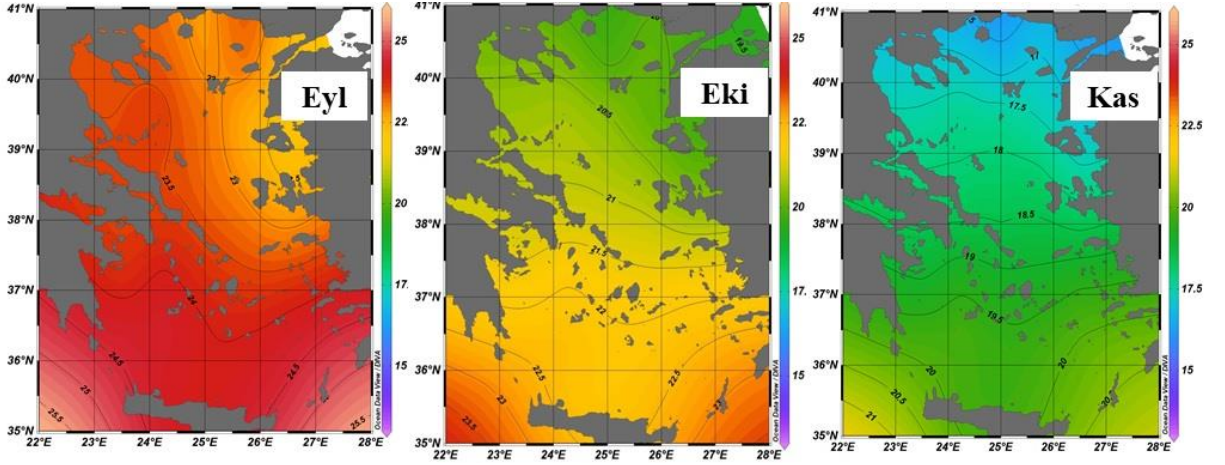
Şekil 49. Kış mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri.



Şekil 50. İlkbahar mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri.



Şekil 51. Yaz mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri.



Şekil 52. Sonbahar mevsimi ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri.

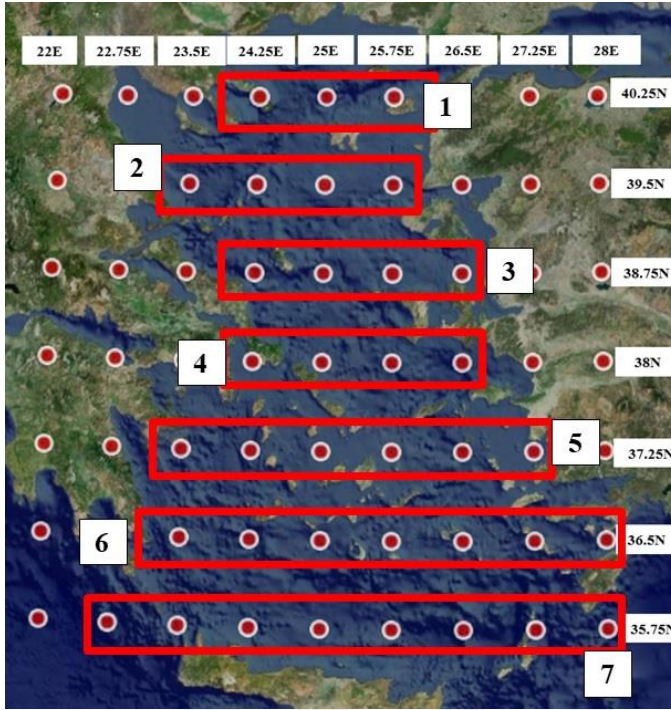
Deniz suyu yüzey sıcaklığının yazın doğu-batı, kışın ise enlemelere paralel değişim göstermektedir. Söz konusu farklılığın nedeni ise yazın doğu-batı eksenindeki değişimin sebebi upwelling, kış mevsimindeki değişimin nedeni ise güneşin dünyaya geliş açısıdır (güneye doğru daha küçük alana, daha kısa mesafede gelmektedir).

Dünya üzerindeki deniz suyu yüzey sıcaklığı verilerinin enlemlere göre değişim göstermesinin sebebi güneş radyasyonudur. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı yüksek enlemlerde daha düşük, alçak enlemlerde ise daha yüksektir. Çünkü dünya üzerinde alçak enlemlerde ısınmadaki değişim daha küçüktür; ancak yüksek ve orta enlemlerde ise daha büyüktür. Su güçlü bir ısı kapasitesine sahiptir. Yazın yüzeyde ısınma, kışın ise soğuma gerçekleşir. Sıcaklık değişimi orta enlemlerde alçak enlemlere göre daha fazladır. Sıcaklık artan derinlik ile birlikte azalmaktadır. Derin sularda mevsimsel değişim ise söz konusu değildir. Genel olarak dünya üzerinde enlemlere sâri olarak değişen deniz suyu yüzey sıcaklığı upwelling nedeniyle yaz mevsiminde Ege Denizi için enlemlere sâri değil boylamlara göre farklılıklar göstermektedir. Kışın enlemlere göre farklılığın belirgin olup boylamlara göre değişimin görülmemesinin sebebi ise yüzeyde meydana gelen soğuma sonrasında orta tabaka/derin sular ile yüzey sularının yakın değerlere sahip olmasıdır.

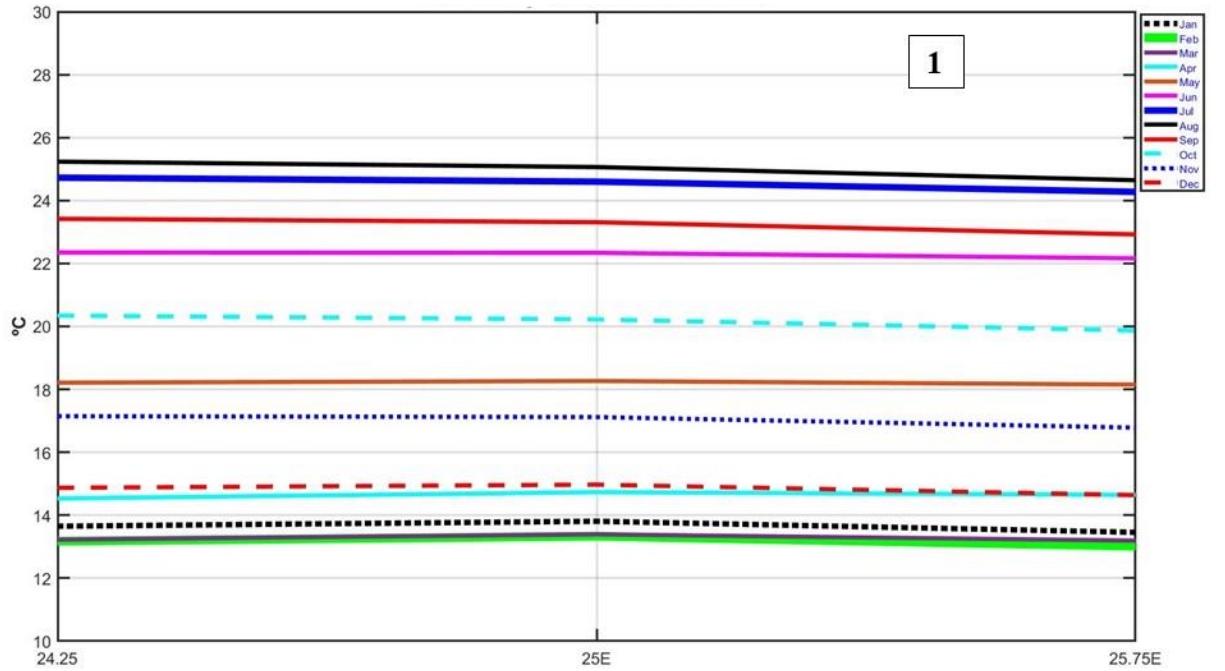
Deniz suyu yüzey sıcaklığı ortalama değerlerinin değişimi incelendiğinde upwelling'in etkisinin açık şekilde tespitinin yapılabildiği ayın haziran değil temmuz ayı olduğu ve ekim ayına kadar etkisinin sürdüğü görülmektedir. Deniz suyu yüzey sıcaklığına bakarak upwelling olayını ortaya koymanın kolay olduğu düşünülebilir; ancak bilimsel bir yöntemle matematiksel ve sistematik olarak bu olayın tanımlanması gerekmektedir.

Upwelling'in tanımlanması için ilk aşamada deniz suyu yüzey sıcaklığının sahile dik eksende boylamlara sâri değişiminin ortaya konulması incelenmiştir. Bu çalışmadaki yöntem Copernicus tarafından İberya yarımadası için uygulanan çalışmanın Ege Denizi'ne uygulanmasıdır. Bu kapsamda 7 enlem değeri için her aya ait 40 yıllık ortalama değeri alınarak boylamlara sâri Demarq ve Faure (2000)'nin çalışmasına benzer şekilde deniz suyu yüzey sıcaklığının sahilden dik eksende uzaklaştıkça meydana gelen değişimi Şekil-53'teki mevkiler için kuzeyden güzeye doğru sırasıyla Şekil 54-60'taki görsellerde gösterilmektedir. Bu grafiklere göre Ege Denizi'nin doğu tarafı özellikle temmuz, ağustos, eylül, ekim aylarında düşük deniz suyu yüzey sıcaklığı değerlerine sahiptir. Diğer aylarda ise bu durum gözlenmediği gibi batıdan doğuya doğru deniz suyu yüzey sıcaklığının artması durumu görülmektedir.

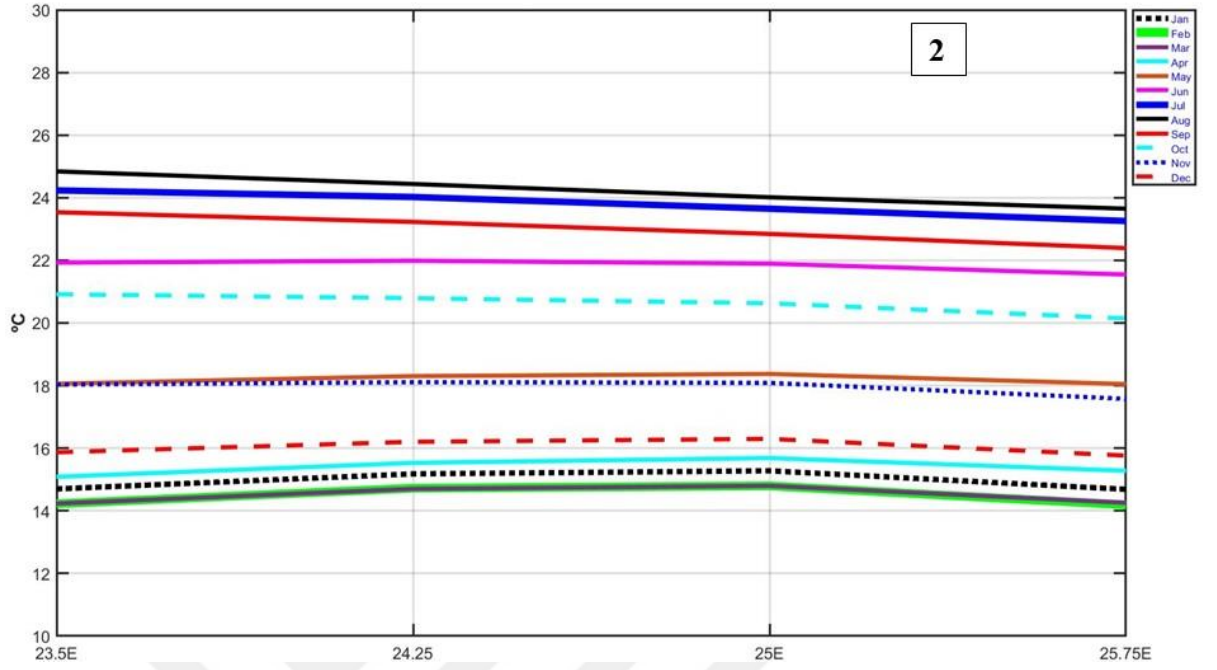
Demarq ve Faure (2000) çalışmasında gösterilen tipik deniz suyu yüzey sıcaklığının değişimi açık denizlere istinaden belirtilen bir çalışmadır. Ege Denizi'nin dinamikleri, yapısı ve açık deniz olmaması gibi nedenler dolayısı ile benzer grafik elde edilmesi mümkün değildir. Ancak bu çalışmanın Ege Denizi üzerine uyarlanarak nasıl bir sonuç ortaya koyduğu denenerek enlemlere sâri olarak deniz suyu yüzey sıcaklığının değişimi için farklı bir bakış açısı geliştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar enlem bazında yüzey suyu sıcaklığının değişiminin gösterilmesinde Demarq ve Faure (2000)'nin çalışmasından faydalanmakta sakınca olmadığını göstermektedir. Özellikle yaz aylarında 39.5K, 38.75K, 38K enlemlerinde Ege Denizi'nde batıdan doğuya doğru upwelling'in etkisi ile negatif deniz suyu yüzey sıcaklığı gradyeni (doğuya doğru azalan) mevcuttur (Şekil 55, 56, 57). Güney enlemlerin (37.25K, 36.5K, 35.75K) enlemleri için hazırlanan görsellerde doğudan batıya doğru yatay olarak negatif gradyenden bahsedilememektedir; bilakis hem negatif hemde pozitif gradyen ile sadece pozitif gradyenin varlığı söz konusudur (Şekil 58, 59, 60).



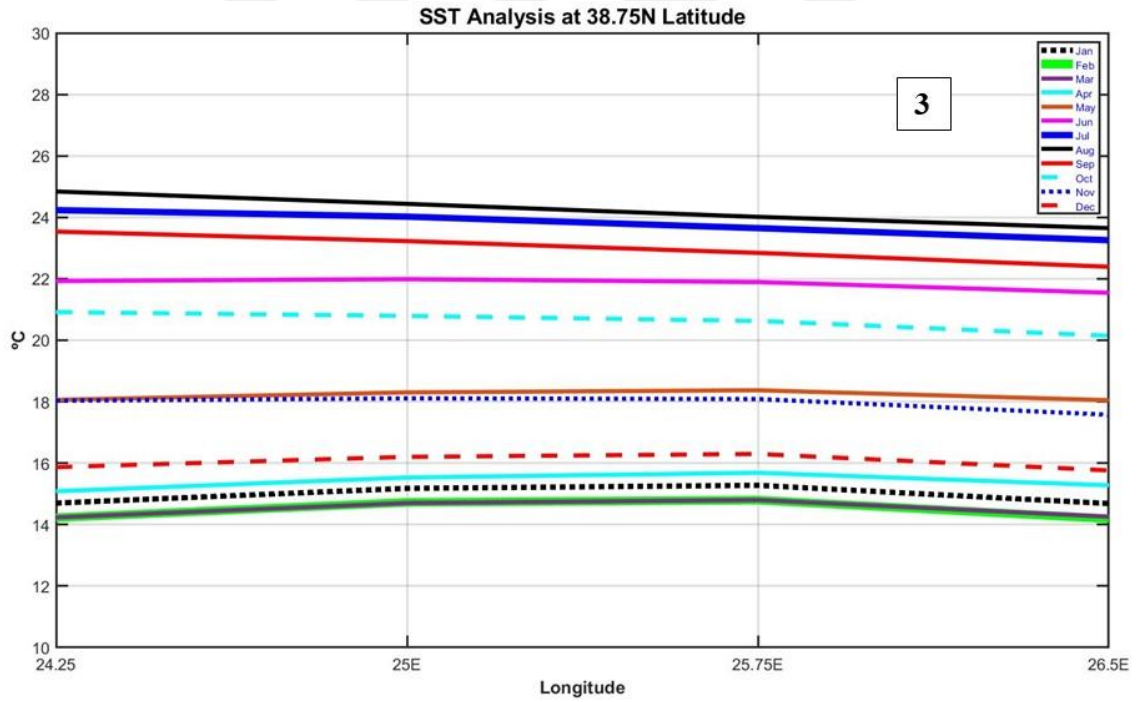
Şekil 53. Boyamlara sâri olarak her enlem için UI analizi yapılan grid noktaları.



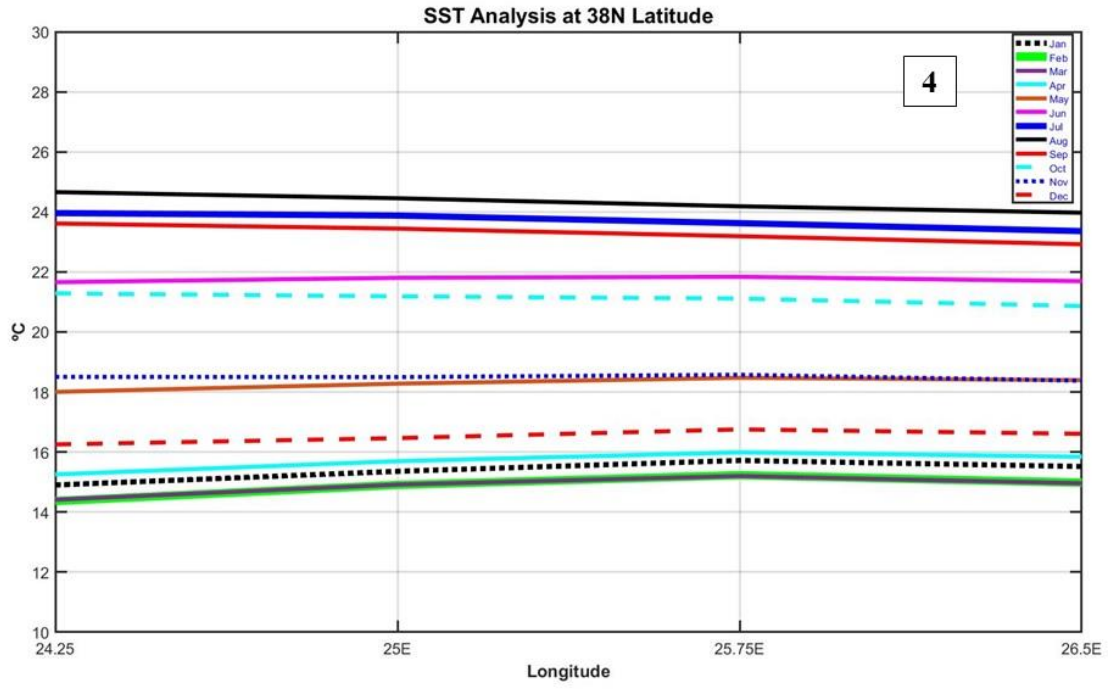
Şekil 54. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 40.25K enleminde boyamlara göre değişimi.



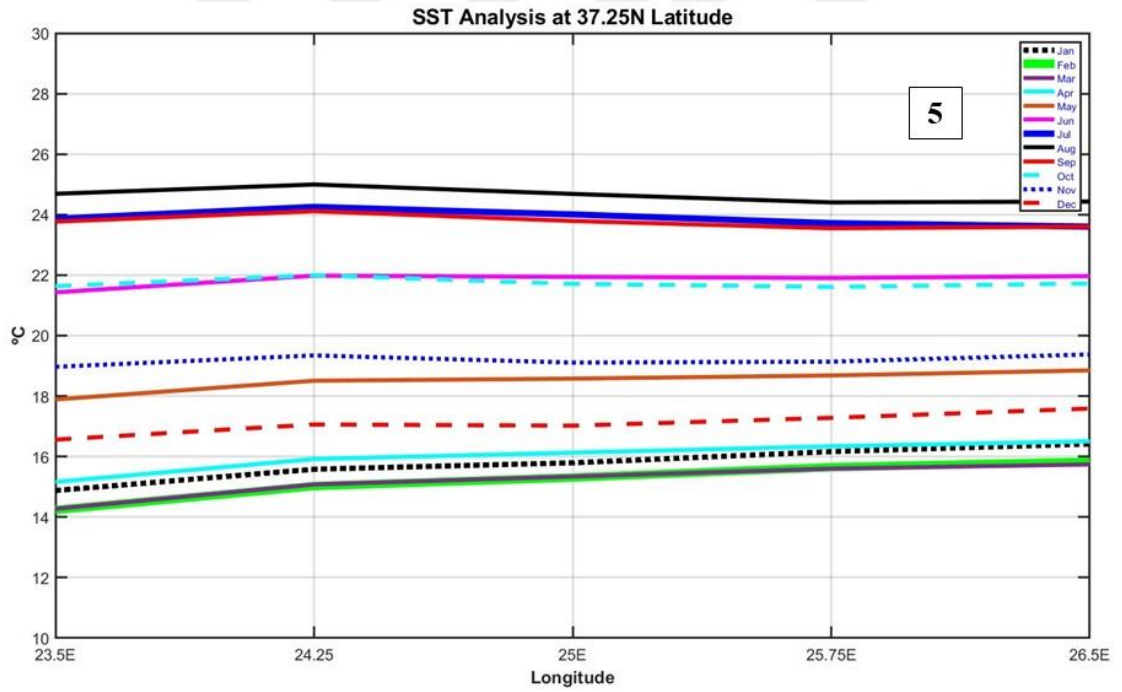
Şekil 55. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 39.5K enleminde boylamlara göre değişimi.



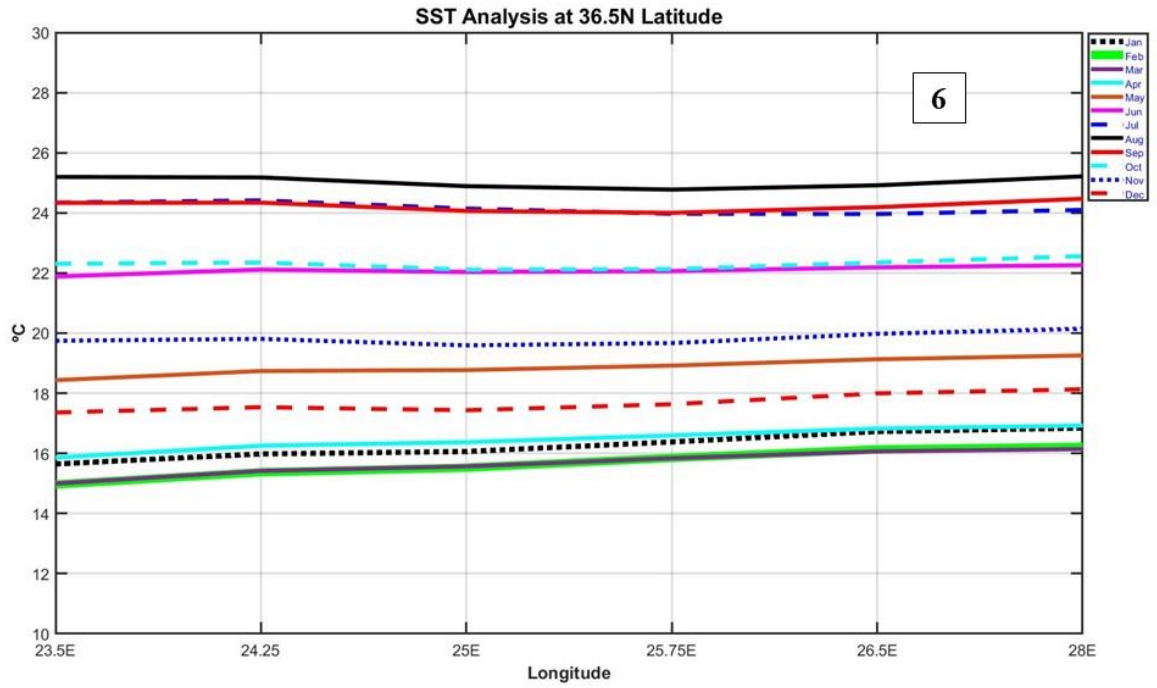
Şekil 56. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 38.75K enleminde boylamlara göre değişimi.



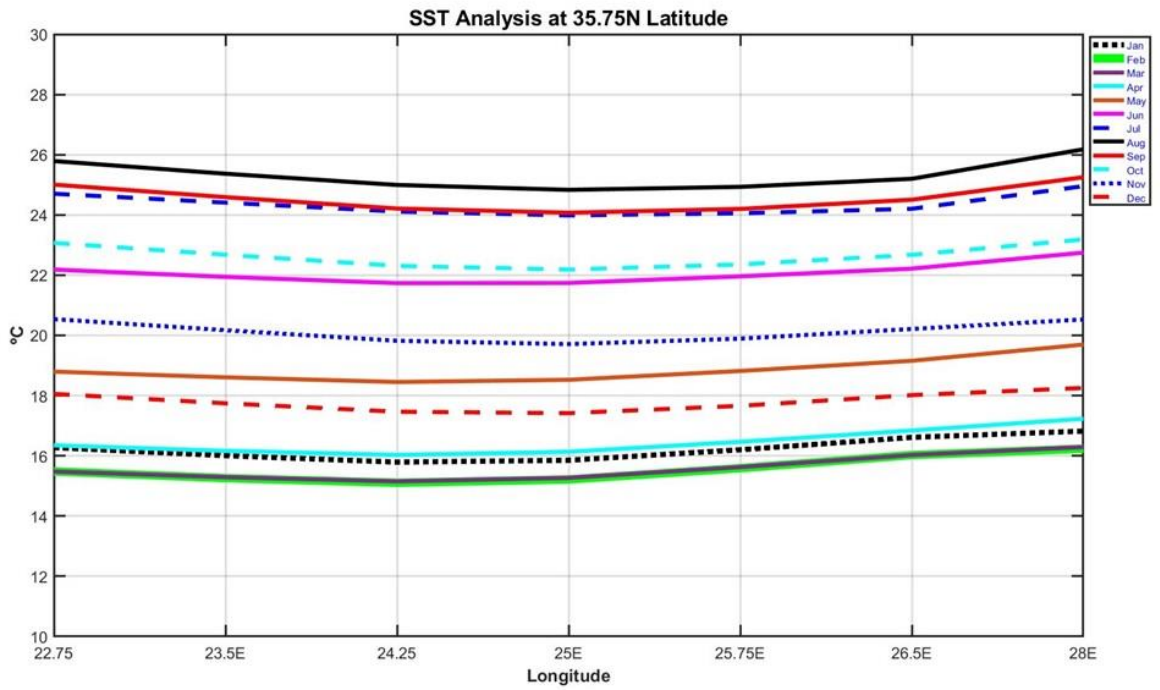
Şekil 57. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 38K enleminde boylamlara göre değişimi.



Şekil 58. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 37.25K enleminde boylamlara göre değişimi.

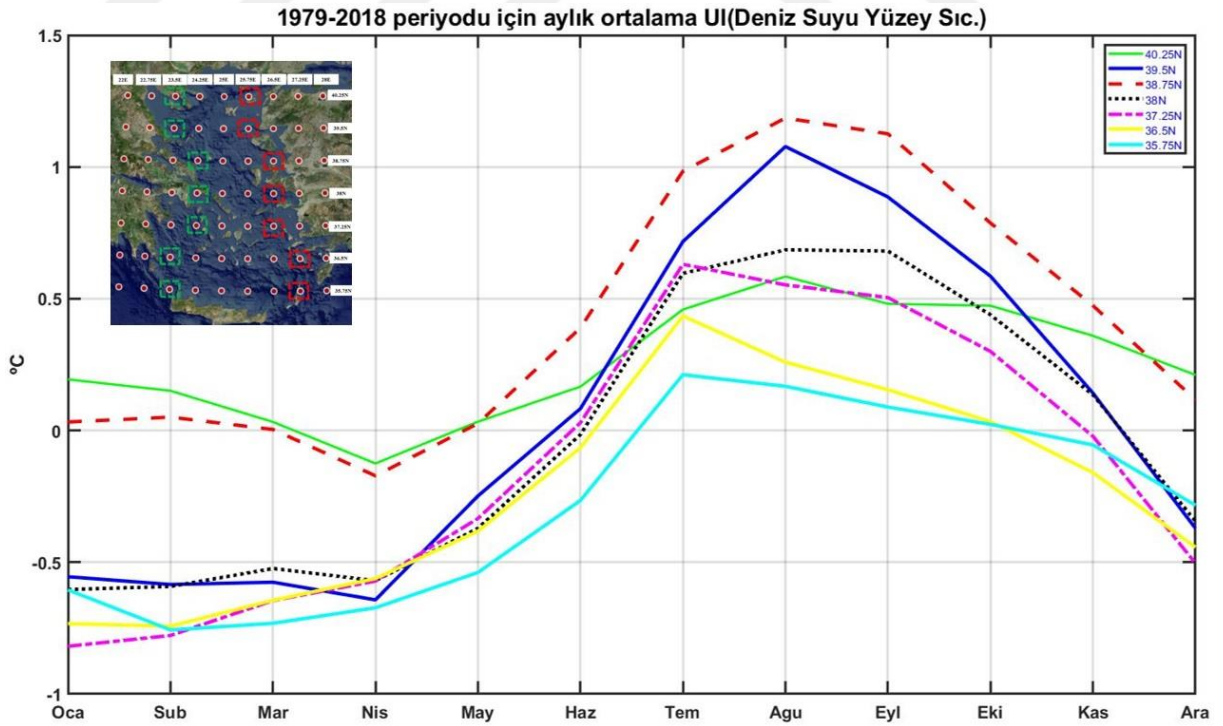


Şekil 59. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 36.5K enleminde boylamlara göre değişimi.



Şekil 60. Ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığının 35.75K enleminde boylamlara göre değişimi.

Deniz suyu yüzey sıcaklığının sahile dik eksendeki değişiminin ve karakteristiğinin daha iyi ortaya konması maksadıyla deniz suyu yüzey sıcaklığı odaklı UI formülü kullanılmıştır. Bu indeks hesaplanırken 40 yıllık her aya ait ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı değeri kullanılarak Şekil 61'deki görsel üretilmiştir. Doğudaki ve batıdaki mevkilere ait deniz suyu yüzey sıcaklığı değerlerinin aylık ortalamalarının farkları dikkate alınarak yapılan hesaplamalar özellikle 38.75K, 39.5K, 38K enlemleri güçlü upwelling olaylarının mevcut olabileceğini göstermektedir. Geçmiş dönemde yapılan çalışmalarda upwelling hadisesinin mevcudiyetinin belirtildiği alanlarda UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı)'nin de upwelling olduğu sonucunu yakaladığı değerlendirilmektedir. Söz konusu sonuca göre upwelling yoğunluğu Mayıs ayında artmaya başlamakta ve Ağustos ayında en yüksek seviyeye erişmektedir. Eylül ayında ise düşüşe geçmektedir. En kuzeydeki (40.25K) ve güneydeki (36.5K, 35.75K) enlemlerin farklı bir karakteristiğe sahip olduğu görülmüştür. Verilerin çözünürlüğü artırılarak veya eş zamanlı olarak Ege Denizi'nde upwelling'in beklendiği Bababurnu, Midilli adası yakınlarından Türkiye-Yunanistan sahili arasında yapılacak CTD ölçümü ile bu çalışmada kullanılan ECMWF yeniden analiz edilmiş verilerinin karşılaştırması yapılabilir.

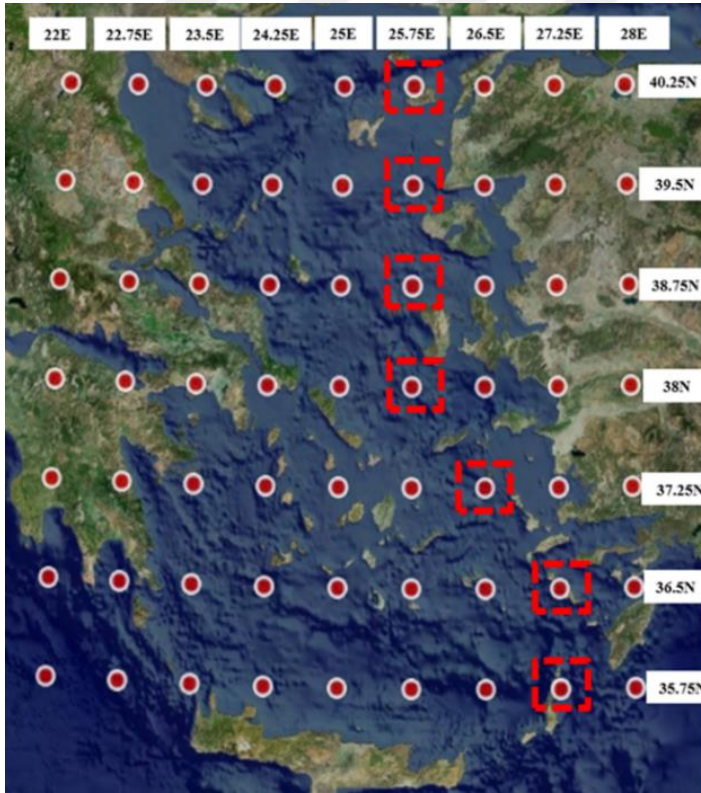


Şekil 61. Enlemlere göre 40 yıllık ortalama UI (Deniz suyu yüzey sıcaklığı) değerleri.

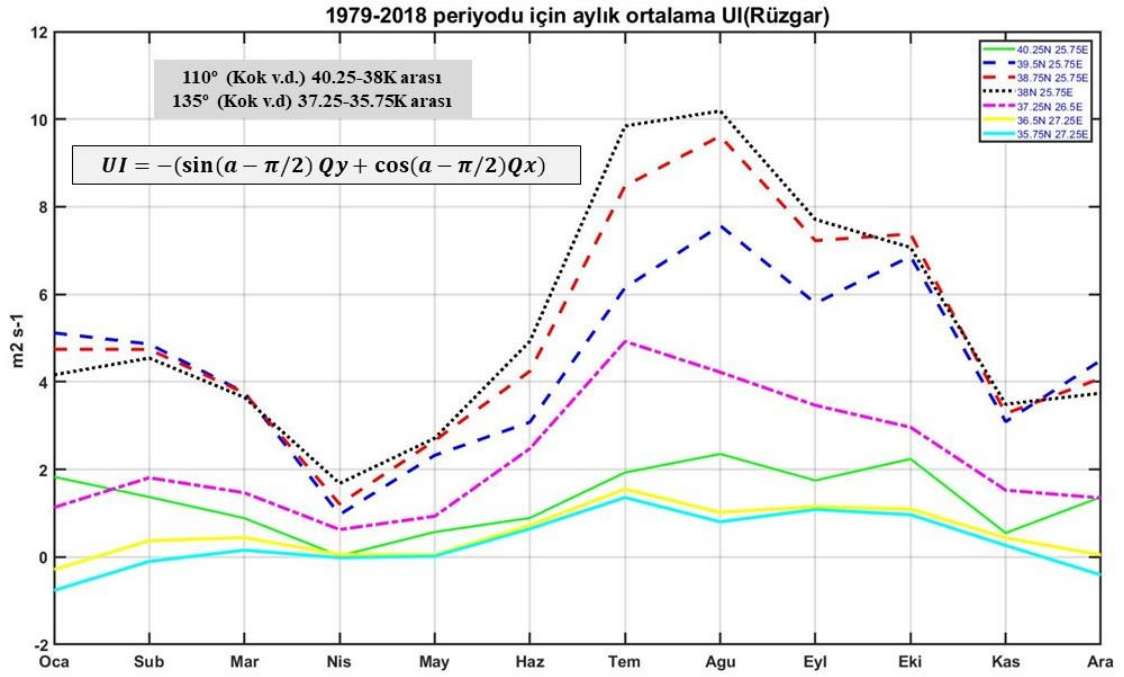
3.7.3. Rüzgâr verisi ile upwelling indeksin hesaplanması

Ege Denizi'nin doğu sahillerine yönelik olarak gerek bu çalışmada elde edilen deniz suyu yüzey sıcaklığı analiz sonuçları gerekse daha önceki çalışmalardan temin edilen bilgiler doğrultusunda Şekil 62'de belirlenen mevkilere yönelik UI (rüzgâr) analizleri Kok P.H.ve diğerleri (2017)'nin çalışmasına göre elde edilen sonuçlar Şekil 63'de, Global Upwelling İndeks hesabına göre yapılan çalışma Şekil-64'te, son olarak Cropper ve diğerleri (2014)'nin çalışması paralelinde elde edilen veriler Şekil 65'te sunulmuştur. Söz konusu görsellerde kullanılan formüller materyal ve metod bölümünde detaylı şekilde açıklanmıştır. Bu grafiklerde her veri 40 yıllık ortalama veriyi temsil etmektedir.

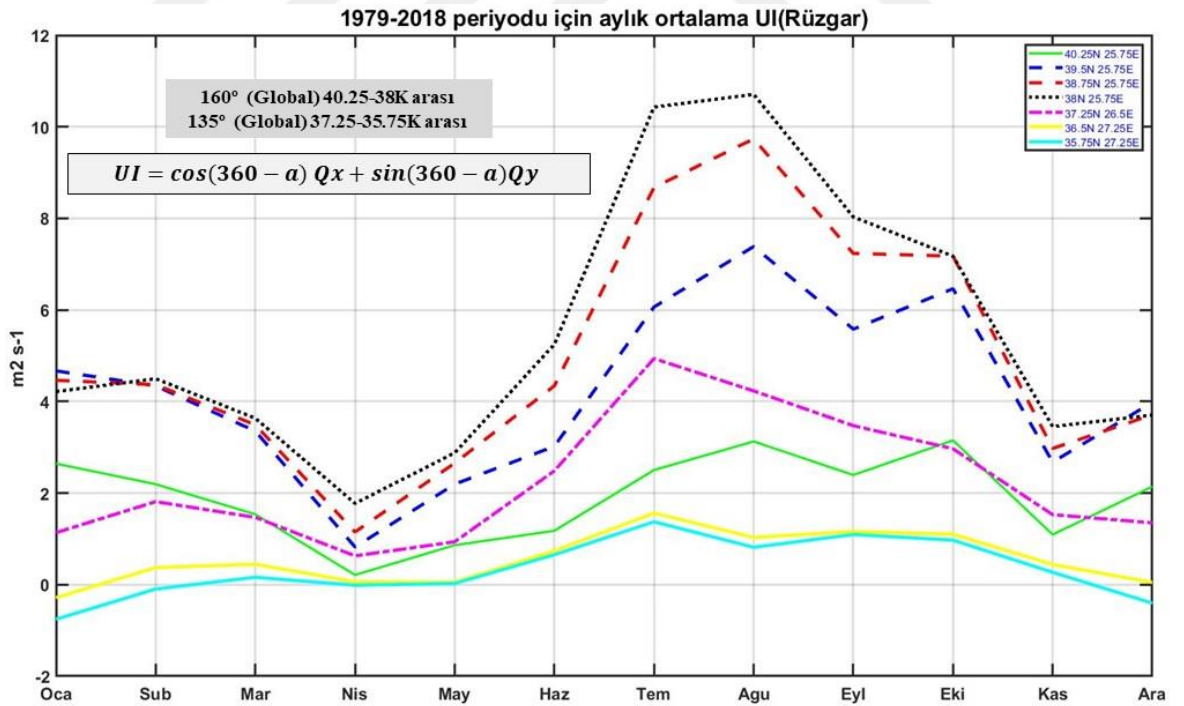
Şekil 63-64'te gösterilen UI (rüzgar) değerlerinin deniz suyu sıcaklık verilerine istinaden upwelling olayının beklendiği bölgelerde (39.5K, 38.75K, 38K) yüksek değerler alarak upwelling'in varlığını göstermiştir. Şekil 65'teki görselde ise upwelling hadisesinin meydana geldiği yaz mevsimine yönelik söz konusu UI (rüzgâr) değeri doğru sonuç verememiş, aksine upwelling'in beklenmediği mevkilerde (35.75K, 36.5K, 37.25K) yüksek değerler sunmuştur.



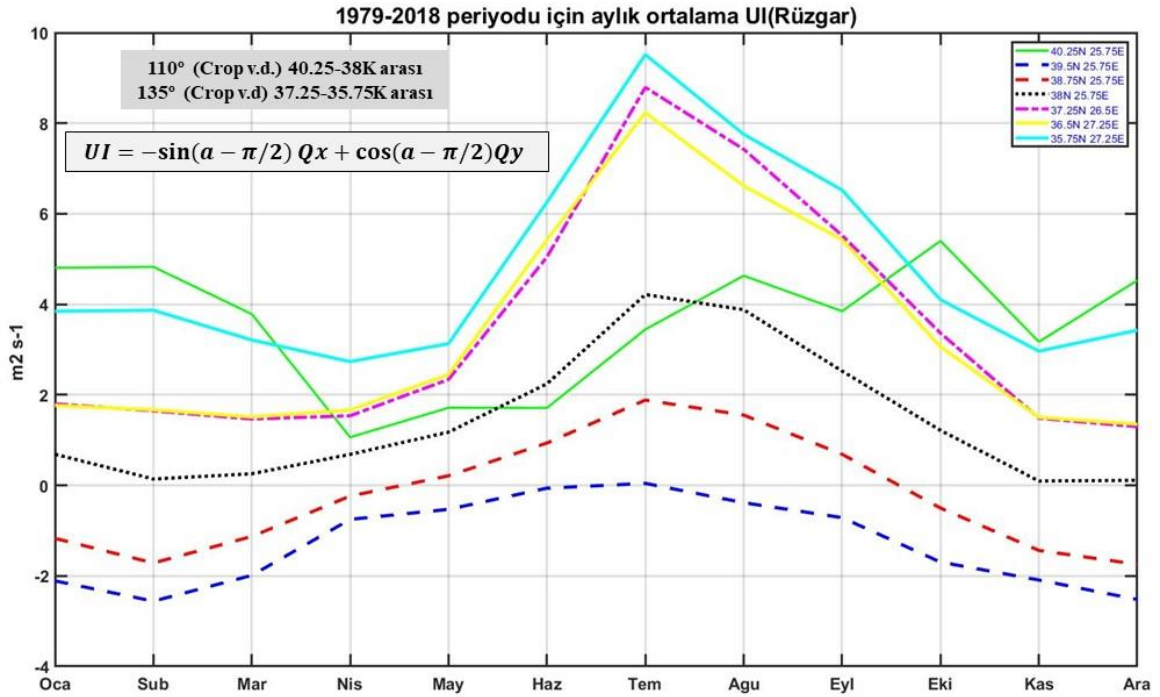
Şekil 62. UI (rüzgâr) analizi yapılan grid noktaları.



Şekil 63. Belirlenen mevkilerdeki UI (Rüzgâr)'in 40 yıllık ortalaması (Kok P.H.ve diğerleri, 2017).



Şekil 64. Belirlenen mevkilerdeki UI (Rüzgar)'in 40 yıllık ortalaması (Glob.Up.Ind.-NOAA).



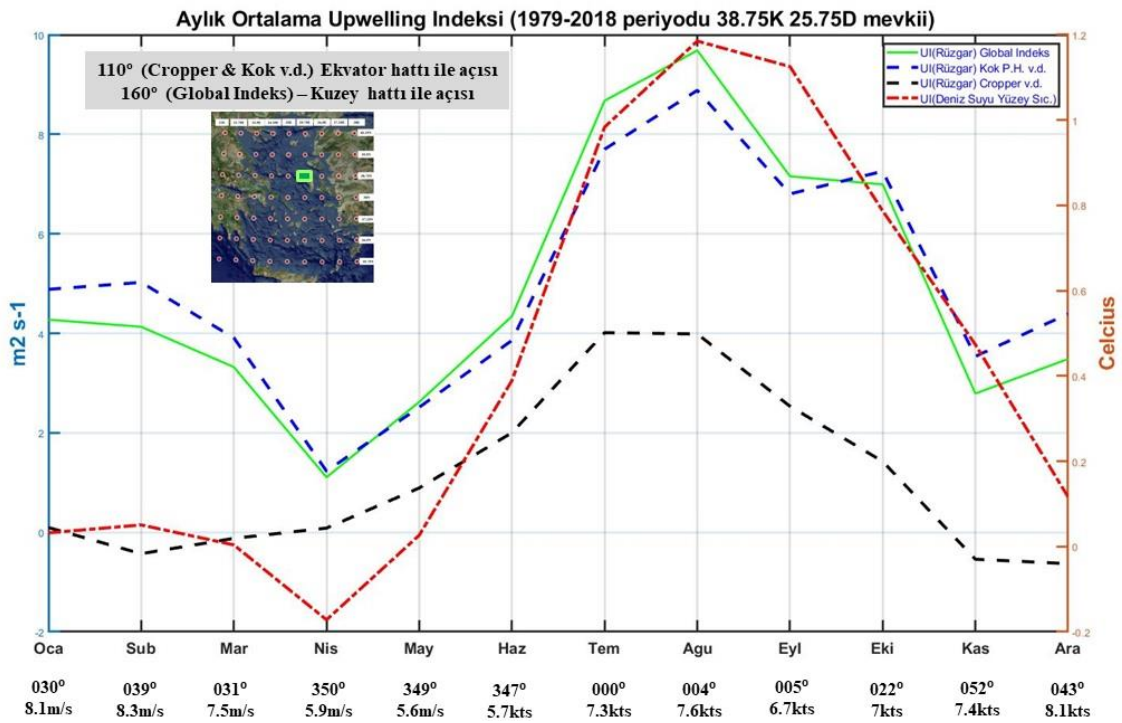
Şekil 65. Belirlenen mevkiilerdeki UI (rüzgâr)'in 40 yıllık ortalaması (Cropper ve diğerleri, 2014).

UI (rüzgâr)'ın nasıl sonuç verdiğini grafik üzerinde görebilmek için upwelling'in sonucu olan düşük deniz suyu yüzey sıcaklığı olan sahalar üzerinden bir analiz yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu analizin yapılmasındaki amaç upwelling'in bir sonucu olan deniz suyu yüzey sıcaklığının esas alınarak (yaz mevsimi için) rüzgâr odaklı upwelling indeks hesaplamalarının etkinliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda tüm metodların açıkça ortaya koyduğu değerlerin analizinin yapılabilmesi için upwelling olayının beklendiği bir mevki seçilerek yapılan hesaplamalar aynı görsel üzerinde Şekil 66'da gösterilmiştir. Aynı görsel üzerinde hangi mevki için analiz yapıldığı da sunulmaktadır.

Üç farklı UI (rüzgâr) ile UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) değerleri karşılaştırıldığında Kok P.H.ve diğerleri (2017)'nin formulu ile Global Upwelling İndeksinin Ege Denizi'ndeki upwelling olayını açıklamak için faydalanılabilecek etkili formüller olduğu tespit edilmiştir. UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) sonuçları yaz mevsimi için UI (rüzgâr)'ın etkinliğinin testi açısından önem arz etmektedir. Upwelling'in en belirgin çıktısı deniz suyu yüzey sıcaklığındaki değişimdir. Bu nedenle özellikle yaz mevsimindeki uyumluluk etkin UI

(rüzgâr)'ın tespiti için esas alınmıştır. Cropper ve diğerleri (2014)'nde kullanılan upwelling indeksinin ise upwelling olayını gerçekçi olarak ortaya koyamadığı görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen çalışmalara ilave olarak upwelling'in etkin olduğu bilinen grid noktaları için özel bir hesaplama daha yapılmıştır. Upwelling olayının beklendiği sahaya yönelik seçilmiş mevkiler için iyi sonuç verdiği belirlenen Kok P.H. ve diğerleri (2017)'nin formülü kullanılarak elde edilen sonuçlara göre en yüksek upwelling etkisinin 38K-26.5D, 38.75K-25.75D mevkilerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm grid noktalarındaki UI (rüzgâr) değerlerinin mevsimsel olarak değişimler gösterdiği de anlaşılmıştır.



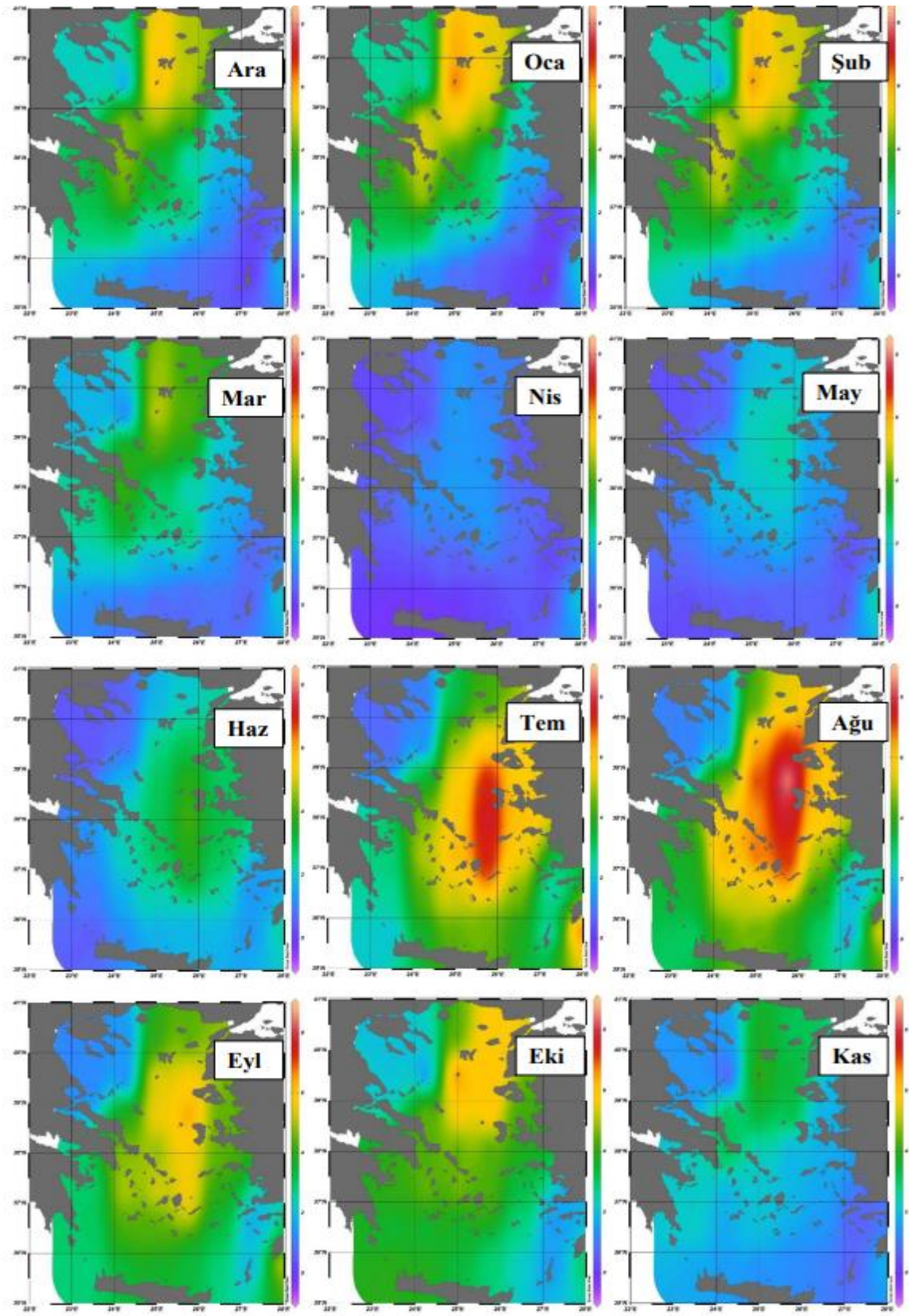
Şekil 66. Tüm UI metodlarının aynı mevki için karşılaştırılması.

Mevkisel olarak indekslerin etkinliği karşılaştırıldıktan sonra Kok P.H. ve diğerleri (2017)'nin formülü esas alınarak tüm grid noktalarındaki UI (rüzgâr) hesaplaması tüm aylar için yapılmıştır. Şekil 67'de sunulan iklimsel UI (rüzgâr)'ın yatay değişimini gösteren haritaya göre mevsimler arası upwelling'in etkinliği farklılıklar göstermektedir. Şekil 67'ye göre özellikle Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında upwelling'in etkinliği Saros körfezinden Orta Ege Denizi'nin güneyine kadar olan (Türkiye sahiline doğru) geniş bir sahayı kapsamaktadır. Ekim ayında ise UI(rüzgar) değerlerinin azalarak Kasım ayında çok düşük

değerlere eriştiği görülmektedir. Kış mevsiminde ise yaz mevsimindeki gibi yüksek UI (rüzgar) değerleri söz konusu olmasa da özellikle Saros Körfezi'nden Sakız Adası'na kadar olan sahada yüksek UI (rüzgar) değerleri mevcuttur. İlkbahar mevsimine gelindiğinde Mart ayı itibariyle UI(rüzgar) değerlerinin düştüğü, Nisan ile Mayıs aylarında upwelling'in olmadığı sonucuna ulaşılmakta ve yaz ile kış mevsimine göre çok daha düşük değerler sunmaktadır. Yapılan çalışma 0.75° çözünürlüklü ECMWF yeniden analiz edilmiş veri üzerinden tüm Ege Denizi'ne ilişkin genel sonuçları göstermekte, hassas ölçümler içermemektedir. Ege Denizi'nin sahil şeridi ve yapısının karmaşıklığı nedeniyle küçük alanlara yönelik meso ölçekte kıymetlendirme yapılması etkinliği artırabileceği değerlendirilmektedir.

Rüzgâr verilerine göre yapılan hesaplamalar upwelling'in sadece yaz mevsiminde değil kış mevsiminde de varlığını ortaya koymaktadır. Ancak deniz suyu yüzey sıcaklığının kış mevsiminde genel olarak tüm sahada düşmesi, alt tabaka ile yüzeyin değerlerinin benzer değerlere haiz olması, Orta Ege Denizi'ndeki siklonik döngünün varlığı nedeniyle upwelling'in sıcaklık parametresi üzerinden açıkça ortaya konulması sağlanamamaktadır. Daha önceki bölümlerde ortalama rüzgâr şiddeti (kuzeyli ve güçlü) verileri ile açıklanmaya çalışılan UI (rüzgar)'ın da upwelling'in ortaya konulmasında dikkate alınması önerisi Şekil 67'de yapılan hesaplamalar ile desteklenmektedir. Örneğin Ocak ayında rüzgar şiddeti 8.1 m/s ve 030° yönünden gelmekte iken, Temmuz ayında 000° 'dan 7.3kts şiddeti ile esmektedir. Ege Denizi sahil şeridi ve sinoptik ölçekteki etkileri itibariyle kuzeyli rüzgarlara daha açık bir denizdir. Ayrıca kış mevsiminde UI (rüzgâr) değerlerinde bir yükseliş söz konusu ancak bu değişim kışın yüzey suyu sıcaklığının düşmesi (enlemlere sarı değişmesi ve dikey olarak değişimin olmaması-izotermal) nedeniyle UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) bir sonuç vermemektedir.

Upwelling'in varlığı kabaca 0.75° gridli veri ile sunulmaktadır; ancak Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Eylül, Ekim ayları için upwelling'in varlığının ortaya konulduğu sahalardan Orta Ege'nin batısındaki sahalar geçmiş çalışmalar ve Ekman teorisi doğrultusunda kıymetlendirildiğinde upwelling'in beklenmediği sahalardır. Ayrıca Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında genel olarak upwelling'i ortaya koyabilen UI(rüzgar), Ege Denizi'nin güneyi için upwelling mevcudiyetine işaret etmekte ve yanlış sonuç vermektedir.



Şekil 67. UI(rüzgar)'ın 0.75° çözünürlüklü verilerle harita üzerinde gösterimi.

Aylara sari olarak yapılan iklimsel UI(rüzgar) haritası upwelling'in mevsimsel olarak değiştiğini, mevsimlerin sonuçlarının kendi içlerinde genel olarak uyumlu olduğunu, kış mevsiminde de upwelling'in olduğunu, ilkbahar'da minimum, yaz mevsiminde ise maksimum upwelling etkinliğinin mevcudiyetini ortaya koymaktadır. UI(rüzgar)'ın bazı sahalarda hatalı sonuç vermesinin nedeni olarak UI(rüzgar)'ın upwelling'in beklendiği kıyılara ve açık denizlere göre hesaplanarak ortaya konması, açık denizlere göre formülün ortaya konmuş olması, Ege Denizi'nde doğu-batı ekseninin birbirine yakın ve sahil şeridinin girintili-çıkıntılı olması, UI(rüzgar)'ın en önemli parametresi olan açı değeri için hassas kıymetlendirme yapılamaması, verilerin çözünürlüğünün düşüklüğü gösterilebilir. Bu nedenlerle Ege Denizi için %100 doğru hesaplamalar yapılamamış, ancak genel olarak upwelling'in olduğu sahaların tespitinde uygulanabilir bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Rüzgârın belli bir süre estikten sonra deniz yüzeyi üzerinde sürtünme kuvvetinin de etkisi ile etki meydana getirdiği göz ardı edilmemelidir. UI(rüzgar) hesaplaması sadece o anki rüzgar verisi üzerinden sonuç sunması da söz konusu indekxin bir eksikliğidir.

Tüm bilgiler ışığında UI(rüzgar) genel bir resim ortaya koymakta, upwelling hadisesinin olduğu sahaları kabaca belirtebilmekte ancak bölgenin dinamikleri ve UI(rüzgar)'ın açık denizler ile upwelling'in beklendiği kıyı bandına yönelik oluşturulması nedenleriyle bazı sahalarda hatalı sonuçlar vermektedir.

3.7.4. Deniz suyu yüzey tuzluluk verisi ile upwelling indekxin hesaplanması

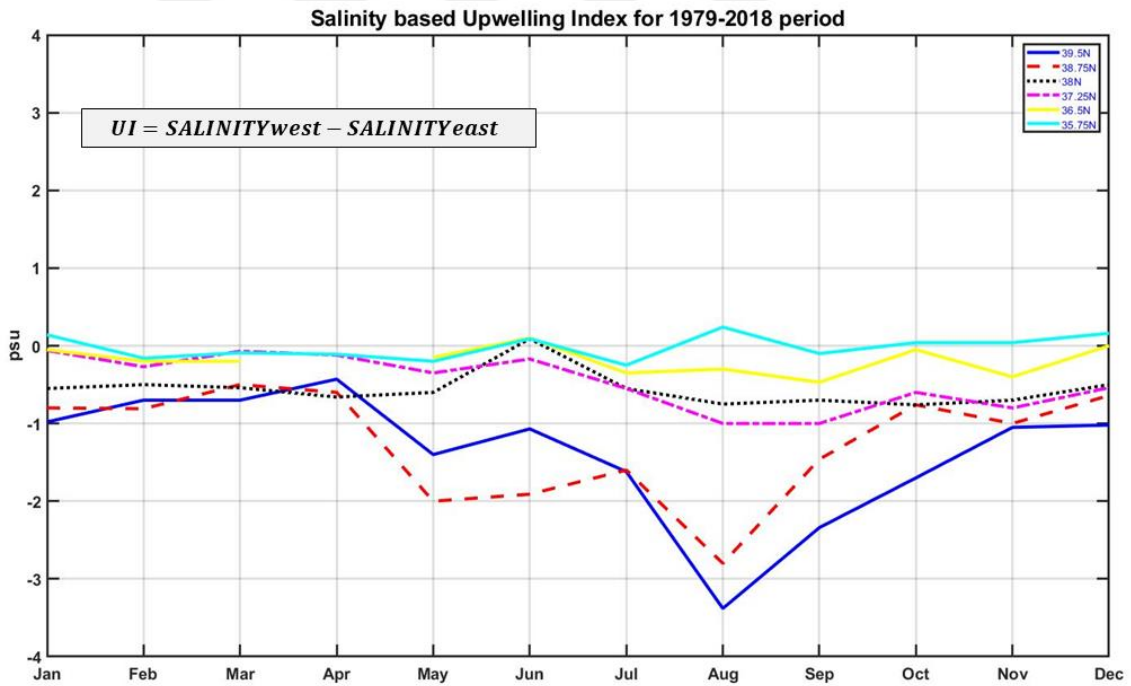
Deniz suyu yüzey tuzluluğundaki değişim upwelling'in mevcudiyetinin ispatlanmasında başvurulan bir diğer yöntemdir. Bu nedenle bu çalışmada da deniz suyu yüzey tuzluluğu verileri karşılaştırılarak nasıl bir sonuç ortaya koyduğu araştırılmıştır.

Farklı zamanlara ait gerçek deniz suyu yüzey tuzluluğu verilerinin ortalaması dikkate alınarak yapılan doğu-batı eksenli UI hesaplaması Şekil 68'de gösterilmiştir. Söz konusu görsel upwelling'in varlığını ortaya koymaktadır. Çünkü beklendiği gibi yaz mevsiminde Ege Denizi'nin doğusundaki tuzluluk batı bölgelere nazaran daha yüksek değerler almaktadır.

Elde ettiğimiz sonuçlar upwelling'in varlığını destekler nitelikte olsa da deniz suyu yüzey tuzluluğu odaklı UI hesaplaması upwelling oluşumuna yönelik bilgi verebilir; fakat Karadeniz'in sularının girişinden dolayı UI (tuzluluk) Ege Denizi'nde anahtar parametre değildir. Yaz ile ilkbahar mevsimlerinde tatlı su girişinin Karadeniz'de yüksek oranda olması nedeniyle UI (tuzluluk)'deki değişimler bahsi geçen Ege Denizi'nin batı tarafındaki yüzey

tuzluluk değeri azalması nedeniyle oluşan değişimi ifade etmekte olabilir. Çünkü Karadeniz sularının izlediği yol kuzeyden batıya giderek akabinde güneye doğru yönelmesi şeklindedir. Başka bir ifade ile Karadeniz sularının izlediği rota kuzeybatı bölgesinin tuzluluğunu azaltmakta olup yine aynı enlemdeki kuzeydoğu bölgesine ise uğramadığı için ve bu bölgenin Akdeniz suları etkisinde olması kaynaklı yüksek tuzluluğun mevcut olduğu ifade edilebilir.

Özetle kuzeybatı ile kuzeydoğu mevkileri arasındaki tuzluluk farklılığı Akdeniz ile Karadeniz sularının etkisinin bir ürünü, Ege Denizi'nin genel oşinografik yapısının bir sonucu olabileceği dikkate alındığından deniz suyu yüzey tuzluluğu Ege Denizi'nde upwelling'in tespitinde kullanılamaması gereken bir parametre olduğu kıymetlendirilmektedir. Tuzluluk üzerinden bir değerlendirme yapılması yanıltıcı sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir.



Şekil 68. Enlemlere göre 40 yıllık ortalama UI (deniz suyu yüzey tuzluluğu) değerleri.

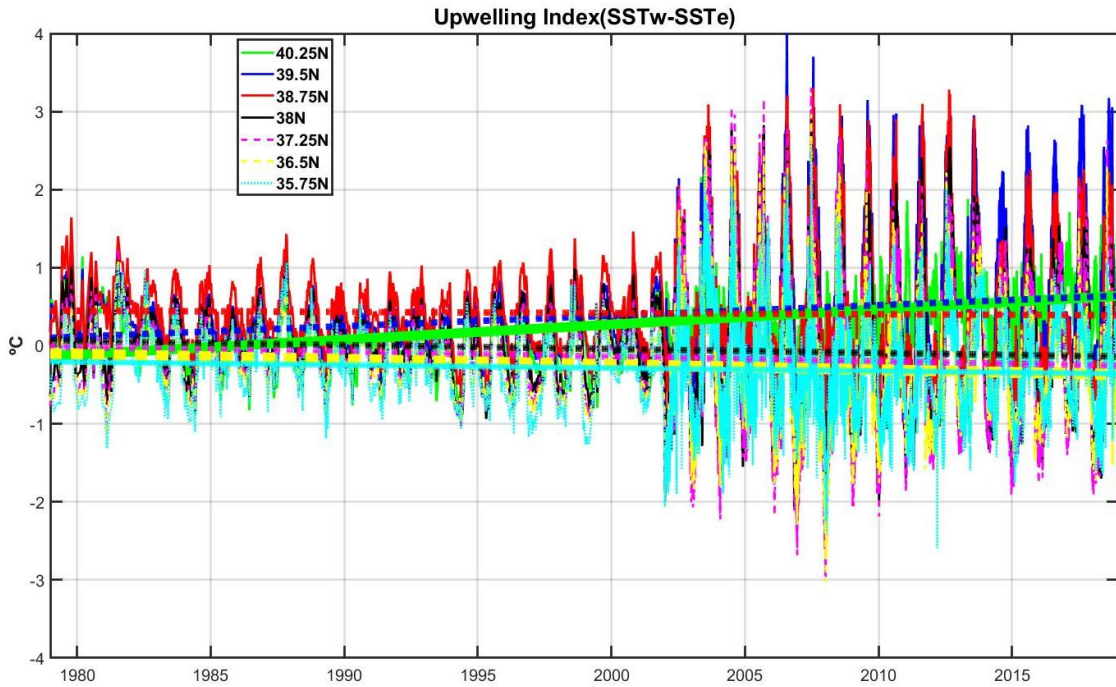
3.7.5. Upwelling indeksinin trendi

Bu bölümde yeni bir bakış açısı ile upwelling indeksinin eğilimi incelenmiştir. Bu sayede upwelling artma/azalma eğilimine ilişkin kıymetlendirme yapılması hedeflenmiştir. Ege Denizi için upwelling olayının ortaya konulmasını sağlayan ve önceki bölümlerde

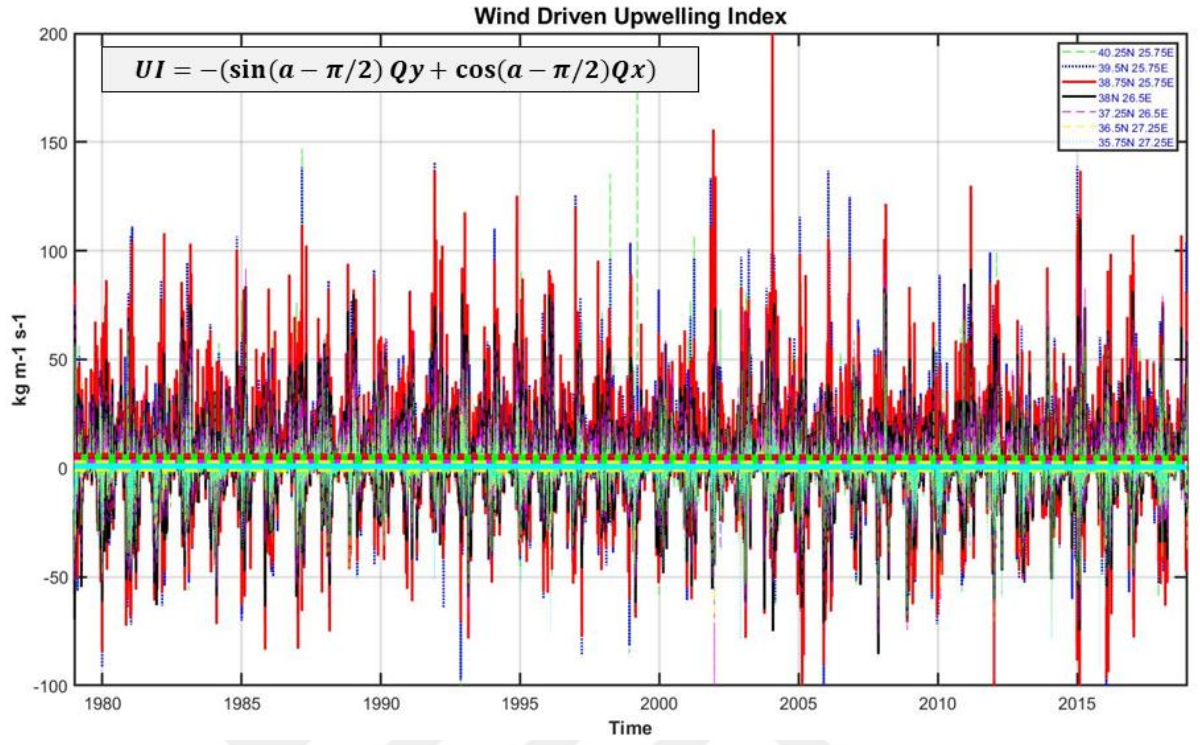
denenen deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr şiddeti verileri referans alınarak hesaplanan upwelling indeks değerleri Tablo 12’de sunulmuştur.

UI’nin değişiminin görülmesi maksadıyla yapılan trend analizi görselleri UI(deniz suyu yüzey sıcaklığı) için Şekil 69’da, UI(rüzgar) için ise Şekil 70’de gösterilmiştir. 39.5K ve 40K enlemlerindeki UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı)’nin genel trendi ~ 0.015 °C/yıl’lık oran ile pozitif doğrultudadır ve diğer mevkiiler için ise 0.005 ile 0.014 °C/yıl arası değişken oranlarda negative yönde azalış eğilimi sergilemektedir. UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) için 2003 yılı sonrası dalgalanmalar ilginç ve dikkat çekici şekilde arttığı görülmüştür. Şekil 69’a göre 2003 yılı sonrası mevsimsel değişim 2°C’den 6°C’ye çıkmaktadır. Bu farklılık doğu-batı ekseninde deniz suyu yüzey sıcaklığının farklı trend oranlarına sahip olması ile ECMWF sayısal modeli yeniden analiz edilmiş verilerinin artan doğruluk oranı ile ilişkilidir. Halihazırda tespit edilen bu dalgalanmada son yıllardaki iklimsel değişimin izleri görülmektedir.

UI (rüzgâr)’ın trendi tüm enlemlerde 0.016-0.02 kg/ms arası oranlar ile neredeyse düz bir eğilime sahip olmakla birlikte azalış eğilimi sergilemektedir. UI (rüzgâr) hesaplamasında en iyi sonucu veren indeksin denklemi esas alınmıştır. Ayrıca UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) ile UI (rüzgâr) için Mann Kendall ile lineer trend sonuçları uyumluluk arz etmektedir.



Şekil 69. UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) trend grafiği.



Şekil 70. UI (rüzgâr) trend grafiği.

Tablo 12. Upwelling indekslerin trendlerini gösterir tablo.

Veri Tipi (alfa=0.05)	Enlem	Lineer Trend		Mann Kendall			
		Fonksiyon	Eğilim	p Değeri	Monotonik trend var mı (p<0.05) ?	z değeri	Eğilim
Upwelling İndeksi (Deniz suyu yüzey sıc.) Günlük	40.25K	$y = 0,000048x + 0.003$	+	0.000001	Evet	53	+
	39.5K	$y = 0,0000392x + 0.14$	+	0.004	Evet	2.88	+
	38.75K	$y = -0.0000391x + 0.89$	-	0.000001	Evet	-17	-
	38K	$y = -0.0000114x + 0.04$	-	0.000001	Evet	-19	-
	37.25K	$y = -0.0000116x - 0.06$	-	0.000001	Evet	-17	-
	36.5K	$y = -0.000015x - 0.12$	-	0.000001	Evet	-22	-
	35.75K	$y = -0.0000069x - 0.23$	-	0.000001	Evet	-12	-
Upwelling İndeksi (Rüzgar) 12sa	40.25K	$y = -0,000018x + 4.07$	-	0.26	Hayır	-1.11	Yok
	39.5K	$y = -0.000036x + 5.2$	-	0.0007	Evet	-3.36	-
	38.75K	$y = -0.000039x + 5.5$	-	0.00015	Evet	-3.7	-
	38K	$y = -0.000021x + 3.2$	-	0.002	Evet	-3.08	-
	37.25K	$y = -0.000022x + 2.8$	-	0.00019	Evet	-3.72	-
	36.5K	$y = -0.000011x + 1.02$	-	0.000000004	Evet	-5.8	-
	35.75K	$y = -0.000016x - 0.9$	-	0.000000000002	Evet	-8.1	-

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 1979-2018 yılları arasını kapsayan ECMWF ERA-Interim verileri ile 2000-2015 yıllarını kapsayan Copernicus (Global SSS/SSD L4) verileri kullanılarak Ege Denizi meteorolojik ve oşinografik açıdan incelenmiştir. Ege Denizi'nin meteorolojik ve oşinografik özelliklerini en iyi temsil edecek şekilde seçilen beş noktada bu verilerden zaman serileri oluşturulmuş, ortalamalar hesaplanmış ve trend analizleri ile birlikte bölgenin en önemli dinamiği olan upwelling üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmamızın ana hedeflerinden biri deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti, yüzey atmosfer basıncının trendinin ortaya konulmasıdır. Kritik mevkiler üzerinden yapılan noktasal çalışmalar sayesinde zaman serisi oluşturarak etkin analizler yapılabilmektedir. Böylece bu analizlerde 40 yıllık süreçte deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, yüzey atmosfer basıncı, rüzgâr şiddeti, upwelling indeks değerlerinde farklı mevkiler için güçlü değişimlerin olduğu ortaya koyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında da önceki çalışmalara benzer şekilde kapsamlı bir ısınmanın 21.inci yüzyılın ilk çeyreğinde aşikar olduğu görülmektedir. Yapılan değerlendirmelere göre rüzgâr şiddeti ile yüzey atmosfer basıncında ise azalmanın mevcut olduğu anlaşılmıştır. Mevsimsel perspektiften bakıldığında yüzey atmosfer basıncında en yüksek azalma oranı (-0.063 mb/yıl) merkez mevkiinde yaz mevsiminde görülmüştür. Nisan, Kasım ve Aralık ayları artma eğiliminin olduğu aylar olarak göze çarpmakla birlikte genel olarak yüzey atmosfer basıncında azalma trendi mevcuttur. Maksimum yukarı doğru deniz suyu yüzey sıcaklığı trendinin kuzeybatı mevkiinde Ağustos (+0.056 °C/yıl) ayında, en yüksek soğuma eğiliminin kuzeydoğu mevkiisi için Temmuz ve Ağustos aylarında (-0.011 °C/yıl) meydana geldiği belirlenmiştir. Hava sıcaklığı için detaylı aylık analiz yapıldığında güneybatı ile güneydoğu mevkilerinde özellikle kış mevsiminde azalma eğilimi ve diğer sezonlarda artış eğilimi olduğu gözlenmiştir. Rüzgâr şiddeti verilerinde aylık trend oranlarına yönelik en açık ve anlaşılır sonuç etezyen rüzgarlarının estiği zaman periyodunda tüm mevkilerde (kuzeybatı hariç) belirgin bir azalıştan (-0.053 kts/yıl'a ulaşan) kolaylıkla bahsedilebileceğidir. Aylık trend analizlerinde kış mevsiminde hava sıcaklığının azalması, yaz mevsiminde artmasının nedeni olarak yüzey atmosfer basıncındaki kış mevsiminde artma ve yaz mevsiminde oluşan

azalma trendi olduğu gösterilebilir. Rüzgar ise çok değişken bir parametredir. Tüm bu etkilerin kökeninde sinoptik ölçekteki değişimler belirleyicidir. Ege Denizi'nde etkin olan Balkanlar/Sibiry'a ile Doğu Akdeniz/Sibiry'a üzerindeki yüzey atmosfer basıncı değerleri arasındaki farklılığın azalması rüzgar şiddetinin azalmasının nedenlerindendir. Ege Denizi'nde bölgesel olarak farklı trendlerin nedeni olarak sinoptik etkilere ilaveten bölgenin Karadeniz'den gelen suların mevsimsel miktarı ve izlediği rota, Akdeniz ve İyon Denizi ile olan etkileşimi gösterilebilir.

Bu araştırmada elde edilen tüm bulgular ECMWF ve Copernicus verilerinin deniz suyu yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, yüzey tuzluluğu, yüzey atmosfer basıncı ve rüzgâr şiddeti verilerinin değişkenliklerinin (önceki çalışmalarla bazı farklılıklar göstermekle birlikte) genel olarak gerçekçi bir sonuç ortaya koyduğunu göstermektedir.

Hâlihazırdaki bilgimiz dâhilinde literatürde eksik olan ve daha önceden açık denizler üzerinde uygulanan UI hesaplamaları ilk kez Ege Denizi üzerinde bu çalışma ile uygulanarak karşılaştırmalar yapılmış ve etkinliği test edilmiştir. Trend analizleri belirlenen beş mevki üzerinden yapılırken UI hesaplamaları ise deniz suyu yüzey sıcaklığı üzerinden enlemsel, rüzgâr verisi üzerinden (Ekman transport hesaplanarak) noktasal bazda çalışılmıştır. UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) ile yapılan hesaplamalar 38.75K, 39.5K, 38K enlemlerinde güçlü upwelling olaylarının mevcut olduğunu göstermektedir. UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) sonuçları upwelling yoğunluğunun Mayıs ayında artmaya başladığını ve Ağustos ayında en yüksek seviyeye erişerek Eylül ayında düşüşe geçtiğine işaret etmektedir. Upwelling'in bir sonucu olan deniz suyu yüzey sıcaklığının esas alınarak (yaz mevsimi için) rüzgâr odaklı upwelling indeks hesaplamalarında hangi formülün etkin olduğunu belirleyebilmek için UI (rüzgâr) ile UI (deniz suyu yüzey sıcaklığı) değerleri karşılaştırılmış ve Kok P.H.ve diğerleri (2017)'nin formülü ile Global Upwelling İndeksinin Ege Denizi'ndeki upwelling olayını açıklamak için faydalanılabilecek etkili formüller olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda upwelling'in tespitinde etkin olduğu görülen Kok P.H.ve diğerleri (2017)'nin formülü seçilerek tüm Ege Denizi için iklimsel UI (rüzgar) haritası oluşturulmuştur. UI(rüzgar) haritasına göre Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında Saros körfezinden Orta Ege Denizi'nin güneyine kadar olan (Türkiye sahiline doğru) upwelling'in olduğu, Ekim ayında ise UI(rüzgar) değerlerinin azalarak Kasım ayında çok

düşük değerlere eriştiği anlaşılmıştır. Bu sonuçlar deniz suyu yüzey sıcaklığı değişimlerinin aylık değişimi sonuçları ile de uyumludur. Kış mevsiminde ise yaz mevsimindeki gibi yüksek UI (rüzgar) değerleri söz konusu olmasa da özellikle Saros Körfezi'nden Sakız Adası'na kadar olan sahada yüksek UI (rüzgar) değerleri mevcuttur. İlkbahar mevsiminde ise Mart ayı itibariyle UI(rüzgar) değerlerinin düştüğü, Nisan ile Mayıs aylarında upwelling'in olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Özetle aylara sari olarak yapılan iklimsel UI (rüzgar) haritası upwelling'in belirgin şekilde mevsimsel olarak değiştiğini, ilkbahar'da minimum, yaz mevsiminde ise maksimum upwelling etkinliğinin mevcudiyetini ortaya koymaktadır. UI (rüzgar) hesaplamalarının kışın da upwelling'in varlığını ortaya koymasına rağmen UI(deniz suyu yüzey sıcaklığı) sonuçları kış mevsimi için upwelling'in varlığını gösterememektedir. Söz konusu durumun sebebi kış mevsiminde yüzey-orta tabaka sular arasındaki sıcaklık farkının azalarak izotermal bir profilin ortaya çıkması ve yaz mevsiminde yüzeyde görülen soğuk yüzey sularının yarattığı sıcaklık farklılığının görülememesidir.

Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Eylül, Ekim ayları için Orta Ege'nin batısındaki, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında ise Ege Denizi'nin güneyindeki sahalarda gerek geçmiş çalışmalar gerekse Ekman Teorisi doğrultusunda upwelling'in beklenmemesine rağmen UI (rüzgar) sonuçları upwelling'in var olduğunu göstermektedir. Genel bir resim ortaya koyan ve kabaca upwelling'in mevcut olduğu saha bilgilerini sunan UI (rüzgar) haritasındaki hatalı sonucun nedenleri olarak UI(rüzgar)'ın açık denizlere göre ve upwelling'in beklendiği kıyılara göre formülize edilmiş olması, Ege Denizi'nin sahil şeridinin girintili-çıkıntılı olmasından ötürü UI(rüzgar)'ın en önemli parametresi olan açı bilgisinin hassas belirlenememesi maddeleri gösterilebilir.

Upwelling olayı dışında Ege Denizi'nde meydana gelen bir diğer önemli olay olan EMT etkisi üzerine yapılan incelemede güneydoğu mevkisinde 1980'li ve 2000'li yıllar arasında yüzey ve orta tabaka sularda farklılıklar (~ 0.02 psu, $\sim 1^\circ\text{C}$) görülmüştür. Bu farklılıkların Marmara Denizi ile Karadeniz'de mevcut olup olmadığının gelecekteki çalışmalarda araştırılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak küresel iklimin önemli bir parçası olan Ege Denizi'ndeki değişimler önem arz etmekte olup müteakip çalışmalarda El Nina-El Nino ile AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation)'da meydana gelen değişimlerin bölge üzerinde

etkilerinin araştırılması ile upwelling'in etkisinin dikey akıntı değişiminin de ortaya konularak açıklanmaya çalışılması gerekmektedir. Upwelling hadisesi için daha önceden Pasifik Okyanusu ile Atlantik Okyanusu üzerinde denenen upwelling indeks çalışmaları Ege Denizi üzerinde upwelling'in olduğu sahaları göstermesi açısından olumlu sonuç vermesine rağmen söz konusu sahalarda deniz suyunun dikey hareketinin anlaşılması için akıntı ölçümlerinin ve yerinde CTD ölçümlerinin yapılmasının upwelling indeks hesaplamalarının doğruluğunun ortaya konmasında katkı sağlayacaktır. UI hesaplamalarımız upwelling indeksinin asıl arkasındaki mekanizma olan rüzgâr (sürtünme kuvveti) ile bir sonucu olan deniz suyu yüzey sıcaklığı değişimi üzerine yapılan hesaplamalar ile Ege Denizi için kolaylıkla sonuca ulaşamayacağını göstermekte ve bu nedenle nihai bir algoritma ortaya konamamaktadır. Bu kapsamda deniz suyu yüzey sıcaklığı ile rüzgâr parametrelerine ilaveten akıntı verisinin de dikkate alındığı ve Ege Denizi'ne özel hesaplamaların yapıldığı "yeni upwelling indeksi"nin geliştirilerek kullanılması bölge için daha doğru sonuçlar verecektir. Bölgedeki birçok küçük siklonik/antisiklonik döngülerin, farklı denizlerin, bölgenin sahil yapısının yüzey suyu üzerinde etkisinin mevcudiyeti derinliğe sari dikey akıntı değişiminin incelenmesini zorunlu kılmaktadır.

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, 1819-1836.
- Androulidakis, Y., Krestenitis, Y., 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. US Department of Commerce. NOAA Technical Report, NMFS SSRF-671.
- Bakun, A. (1975). Daily and weekly upwelling indices, west coast of North America. NOAA Technical Report, 16.
- Bakun, A., Agostini, A., (2001). Seasonal pattern of wind induced upwelling/ downwelling in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 65(3), 243-257.
- Bakun, A., Nelson, C. (1991). The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography*, 21, 1815–1834.
- Benazzouz, A., Mordane, S., Orbi A., Chagdali, M., Hilmi, K., Atillah, A., Pelegri, J.L., Herve, D. (2014). An improved coastal upwelling index from sea surface temperature using satellite-based approach the case of the Canary Current upwelling system. *Continental Shelf Research*, 81, 38-54.
- Bengil, F., Mavruk, S. (2018). Warming in Turkish Seas: Comparative Multidecadal Assessment. *Turkish Journal of Fisheries & Aquatic Science*, 19(1), 51-57.
- Bengtsson, L., Hagemann, S., Hodges, K. (2004). Can climate trends be calculated from reanalysis data? *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Berrisford P., Dee D., Poli P., Brugge R., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S., Simmons A. (2011). The ERA-Interim Archive, Technical Report (No.1).
- Besiktepe, Ş.T., Sur H.I., Ozsoy E., Latif M.A., Oğuz E., Unluata U. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 1, 285-334.
- Bromwich, D., Fogt, R., Hodges, K., Walsh, J. (2007). Tropospheric assessment of ERA-40, NCEP, and JRA-25 global reanalyses in the polar regions. *Journal of Geophysical Research*, D111.
- Camp, L.V., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E., Schlittenhardt, P. (1991). Upwelling and boundary circulation off northwest africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography*, 26(4), 357–402.
- Cropper, E.T., Hanna, E., Bigg G.R. (2014). Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off Northwest Africa, 1991-2012. *Deep Sea Research I*, 86, 94-11.
- Cushing, D.H. (1971). Upwelling and the production of fish. *Advances in Marine Biology*, 9, 255–334.
- Demarq, H., Faure, V. (2000). Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite sst application to octopus vulgaris recruitment. *Oceanologica Acta*, 23(4), 391-408.
- D'ortenzio, F., Marullo, S., Santoleri, R. (2000). Validation of AVHRR Pathfinder SSTs over the Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letter*, 27(2), 241-244.
- Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso, T. (2003). Variability of the extreme temperature events in South-central Europe during the 20th century and its relationship with largescale circulation. *International Journal of Climatology*, 23, 987-1010.

- Ekman, V. (1905). On the influence of the earth's rotation on ocean-currents. *Arkiv För Matematik, Astronomi Och Fysik*, 2, 1–53.
- Eronat, C., Sayın, E. (2014). Temporal evolution of the water characteristics in the bays along coast of the Aegean Sea: Saros, Izmir, Gökova bays. *Turkish Journal of Earth Science*, 23, 53-66.
- Eronat, C., Sayın, E. (2018). Evidences of the EMT and EMT-like events along the eastern coast of Aegean Sea, Izmir Bay example. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 1726-1734.
- Freon, P., Barange, M., Aristegui, J. (2009). Eastern boundary upwelling ecosystems: integrative and comparative approaches. *Progress in Oceanography*, 83, 1–14.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tan, A.M.G.K., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Garcia-Reyes, M., Largier J.L., Sydeman, W.S. (2014). Synoptic-scale upwelling indices and predictions of phyto- and zooplankton populations. *Progress in Oceanography*, 120, 177-188.
- Geary, J.E. (1961). The effect of wind upon mixed layer depth. US Naval Postgraduate School yüksek lisans tezi.
- Gerin, R., Polain, P., Beşiktepe, Ş., Zanasca, P. (2013). On the surface circulation of the Marmara Sea as deduced from drifters. *Turkish Journal of Earth Science*, 22, 919-930.
- Georgiou, S., Mantziafou, A., Sofianos, S., Gertman, I., Özsoy, E., Somot, S., Vervatis, V. (2015). Climate variability and deep water mass characteristics in the Aegean Sea. *Atmospheric Research*, 152, 146–158.
- Glickman, T. (Ed.) (2000). *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society, Boston, MA, Second Edition.
- Good, P., Giannakopoulos, C., Flocas, S. H., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Maheras, P. (2008). Significant changes in the regional climate of the Aegean during 1961-2002. *International Journal of Climatatology*, 28, 1735-1749.
- Gómez-Gesteira, M., Moreira, C., Alvarez, I., Decastro, M. (2006). Ekman transport along the Galician coast (northwest Spain) calculated from forecasted winds. *Journal of Geophysical Research*, 111, C10005.
- Gomez-Gesteira, M., Decastro, M., Alvarez, I., Lorenzo, M.N., Gesteira, J.L.G., Crespo, A.J.C. (2008). Spatio-temporal upwelling trends along the Canary Upwelling System (1967– 2006). *Annals of the New York Academy of Science*, 1146, 320–337.
- Hasanean, H.M. (2001). Fluctuations of surface air temperature in the eastern Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 68, 75-87.
- Hopkins, T.S. (1978). Physical processes in the Mediterranean basins. In: Kjerfve, B. (Ed.), *Estuarine Transport Processes*. ABD, University of South Carolina Press, South Carolina, 269–310.
- Incarbona, A., Martrat, B., Martyn, P.G., Sprovieri, M., Ziveri, P., Gogou, A., Jorda, G., Xoplaki, E., Luterbacher, J., Longone, L., Marino, G., Rodriguez-Sanz, L., Triantophyllou, M., Di Stefano, E., Grimalt, J.O., Tranchida, G., Sprovieri, R., Mazzola, S. (2016). Mediterranean circulation perturbations over the last five centuries: Relevance to past Eastern Mediterranean Transient - type events. *Scientific Reports* 6.

- IPCC 2001 Climate Change, The Scientific Basis Contribution of WGI for the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK.
- IPCC 2018. Special Report On Global Warming (Chapter 5).
- Klein, B., Roether, W., Manca, B., Bregant, D., Beitz, V., Kovacevic, V., Luchetta, A., (1999). The large deep water transient in the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research Part I*, 46(3), 371-414.
- Kuleli, T., Bayazit, S., (2020). Summer season sea surface temperature changes in the Aegean Sea based on 30 years (1989-2019) of Landsat thermal infrared data, *Environmental Monitoring Assessment*, 192:716.
- Kok, P.H., Akhir, M.F.M., Tangang, F., Husain, M.L. (2017). Spatiotemporal trends in the southwest monsoon wind-driven upwelling in the southwestern part of the South China Sea. *PLOS ONE*, 12(2), 1-22.
- Kourafalou, V.H., Barbopoulos, K. (2003). High resolution simulations on the North Aegean Sea seasonal circulation. *Annals of Geophysics*, 21(1), 251-265.
- Krokos, G., Velaoras, D., Korres, G., Perivoliotis, L., Theocharis, A. (2014). On the continuous functioning of an internal mechanism that drives the Eastern Mediterranean thermohaline circulation: The recent activation of the Aegean Sea as a dense water source area. *Journal of Marine Systems*, 129, 484-489.
- Lathuillière, C., Echevin, V., L'evy, M., (2008). Seasonal and intraseasonal surface chlorophyll-a variability along the northwest African coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C5).
- Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P., Dentener, P., Fischer, H., ve diğerleri, (2002). Global air pollution crossroads over the Mediterranean. *Science*, 298, 794-799.
- Mamara, A., Argiriou, A.A., Anadranistakis, M. (2015). Recent trend analysis of mean air temperature in Greece based homogenized data. *Theoretical Applied Climatology*, 126, 543-573.
- Mexatas, A., Bartzokas, A. (1994). Pressure covariability over the Atlantic, Europe and N.Africa Application: Centers of action for temperature, winter precipitation and summer winds in Athens, Greece. *Theoretical Applied Climatology*, 49(1), 9-18.
- Mamoutos, I., Zervakis, V., Tragou, E., Karydis, M., Frangoulis, C., Kolovoyiannis, V., Georgopoulos, D., Psarra, S. (2017). The role of wind-forced coastal upwelling on the thermohaline functioning of the North Aegean Sea. *Continental Shelf Research*, 149, 52-68.
- Millan-Nunez, R., Alvarez-Borrego, S., Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15 (3), 317-335.
- Nansen, F. (1902). The oceanography of the north polar basin in Norwegian North Pole Expedition 1893- 1896, *Scientific Results*, 3, 357- 386. Toronto Ontario: Longmans, Green.
- Nasa Global Climate Change Websayfası (2019). What is the Sun's Role in Climate Change. Erişim adresi: <https://climate.nasa.gov/blog/2910/what-is-the-suns-role-in-climate-change/>

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Weather Service Websayfası (2021). Thermocline. Erişim adresi: https://www.weather.gov/cle/marine_thermocline
- Nyckjær, L., Van Camp, L. (1994). Seasonal and interannual variability of coastal upwelling along northwest africa and portugal from 1981 to 1991. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C7), 14197–14207.
- Olson, D.B., Kourafalou, V.H., Johns, W.W., Samuels, G., Veneziani, M., (2007). Aegean surface circulation from a satellite-tracked drifter array. *Journal of Physical Oceanography*, 37, 1898-1917.
- Özsoy, E., Ünlüata, U., (1997). Oceanography of the Blacksea. *Earth Science Reviews*, 42(4), 231-272.
- Philandras, C.M., Nastos, P.T., Repapis, C.C. (2008). Air temperature variability and trends over Greece. *Global NEST Journal*, 10, 273–285
- Pickett, M. H., Paduan J.D. (2003). Ekman transport and pumping in the California Current based on the U.S. Navy's high resolution atmospheric model (COAMPS). *Journal of Geophysical Research*, 108(C10), 3327.
- Poulos, S.E., Drakopoulos, P.G., Collins, M.B. (1997). Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea(Eastern Mediterranean): an overview. *Journal of Marine systems*, 13, 225-244.
- Poupkou, A., Zanis, P., Nastos, P., Papanastasiou, D., Melas, D., Tourpali, K., Zerefos, C. (2011). Present Climate Trend Analysis of Etesian Winds in the Aegean Sea. *Theoretical Applied Climatology*, 106, 459-472.
- Ramanantsoa, J.D., Krug M., Penven P., Rouault M., Gula J. (2018). Coastal upwelling South of Madagascar: Temporal and spatial variability. *Journal of Marine Systems*, 178, 29-37.
- Robinson, A.R., Rizzoli P.M., Hecht, A., Michelato, A., Roether, W., Theocharis, A., Ünlüata, Ü., Pinardi, N., Artegiani, A., ve diğerleri (1992). General Circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews*, 32, 285-309.
- Roether, W., Manca BB, Klein, B., Bregant, D., Georgopoulos, D., Beitzel, V., Kovacevic, V., Luchetta, A. (1996). Recent changes in the eastern Mediterranean deep waters. *Science*, 271, 333–335.
- Roether, W., Klein, B., Manca, B.B., Theocharis, A., Kioroglou, S. (2007). Transient Eastern Mediterranean deep waters in response to the massive dense-water output of the Aegean Sea in the 1990s. *Progress in Oceanography*, 74, 540-571.
- Ryther, J.H. (1969). Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, 166, 72–80.
- Santos, A.M.P., Kazmin, A.S., Peliz, A. (2005). Decadal changes in the canary upwelling system as revealed by satellite observations: their impact on productivity. *Journal of Marine Research*, 63(2), 359–379.
- Santos, F., Decastro, M., Gomez-Gesteira, M., Alvarez, I. (2012). Differences in coastal and oceanic SST warming rates along the Canary upwelling ecosystem from 1982 to 2010. *Continental Shelf Research*, 47, 1–6.
- Sprintall T.M. (1992). Evidence of the barrier layer in the subsurface layer of the tropics. *Journal of Geophysical Research*, 97, 7305-7316.
- Savvidis, Y.G., Dodou, M.G., Krestennitis, Y.N., Koutitas, C.G. (2004). Modeling of the upwelling hydrodynamics in the Aegean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 5/1, 5:18.

- Sayın, E., Beşiktepe, Ş.T. (2010). Temporal evolution of the water mass properties during the eastern Mediterranean transient (EMT) in the Aegean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 115, C10025.
- Sayın, E., Eronat, C., Uckac, S., Besiktepe, S. (2011). Hydrography of the Eastern Part of the Aegean Sea during the Eastern Mediterranean Transient (EMT). *Journal of Marine Systems*, 88, 502-515.
- Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2021.
- Schwing, F. B., O'farrell, M., Steger, J., Baltz, K. (1996). Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America 1946-1995. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-231.
- Shaltout, M., Omstedt, A. (2012). Calculating the water and heat balances of the Eastern Mediterranean basin using ocean modeling and available meteorological, hydrological and ocean data. *Oceanologia*, 54(2), 199-232.
- Shaltout, M., Omstedt, A. (2014). Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologia*, 56(3), 411-443.
- Skliris, N., Mantziafou, A., Sofianos, S., Gkanasos, A. (2010). Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 30(5), 403-418.
- Skliris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantziafou, A., Axaopoulos, P., Mantziafou, A., Vertavis, V. (2011). Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. *Advances in Oceanography and Limnology*, 2(2), 125-139.
- Somot, S., Sevault, F., Deque, M., (2006). Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model. *Climate Dynamics*, 27(7-8), 851-879.
- Sverdrup H.H. (1938). On the Process of the Upwelling, *Journal of Marine Research*, 1, 155-164.
- Theocharis A., Georgopoulos, D. (1993). Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the North Aegean Sea (Eastern Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 13, 919-939.
- Theocharis, A. (2008). Do we expect significant changes in the Thermohaline Circulation in the Mediterranean in relation to the observed surface layers warming? F. Briand (Ed.), *Climate Warming and Related Changes in Mediterranean Marine Biota* (s. 25–30). Monaco: CIESM.
- Tyrlis, E., Lelieveld, J. (2013). Climatology and Dynamics of the Summer Etesian Winds over The Eastern Mediterranean. *Journal of Atmospheric Sciences*, 70, 3374-3396.
- Ünlüata, Ü. (1986). A Review of the Physical Oceanography of the Levantine and the Aegean Basins of the Eastern Mediterranean in Relation to Monitoring and Control of Pollution. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü Teknik Raporu, 55.
- Vagenas, C., Anagnostopoulou, C., Tolika, K. (2017). Climate study of the marine surface wind field and extreme winds over the Greek seas with the Use of a High Resolution RCM Focusing on Extreme Winds. *Climate*, 5, 29.
- Velaoras, D., Krokos, G., Nittis, K., Theocharis, A. (2014). Dense intermediate water outflow from Cretan Sea: A salinity driven, recurrent phenomenon, connected to thermohaline circulation changes. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 4797– 4820.
- Vervatis, V.D., Sofianos, S.S., Skliris, N., Somot, S., Lascaratos, A., Rixen, M. (2013). Mechanisms controlling the thermohaline circulation pattern variability in the Aegean-

- Levantine region. A hindcast simulation (1960-2000) with an eddy resolving model. Deep-Sea Research Part I: Oceanography Research Paper, 74, 82–97.
- Vlahakis, G.N., Pollatou, R.S. (1993). Temporal Variability and Spatial Distribution of the Sea Surface Temperatures in the Aegean Sea, Theoretical Applied Climatology, 47, 15-23.
- Von Schuckmann, K., Le Traon, P.Y., Fanjul, E.A., Axell, L.B., Balmaseda, M.A., ve diğeri. (2016). The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report. Journal of Operational Oceanography, 9:sup2, 235-320.
- Weisse, R., Storch, H., Callies, U., Chrastansky, A., Feser, F., Grabemann, I., Gunther, H., ve diğeri (2009). Regional meteorological-marine reanalyses and climate change projections: Results for Northern Europe and potentials for coastal and offshore applications. Bulletin of American Meteorological Society, 90, 849-860.
- Weisse, R., Storch H. (2010). Marine Climate and Change Storms, Wind Waves and Storm Surges. Chichester, UK:Praxis Publishing.
- WMO Guidelines on the calculation of Climate Normals -1203 (2017 edition).
- Ziv, B., Saaroni, H., Alpert, P. (2004). The Factors Governing The Summer Regime of the Eastern Mediterranean. International Journal of Climatology, 24, 1859-1871.
- Zervakis, V. Georgopoulos, D. (2002). Hydrology and circulation in the North Aegean (eastern Mediterranean) throughout 1997-1998. Mediterranean Marine Sciences, 3(1), 7-21.
- Zervakis, V., Georgopoulos, D. Karageorgis A.P., Theocharis A. (2004). On the Response of the Aegean Sea to Climatic Variability: A review. International Journal of Climatology, 24, 1845-1858.
- Zervoudaki, S., Kaliva, K., Apostolopoulou-Moraitou, M. (1999). Seasonal variation of hydrobiochemical variables in a coastal area of an ichthyoculture. In: Proceedings of the 6th International Conference on Environmental Science and Technology, 100, 474–481.

ÖZGEÇMİŞ

- Doğum Tarihi** : 12 Mayıs 1987
- Doğum Yeri** : İstanbul
- Lise** : (2001-2005), Deniz Lisesi
- Lisans** : (2005- 2009), Endüstri mühendisliği, Deniz Harp Okulu
- Yüksek Lisans** : (2012- 2014), Fiziksel oşinografi, Naval Postgraduate School
- Yüksek lisans tezi** : The relationship between sea breeze forcing and hf radar derived surface currents in Monterey Bay, Haziran 2014, NPS, California, USA (<https://calhoun.nps.edu/handle/10945/42747>)
- Diğer çalışmalar** : Temporal and spatial variation of the sea breeze over Monterey Bay from buoy and hf radar-derived observations, Radio Oceanography Workshop-2014, Mayıs 2014, Georgia, USA
- Detaylı bilgi için <https://orcid.org/0000-0001-9274-7678>
- Eğitim ve öğretim** : 2014-2021 Meteoroloji dersi misafir öğretim görevlisi, Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu
- 2018-2021 Oşinografi ve gelgit dersi öğretim görevlisi, IHO/FIG/ICA Cat-B Hidrografi Kursu, SHOD Başkanlığı
- Bilimsel seferler** : Saha çalışmaları uygulamalı dersleri (field studies), ABD, 2013-2014 II. Ulusal Antarktika Bilim Seferi (07 Mart -24 Nisan 2018)
- Görevleri** : (2009-2010) Kursiyer subay, Karamürselbey Eğitim Merkezi K.lığı
(2010-2012) Silah elektronik subayı, TCG C.G.HASANPAŞA K.lığı
(2012-2014) Dz.K.K.lığı emrine (Yüksek lisans tefriki)
(2014-devam) Veri kalite kontrol kısım amiri, SHOD Başkanlığı
- Başarıları** : Naval Postgraduate School Yüksek Akademik Başarı-2014



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : EMRE TÜKENMEZ
ÖĞRENCİ NO : 3002150007
ÖĞRETİM YILI :
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : FİZİKSEL OŞİNOGRAFI VE DENİZ BİYOLOJİSİ
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS ☐ DOKTORA ☒
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : DOÇ.DR.HÜSNE ALTIOK
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI :
TEZ BAŞLIĞI : EGE DENİZİ'NDEKİ ATMOSFERİK VE
OŞİNOGRAFIK SİSTEMLERİN UZUN DÖNEMLİ
VERİLERLE ANALİZİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-
metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam. 91. sayfalık kısmına ilişkin, 02.09.2024 tarihinde
Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik
Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler*
uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % 1. 'dir.

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul
Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit
edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih: 30.09.2024

EMRE TÜKENMEZ

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)
DOÇ.DR.HÜSNE ALTIOK

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) **MADDE 36 – (2)** Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) **MADDE 50 – (4)** Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

Ege Denizi'ndeki Atmosferik ve Oşinografik Sistemlerin Uzun Dönemli Verilerle Analizi

Yazar Emre Tükenmez

Gönderim Tarihi: 02-Ağu-2021 12:50PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1626921218

Dosya adı: Emre_Tu_kenmez_DR.docx (160.03K)

Kelime sayısı: 16017

Karakter sayısı: 108264

Ege Denizi'ndeki Atmosferik ve Oşinografik Sistemlerin Uzun Dönemli Verilerle Analizi

ORJİNALLİK RAPORU

% 1	% 1	% 0	% 0
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	kare.mam.tubitak.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
2	www.iibfdergi.hacettepe.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
3	cdn.istanbul.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
4	acikerisim.deu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	uzalcbs.org İnternet Kaynağı	<% 1
7	docplayer.net İnternet Kaynağı	<% 1
8	globalguvenlikokullari.com İnternet Kaynağı	<% 1
9	j-humansciences.com İnternet Kaynağı	<% 1

10

tudav.org
İnternet Kaynağı

<% 1

11

webdosya.csb.gov.tr
İnternet Kaynağı

<% 1

12

www.mmfdergi.gazi.edu.tr
İnternet Kaynağı

<% 1

13

www.socar.com.tr
İnternet Kaynağı

<% 1

14

Marine Climate and Climate Change, 2010.
Yayın

<% 1

Alıntıları çıkart

üzerinde

Eşleşmeleri çıkar

< 5 words

Bibliyografyayı Çıkart

üzerinde