T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

İKLİMSEL DEĞİŞİMLER SONUCU EGE DENİZİ'NDE OLUŞAN YOĞUN SULARA İZMİR KÖRFEZİ'NİN ETKİSİ

Proje No: 2019.KB.FEN.012

Bireysel Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Erdem SAYIN
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü / Fiziksel Oşinografi

Araştırmacılar
Prof. Dr. Şükrü Turan BEŞİKTEPE
Doç. Dr. Murat GÜNDÜZ
Dr. Canan ERONAT
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü / Fiziksel Oşinografi

05 2022
İZMİR

TEŞEKKÜR: Bu çalışma 2019.KB.FEN.012 numaralı Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi destekli proje tarafından fonlanmıştır. Proje içerisinde yer almasada yaptıkları değerli katkılardan dolayı Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü akkademisyen ve idare personeline, ayrıca oşinografik verilerin toplanmasında K. Piri Reis kaptan ve mürettebatına işlerimizi kolaylaştırdıkları ve yardımları için teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	**5**
ABSTRACT	**7**
1. GİRİŞ	**9**
2.CTD ÇALIŞMALARI	**11**
3. AKINTI ÖLÇÜMLERİ	**21**
4. METEOROLOJİ VERİLERİ	**29**
5. MODELLEME ÇALIŞMALARI	**33**
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	**38**
REFERANSLAR	

ÖZET:

Atmosferik olaylara bağlı iklim değişimleri ile denizlerde meydana gelen fiziksel süreçler arasındaki ilişkiler üzerine yapılan araştırmalar, son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Bu projenin genel yaklaşımı, iklim değişimleri ile Ege Denizi fiziksel süreçleri arasındaki ilişkilerin nasıl olduğu, İzmir Körfezi'nin Ege Denizi'ndeki yoğun su oluşumuna olan etkileri bağlamında araştırmaktır.

Ege Denizi ve Doğu Akdeniz, kısa ve uzun yıllar bazında birbirleriyle aktif bir şekilde etkileşen denizlerdir. 80'li yılların sonu ve 90'lı yılların başları Doğu Akdeniz için önemli bir dönemdir. Bu dönemde, Ege Denizi Dip Suyu Girit adasının her iki ucundan Levant basenine doğru akmaya başlamıştır. Böylece Doğu Akdeniz Dip Suyunun kaynağı değişerek Adriyatik Denizi Dip Suyu yerine daha sıcak, tuzlu ve yoğun olan Ege Denizi Dip Suyu olmuştur. Meydana gelen bu ani değişim "Eastern Mediterranean Transient" (EMT-Doğu Akdeniz Taşınımı) olarak literatüre geçmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Ege Denizi'nden Levant basenine akan bu suyun oluşmasında Ege Denizi'nde meydana gelen yoğun su kütlelerinin büyük etkisi olduğu saptanmıştır. Bu yoğun su kütlelerinin oluşmasında ise çeşitli atmosferik ve denizel süreçlerin rol oynadığı bilinmektedir. EMT süresince, Levant basenine akan suların kaynağının özellikle siklonik hareketliliğin meydana geldiği Orta Ege Denizi olduğu ve bu bölgede en yoğun su kütlelerinin yüzeye çok yakın seviyelerde oluştukları bilimsel çalışmalarla gösterilmektedir. Akdeniz'e akan Ege Denizi dip suyuna karşılık, su bütçesini dengelemek üzere, Akdeniz yüzey suları (Levant Yüzey ve Orta Tabaka Suları) Kuzey Ege Denizi'ne kadar olan bütün bölgeyi etkisi altına almaktadır. Akdeniz'den gelen bu suyun Ege Denizi'ni iki kez doldurabilecek bir hacimde olduğu göz önüne alınırsa, bu miktarın Ege Denizi ekosistemini ve iklimini etkileyebileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu konuda somut sayısal değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda projenin temel amacı; 90'lı yıların başından itibaren olagelen iklimsel değişimlerin, Ege Denizi ve Doğu Akdeniz termohalin akıntı sistemlerinde yapmış olduğu değişiklikleri ortaya koymak ve bu değişikliklerin su kütlesel yapısını nasıl etkilediğini saptamaktır. EMT oluşum mekanizmaları konusunda çok çalışma yapılmasına karşın, meydana gelen bu kompleks olayın açıklanmasında çalışmalar ve tartışmalar devam etmektedir. Ege Denizi'nde oluşan yoğun su kütlesi seviyeleri, bahsedilen mekanizmaların hepsini içeren bir sonuçtur. Ege Denizi kıyı bölgelerinde koy ve körfezlerde de yoğun sular oluşmaktadır. Hatta bu oluşan suların yoğunlukları Ege Denizi yoğunluklarıyla karşılaştırıldıklarında daha fazladır. Bu bağlamda İzmir Körfezi'nde özellikle Orta Körfez'de kış konveksiyonu sonucu oluşan yoğun sular bu proje kapsamında incelenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, Körfez suyunun, Ege Denizi yoğun su oluşumuna katkısı ortaya konmuştur. Ayrıca büyük ölçekte (Akdeniz boyutunda) olan fiziksel süreçlerle İzmir Körfezi fiziksel süreçleri arasında nasıl bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzmir Körfezi, Ege Denizi; Doğu Akdeniz; EMT (Eastern Mediterranean Transient, Doğu Akdeniz Taşınımı); Su Kütlesi; Yoğun Su kütlesi Oluşumu; Kış Konveksiyonu; Su değişim potansiyeli

ABSTRACT:

The researches that are on the relationships between the ocean processes and the climatic changes due to atmospheric events have become increasingly important in recent years. The general approach of this project is to investigate the relationship between climate changes and the physical processes of the Aegean Sea by revealing the effects of İzmir Bay on the formation of dense water in the Aegean Sea.

The Aegean Sea and the Eastern Mediterranean are the seas that are interacting with each other long and short term in an active way. The end of the 80s and early 90s is a crucial period for the Eastern Mediterranean. During this period, the Aegean Sea Deep Water from both ends of the island of Crete began to flow into the Levant basin. The Aegean Sea has become the source of the new type of the Eastern Mediterranean Deep Water (EMDW). This new form of Aegean Deep Water is warmer, saltier and denser than the old EMDW of Adriatic origin. This occurring sudden change is known in the literature as "Eastern Mediterranean Transient" (EMT). As a result of the studies, the formation of dense water masses that occur in the Aegean Sea was found to be a major impact on the flowing water from the Aegean Sea into the Levant basin. The various atmospheric and marine processes are known to play a role on the dense water formation. During EMT, the origin of the flowing waters into the the Levant basin is the Middle of the Aegean Sea particularly in the cyclonic area and the most intense formation takes place close to the surface there that are drawn by scientific studies. Corresponds to the deep water flowing into the Aegean Sea, in order to balance the water budget, surface waters of the Mediterranean (Levantine Surface Water and Levantine Intermediate Water) flow into the Aegean Sea and influence whole region up to the North Aegean Sea. The water of the Aegean Sea from the Mediterranean, in a volume that, could fill twice the Aegean Sea and so that, consequently, it should affect the climate and ecosystems of the Aegean Sea. Concrete numerical values are required in this regard. In this context, the project's main objective is to determine the changes by the thermohaline circulation system of the Aegean Sea and the Eastern Mediterranean, initiated by the climatic changes since the beginning 90s and their consequence on the water mass structures. Although there are many studies on the formation mechanism of EMT, the discussions are ongoing by the explanation of this complex event. In addition, the level of density of the water mass is a result comprising all the effecting mechanisms. Very dense waters also form in coastal regions and in gulf and bays of the Aegean Sea. In fact, the density of these waters is higher when compared to the Aegean

Sea densities. Therefore, the dense waters in the İzmir Bay, especially in the middle of the Bay, which are forming as a result of winter convection, will be examined under this content.

As a result of this work, it was revealed how extend the İzmir Bay water contributes to the formation of dense water in the Aegean Sea. In addition, it was determined how physical processes in large scale (Mediterranean dimension) are related to the physical processes of İzmir Bay.

Keywords: İzmir Bay, Aegean Sea; Eastern Mediterranean; EMT (Eastern Mediterranean Transient); Water Mass; Dense Water Formation; Winter Convection; Water Exchange

1. GİRİŞ

Ege Denizi ve Doğu Akdeniz birbirleriyle aktif bir şekilde, kısa ve uzun yıllar arası etkileşen denizlerdir. Ege Denizi ve Doğu Akdeniz arasındaki bu etkileşim aynı zamanda tüm Akdeniz, Marmara Denizi ve hatta Karadeniz'i de ilgilendirmektedir.

1987-1995 yılları arası Doğu Akdeniz için önemli bir dönemdir. Önceleri, Doğu Akdeniz Dip Suyunu, (EMDW) Adriyatik Denizi Dip Suyu oluşturuyordu. 80'li yılların sonu ve 90'lı yılların başlarında bu durum değişti. Ege Denizi Dip Suyu Doğu Akdeniz Dip Suyunu oluşturmaya başladı. Bu olay Doğu Akdeniz Taşınımı (EMT - Eastern Mediterranean Transient) olarak tanımlandı (Klein vd.; 1999; Roether vd., 1996 and 2007; Gertman, 2006; Theocharis vd., 1999, 2002). Bu yeni Doğu Akdeniz Dip Suyunun yoğunluğu 29.4 kg/m3 ve eski dip suyunu oluşturan Adriyatik Denizi Dip Suyundan daha sıcak, tuzlu ve yoğundur (Roether vd., 1996). Yapılan incelemelere göre bu oluşan yeni dip suyunun debisi Adriatik Denizi'ndeki oluşan dip suyun debisinin üç katıdır. Daha sıcak ve tuzlu olan bu yeni su, bölge dip suyunun % 20 gibi bir hacmini kapladığı gibi, Doğu Akdeniz'deki yoğunluk seviyelerinin 500 m yukarıya hareketlenmelerine neden olmuştur (Lascaratos vd., 1999).

Orta Ege Denizi, dünyada en yoğun su kütlelerinin oluştuğu bölgelerden bir tanesidir. Bu yoğun su kütlelerinin oluşmasındaki mekanizmalar çeşitlidir ve atmosfer-su etkileşmesi birincil rol oynamaktadır. Özellikle soğuk geçen kış dönemlerinde oluşan yoğun su kütleleri, siklonik su sirkülasyonu ile birlikte kuvvetlenerek su kolonunda yüzeye çok yakın yerlerde görülür. Bu durum, kış konveksiyon sürecinin en etkin mekanizmalardan birisi olduğunu göstermektedir. Yoğunluk seviyelerinin yüzeye yakın olması, oluşan yoğun su kütlesinin Ege Denizi'nin diğer basenlerine doğru hareketlenmesine neden olmaktadır.

Bu yeni oluşan su kütlesinin oluşma mekanizması ve Ege Denizi'ndeki yoğunluk seviyelerindeki değişimin nedenleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır ancak Akdeniz hidrolojisine etkisi tam olarak bilinmemektedir..

Ege denizi üzerindeki rüzgar şiddeti ve yönünün değişmesi (Samuel vd., 1999), Nil nehri kökenli suyun baraj yapılarak durdurulması (Rohling ve Bryden, 1992), Karadeniz kökenli, Ege denizine dökülen görece az tuzlu su miktarındaki azalma (Zervakis vd., 2000) ve şiddetli kış koşulları süresince aşırı ısı kayıpları (Josey, 2003) gibi çalışmalar atmosferik alanların yoğun su kütlelerinin oluşmasında önemli bir ön koşul olduğunu göstermiştir.

Rüzgar Kuvveti'nin bütün batı Akdeniz'de azalmış, buna karşın Ege ve Levant havzasında artmıştır (Demirov ve Pinardi, 2002, Lascaratos vd., 1999). Böylece Batı Akdeniz sirkülasyonunu zayıflamış, Atlantik jetinin zayıflaması ile Doğu Akdeniz'e gelen Atlantik Suyu

(MAW)'nun miktarı azalmış, Levant havzasında antisiklonik (saat yönünde) döngüler oluşmuştur (Malanotte-Rizzoli vd., 1999). Bunun sonucu olarak Akdeniz Genel Akıntı sisteminde Levant Denizi Yüzey sularının batıya doğru olan akışı engellenmiş ve sıcak ve tuzlu olan bu sular Ege Denizine yönelmiştir (Velaoras and Lascaratos 2010, Sayın vd., 2012). Buna bağlı olarak Ege Denizi üst ve ara tabakasında tuzluluk ve dolayısıyla yoğunluk değerlerinde artış meydana gelmiş ve bu durum EMT için bir öncül koşul oluşturmuştur.

EMT zamanında Çanakkale boğazından Ege Denizi'ne akan Karadeniz Suyu rejiminde değişiklikler olmuştur (Zervakis vd., 2000). Böylece Karadeniz suyunun Ege Denzi'ndeki miktarı azalmış ve yüzeyde Karadeniz suyunun kapladığı alan küçülmüştür. Sadece Karadeniz suyu miktarı değil yağışların azalması da aynı etkiyi yaratmaktadır. Dolayısıyla artan atmosfer-su yüzeyi etkileşimi sonucu Kuzey ve Orta Ege Denizi'nde güçlü bir kış konveksiyonu süreci görülmüştür. Su kolonu içerisinde yüzeye çok yakın derinliklerde bile, o zamana kadar tespit edilmemiş yoğun su kütlesi oluşumu meydana gelmiştir.

Kış mevsiminin 1992 ve 1993 yıllarında soğuk geçmesi ile birlikte özellikle siklonik hareketliliğin olduğu Orta Ege bölgesinde kış konveksiyonu kuvvetlenmiştir. (Sayın ve Beşiktepe., 2010, Sayın vd., 2011, Eronat ve Sayın, 2014, Eronat ve Sayın, 2018). 1993 kış döneminde, Levant basenine akan su miktarında büyük artışların kaydedilmesi ile birlikte, ekstrem soğuk geçen kış koşullarının EMT oluşmasında en önemli mekanizmalardan biri olduğu ortaya çıkmıştır.

EMT sürecinden sonra, Doğu Akdeniz ve Ege Denizi'nin akıntı örüntülerinin değiştiğini de gösteren çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Borzelli vd., 2009). Grit Denizi civarında yapılan çalışmalar sonucunda ise bulunan su kütlelerinin içerdikleri besin elementleri belirlenmiş (Balopoulos vd., 1999), Grit siklonik döngü hareketliliğinin bulunduğu yerlerde nutrient zenginlliğinin yukarı taşınım hareketi sonucu meydana geldiği saptanmıştır (Price, 1996). Bu dönemde Kuzey Ege Denizi'nde birincil üretimin artmış olduğu gözlenmiş ve bu artışın nedeni besin elementlerinin o dönemde fazlalaşmasıdır (Tsiaras vd., 2012).

Bazı olaylar Doğu Akdeniz'in termohalin özelliklerini etkiler ve özellikle 1980'lerin sonlarından itibaren sirkülasyon sisteminde büyük değişikliklere neden olur. Bunlardan en önemlisi, şiddetli geçen soğuk kış mevsimi (1992, 1993) koşullarıdır. Hava ve deniz suyunda sıcaklıkların azalması değişimlerin olması için birinci koşuldur. Bu koşulların sonucu EMT'nin oluşmasına neden olmuştur. Bu olay derin tabaka sirkülasyonunun değişimine yol açmıştır. Akdeniz'e akan bu Ege Denizi dip suyuna karşılık, su bütçesini dengelemek üzere, Akdeniz yüzey suları (Levant Yüzey ve Orta Tabaka Suları) daha yoğun bir şekilde Ege Denizi'ne

girmiş ve Doğu Ege Denizi kıyıları boyunca ilerlemiştir. Bu değişim, Ege Denizi ve Akdeniz için yeni bir dönemin başladığına işaret etmektedir. 90'lı yıllar boyunca EMT diye adlandırılan bu olayla birlikte Akdeniz'den gelen suların Ege Denizi'ni iki defa dolduracak miktarda olması, kuzey Ege'ye kadar olan bütün bir bölgenin su özelliklerini etkilemiştir.Ege Denizi'ne giren büyük miktarda Levanten yüzey suları, EMT olayının gelişmesi için ana ön koşullardan ikincisidir (Klein vd., 1999; Lascaratos vd., 1999; Theocharis vd., 1999; Velaoras ve Lascaratos, 2005; Theocharis vd., 2014). Güçlü kış konveksiyonu nedeniyle tuz içeriğindeki artış ve artan yoğunluk seviyeleri, yoğun Ege Denizi Suyunun Girit Adası'nın her iki yakasındaki boğazlardan eşikler üzerinden dışarı çıkmasına neden olmuştur (Josey, 2003; Sayın ve Beşiktepe, 2010; Velaoras vd., 2014; Georgiou vd., 2015). Derin katmanlardan gelen bu çıkış tekrar geri beslenir ve Levanten kökenli tuzlu sular, Levanten Yüzey Suyu (LSW) ve Levanten Ara Tabaka Suyu (LIW) Ege Denizi sularının yoğunlaşmasına neden olur. Bu tuzlu sular Ege Denizi'nin doğu kıyısı boyunca kuzeye, Gökçeada Adası yakınlarına kadar akar ve Türkiye'nin batı kıyısındaki tüm Körfezleri de etkiler (Sayın vd., 2011; Eronat ve Sayın, 2014). EMT, Ege Denizi'nin termohalin özelliklerinde çarpıcı değişiklikler meydana getirir ve tüm Doğu Akdeniz'in derin ve ara katmanlarında havza çapında sirkülasyon desenlerini etkiler (Malanotte-Rizzoli vd., 1999). Akdeniz yüzey sularının Ege Denizi doğusundaki körfezlerle daha çok etkileşmesi bu döneme rastlar ve iki bakımdan önem arz etmektedir: i) Özellikle tuzluluk bakımından zengin olan Akdeniz suları, girdikleri körfezlerin su karakterini değiştirmiş ve körfezlerde oluşan yoğun sular için ön koşul oluşturmuştur. ii) Körfezler, EMT'nin gelişimi ile ilgili olarak önemli bulgular içermektedir.

2. CTD ÇALIŞMALARI

K. Piri Reis araştırma gemisi ile çeşitli projeler kapsamında körfezlerden elde edilen veriler, özellikle İzmir Körfezi verileri EMT'nin gelişimini doğru bir şekilde ortaya koymaktadır. 1993'teki major yoğun su oluşumundan sonra hem Orta Ege hem de körfezlerde yoğunluk seviyelerinin zamanla düştüğü gözlemlenmiştir. Bu yoğunluk seviyelerinin düşmesi 2000 yılına kadar devam etmiş, 2000 yılından sonra körfezlerde yoğunluk seviyeleri tekrar yükselmeye başlamış ve bu yükseliş 2007 yılında, 1993 yılı kış dönemindeki seviyelerle kıyaslanabilecek seviyeye gelirken yüzeye yakın derinliklerde yüksek yoğunluklar kaydedilmiştir. Bu akla "Yeni bir EMT dönemi mi?" sorusunu getirse de, 1993 yılından bazı farklılıklar içermektedir. Bu dönemde Ege Denizi yoğun suları dip suyu olarak değil orta tabakalardan Akdeniz'e akmıştır. Bu da 2007 döneminde yoğunlukların Akdeniz dip suyu

olabilecek kadar yüksek olmamasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu yeni oluşumun ismi literatürde EMT-Benzeri olay olarak adlandırılmıştır.

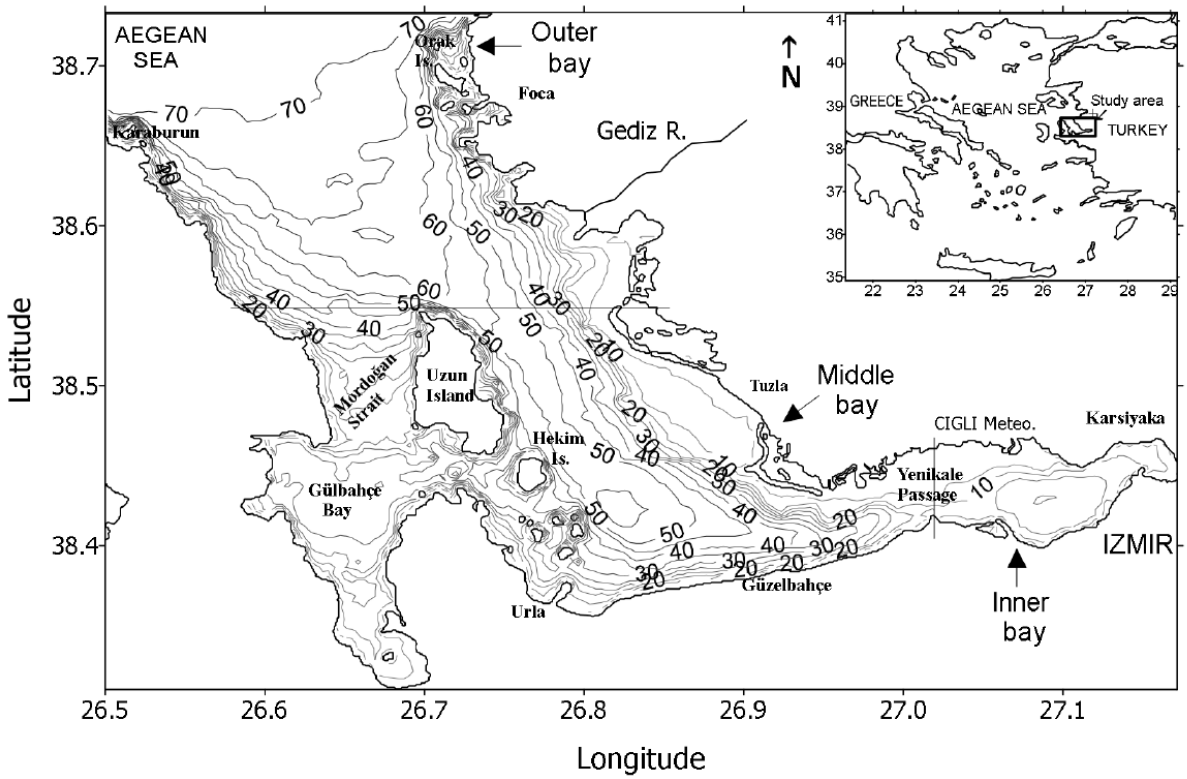
Doğu Akdeniz termohalin yapısı, EMT ve EMT-Benzeri olaylarla ilgili olarak yıllar bazında değişkenlik göstermektedir. İyon Denizi'nin yüzey suyunda oluşan siklonik veya anti-siklonik döngüler, yoğun su oluşumunun Adriyatik Denizi'nde veya Ege Denizi'n de meydana gelip gelmediği hakkında bilgi verir. İyon Denizi'nin yüzey suyunda anti-siklonik bir döngü oluşması, Ege Denizi'nin yoğun su oluşumu bakımından Adriyatik Denizi'nden daha aktif olduğu anlamına gelmektedir Gacic, vd., 2010; Gacic, vd., 2011; Gacic, vd., 2014. Ege Denizi'nden Dip (EMT olayı) veya orta tabaka (EMT-Benzeri olay) yoğun suları Akdeniz'e akmaktadır. 1992 ve 1993 yılları, tekrarı henüz olmayan EMT olayının yaşandığı yıllar olarak kabul edilirken 2007-2009 arasında ki yıllar ise EMT-Benzeri olayların yaşandığı yıllar olarak bilinir. 2012 yılında İyon Denizi yüzey su döngüsü beklenmedik bir şekilde siklonik fazdan ani olarak anti-siklonik faza dönüş gerçekleştirmiştir. İzmir Körfezi yoğunluk seviyeleri incelendiğinde, EMT (1992,1993) , EMT-Benzeri (2007-2009) olaylarının aynı zamanda döngünün ani olarak işaret değiştirmesi (abrupt reversal) olayının da Körfez'de farkedilmesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır. Önemli ve dikkate değer şey, bu tür EMT, EMTBenzeri veya döngüdeki ani değişimleri içeren olayların İzmir Körfezi ve Ege Denizi kıyı bölgelerinde yapılan ölçümlerle belirlenebiliyor olmasıdır.

Orta Ege Denizi gibi İzmir Körfezi de aynı fiziksel süreçlerden ve su kütlelerinden etkilenir.

Bunlardan önemlileri:

- Genellikle Kış ve Bahar dönemlerinde Asya Küçük Akıntısı'nın taşıdığı Levantin sıcak ve tuzlu suları; Levantin Yüzey Suyu (LSW, Levantine Surface Water) ve Levantin Aratabaka Suyu (LIW, Levantine Intermediate Water) Ege Denizi'ne Rodos ve Karpatos boğazlarından girer ve Ege Denizi'ni kıyı boyunca kuzeyde Saros Körfezi'ne kadar etkiler. Bu sular İzmir Körfezi'nde de görülür. Yoğun su oluşumunda ön koşul olarak nitelendirilirler.
- Yaz dönemlerinde ise Orta Ege ve İzmir Körfezi'ni etkileyen sular, Baba Burnu ve Edremit Körfezi kıyılarında kuzeyli rüzgarlar etkisiyle, yukarıya taşınım (upwelling) süreci sonucu oluşan, soğuk ve yoğun sulardır. Bu sular Kios Baseni'ne kadar olan büyük bir alanı etkisi altına alır. Nadir olmakla beraber Karadeniz Suları da Körfez'de görünebilirler.

Çalışma alanımız İzmir Körfezi'dir ve ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İzmir Körfezi'nin Ege Denizi'ndeki konumu ve batimetrisi.

İzmir Körfezi yoğunluk seviyeleri ve son yıllarda sıkça bahsedilen İyon Denizi Yüzey Suyu döngüleri ele alınarak tüm Akdeniz termohalin yapısında meydana gelen önemli olaylar karşısında birbirleriyle nasıl bir uyum içinde oldukları ortaya konmuştur. Bu dönemleri göz önüne sererken, İyon Denizi yüzey jeostrofik akıntılarından ve İzmir Körfezi'ndeki uzun süreli deniz çalışmalarında elde edilen bulgulardan da yararlanılacaktır. Bu dönemleri maddeler halinde şu şekilde sıralayabiliriz.

1- EMT Dönemi (1992 and 1993): İzmir Körfezi'nde en yüksek yoğunluk seviyeleri ölçüldüğü bir dönemdir (Şekil 2). Aynı dönemde Iyon Denizi yüzey sirkülasyonu anti-siklonik bir döngü içindedir (Şekil 3).

2- EMT Relaksasyon Dönemi, İzmir Körfezi'nde su kolonunda en düşük yoğunlukların ölçüldüğü bir dönemdir. Bu dönemde İyon Denizi jeostrofik yüzey sirkülasyonu siklonik karakterdedir. Siklonik hareketlilik 1998 yılından 2006 yılına kadar devam eder (Şekil 4).

3- Ani değişimlerden ilki 2002-2004 yılları arasında yaşanır. Iyon Denizi yüzey sirkülasyonu aniden siklonik fazdan anti-siklonik faza geçmeye çalışır. Eş zamanlı olarak, İzmir Körfezi'nde yoğunluk seviyelerinde artışlar görülür.

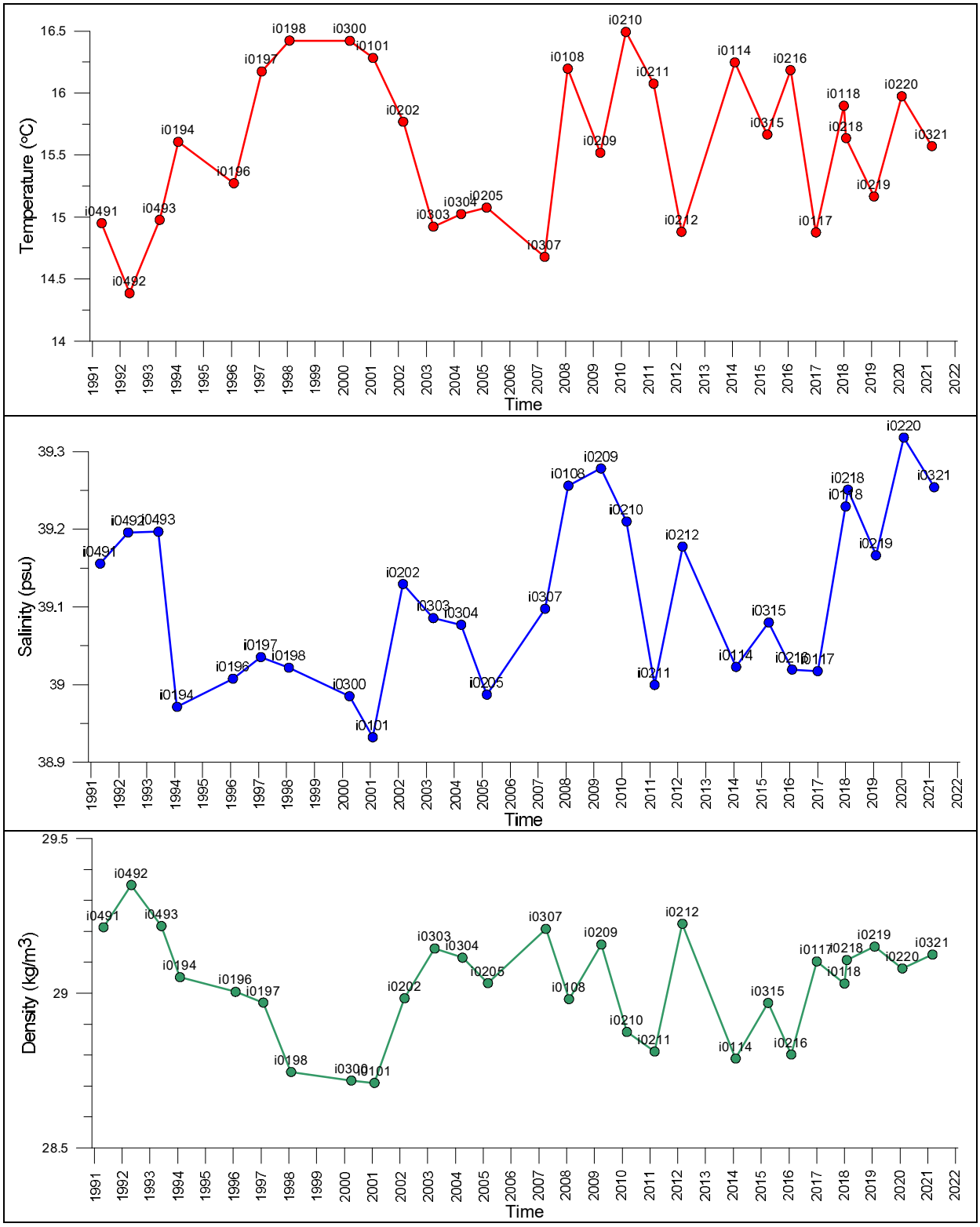
4- EMT-Benzeri Dönemi (2007-2009): 2006 yılından sonra Iyon Denizi yüzey sirkülasyonu tekrar anti-siklonik hareketlilik içine girer. Jeostrofik hızlar artarak diğer bir pik noktasına ulaşır. Eş zamanlı olarak, İzmir Körfezi'nde 29.2 kg/m3 gibi yüksek yoğunluk seviyeleri görülür.

5- İkinci ani değişim 2012 yılında yaşanır. Iyon Denizi yüzey sirkülasyonu ani bir şekilde anti-siklonik eğilim gösterir. Aynı dönemde İzmir Körfezi'nde de oldukça yüksek yoğunluk seviyeleri kaydedilir.

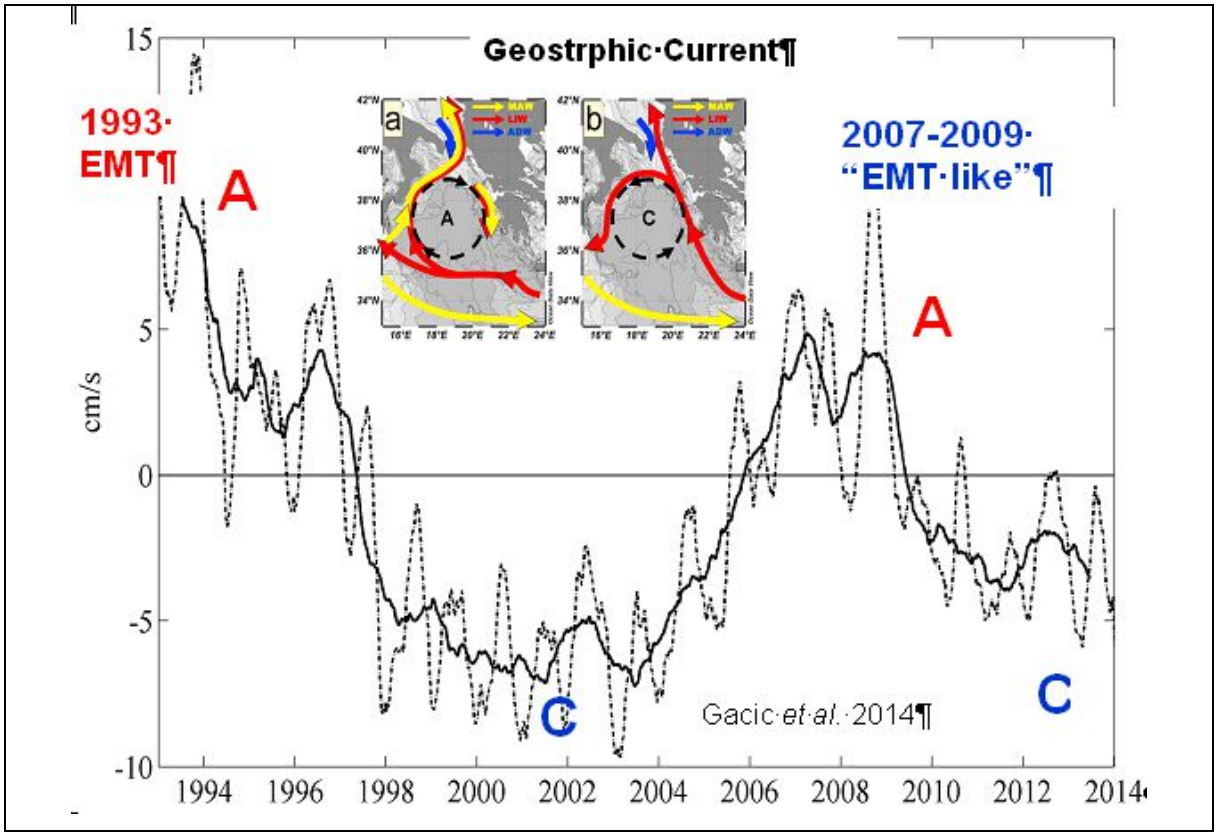
1992 ve 1993 yılları, Ege Denizi'ndeki yoğun ısı akılarındaki düşüş ile birlikte şiddetli kış koşullarının yaşandığı yıllar olarak bilinmektedir. Ege Denizi'nin bir bölümünde çok soğuk hava ve deniz sıcaklıkları görülür. Mevcut 1992 ve 1993 ilkbahar verileri, yoğun yoğun su oluşumundan sonraki oldukça yüksek olan yoğunluk seviyelerini göstermektedir. Bu yüksek izopiknal seviyeleri 1996 baharında istisna olmak üzere zamanla kademeli olarak azalmaktadır. Genellikle alt tabakaya ait yüksek yoğuluk seviyeleri, yoğun su oluşumu döneminde su kolonunun yüzeye yakın yerlerinde görülürken 2000 yıllarında su kolonundan tamamen kaybolmuştur. EMT zirve döneminden sonra iyice derinleşen bazı yüksek izopiknal seviyelerinin su kolonunda bulunmadığı döneme, EMT Relaksasyon Dönemi denir. Yüksek sıcaklık ve düşük tuzluluk değerleri sonucu olarak, bu dönemde 17 yılın en düşük yoğunlukları su kolonunda kaydedilmiştir (Şekil 2).

İzmir Körfezi'ndeki relaksasyon dönemi İyon Denizi yüzey sirkülasyonunun zirveye en yakın siklonik evrede olduğu dönemle örtüşmektedir (Şekil 4).

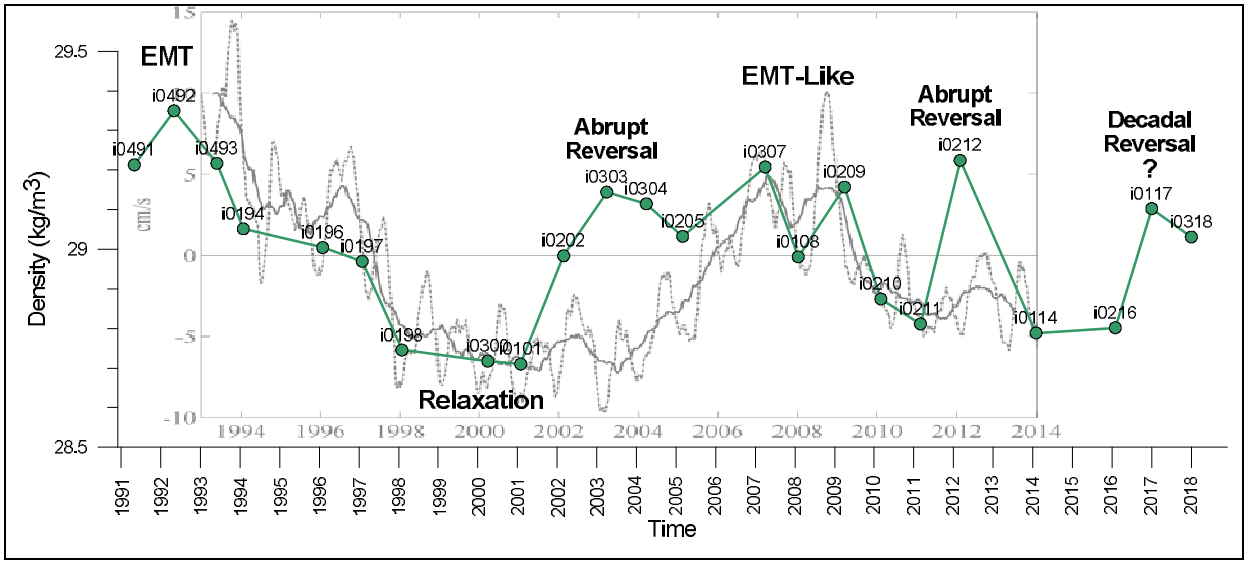
1996 İlkbaharında, Körfez'e farklı bir tip su girmektedir. Bu suyun kaynağı, Baba Burnu ve Edremit Körfezi yakınlarında, düşük sıcaklık ve yüksek tuzluluk değerlerine sahip olan yukarı taşınım (upwelling) alanıdır. Bu yükselmiş su Lesvos Adası'nın batısından İzmir Körfezi dahil olmak üzere güneye doğru Sakız Havzası'na kadar geniş bir alanı etkiler. İzmir Körfezi izopiknal seviyesindeki değişimlerin, İyon Denizi yüzey sirkülasyonu jeostrofik hızların şiddeti ile paralellik göstermektedir. 1996 yılında İzmir Körfezi'nde izopiknaller sığlaşma eğilimi gösterirken, İyon Denizi anti-siklonik jeostrofik hızları buna paralel olarak şiddetlerini artırma eğilimindedir (Şekil 4).



Şekil 2. İzmir Körfezi Ege Denizi bağlantısında 1 numaralı istasyondan elde edilen sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk zaman serisi. Değerler su kolonunun ortalamasıdır.



Şekil 3. Kuzey Iyon Denizi yüzey jeostrofik sirkülasyonunun (siklonik ve anti-siklonik döngüleri gösteren) şematik gösterimi (üst küçük iki harita). Jeostrofik hızların x bileşeni ve onların 13 aylık hareketli ortalamaları (kalın çizgi) üst panelin alt tarafında gösterilmektedir.



Şekil 4. Şekil 1'deki zamana bağlı yoğunluk değerleri ile Şekil 2'deki zamana bağlı jeostrofik hızların x-bileşenin aynı grafikte gösterilmesi.

İyon Denizi'nin yüzey sirkülasyonu 2003 yılı boyunca anti-siklonik olma eğilimi, İzmir Dış Körfezi 'ndeki yoğunluklardaki artışlara tekabül etmektedir (Şekil 4). Anti-isiklonik eğilimden sonra siklonik sirkülasyon şiddeti kısa bir süre artar ve daha sonra yine yavaş yavaş antisiklonik oluncaya kadar azalmaya devam eder. Bu azalma 3 yıl kadar sürer ve 2006 yılında işaret değiştirerek anti-siklonik faza geçer. Bu dönem, düşük sıcaklıklardan dolayı bitişik yıllara kıyasla bir yükselme gösteren Körfez yoğunluğundaki değişime karşı gelmektedir (Şekil 4).

2006'dan sonra Girit Denizi'nde tuzluluk ve yoğunluk artışları Ege Denizi Suyu'nun Girit Denizi boğazlarından Akdeniz'e doğru akmasına neden olmuştur. Bu dönem, İyon Denizi jeostrofik dolaşımının tekrar anti-siklonik faza geçmesiyle eş zamanlıdır. Bu dönemde İzmir Körfezi'ndeki yoğunluk seviyeleri oldukça yüksektir. Girit Aratabaka Suyu Doğu Akdeniz'e, LIW'in altındaki derinliklerden akar ancak daha derinlere inmek için yeterince yoğun değildir. Girit Suyu'nun bu davranışı yeni bir EMT olayı olmadığının göstergesidir. Bu, " EMT-Benzeri " olay olarak nitelendirilir.

Yoğun Girit Aratabaka Suyu, EMT-Benzeri olay sırasında (2007-2009 yılları arasında) Girit Denizi'nden Akdeniz'e orta derinliklerden akar. Bu yıllarda İzmir Körfezi'ndeki yoğunluk seviyeleri yüksek olmakla birlikte, yıllar bazında su özellikleri incelendiğinde farklılıklar göstermektedir. Yoğunluk, 2007'de düşük sıcaklıktan dolayı yüksek seyrederken 2008 ve 2009 yıllarında su sütununun zengin tuz içeriği (39.25 psu'dan daha büyük, 1990'dan beri en yüksek değerler) nedeniyle yüksektir.

İyon Denizi'nin yüzey sirkülasyon dolaşım yönü, 2009 yılından sonra anti-siklonikten tekrar sikloniğe değişir. Ancak, 2012 yılında beklenmedik bir şekilde bu dolaşımın anti-siklonik olma eğilimi içerisine girer. Bu ani değişiklikler yine İzmir Körfezi ölçümlerinden de farkedilir.

CTD Zaman Serileri

Ege Denizi'nde, DEU Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından R/V K. Piri Reis ile bir çok deniz seferi düzenlenmiştir. Bu seferlerde toplanan verilerin yanısıra EMT öncesi ve sonrası Ege Denizi'nde çeşitli enstitüler tarafından toplanmış **PERSEUS** (Policy-oriented marine Environmental Research for the Southern European Seas), **MEDAR/MEDATLAS** ve **WOD** (World Ocean Data) gibi veri setleri kullanılarak noktasal veya kesit boyunca zamana bağlı ilişkiler aranmıştır. Böylece EMT ne zaman başlamış, ne zaman pik noktasına gelmiş ve ne zaman sönümlenmiş olduğu kendisini oluşturan koşulları ile birlikte açıklanmaya çalışılmıştır. Bu koşullar arasında iklimsel değişimlerin denizel süreçleri ne kadar etkiledikleri araştırılmıştır. Bunu başarabilmek için meteorolojik veriler (yağış, buharlaşma, rüzgar şiddeti, hava sıcaklığı, deniz yüzey sıcaklıkları, deniz yüzeyi yüksekliği, atmosfer basıncı) geniş bir

zaman aralığında incelenmiştir. Uzaktan algılama verileri SST, aylık ve mevsimsel bazda ele alınarak bize oluşan siklonik ve anti-siklonik döngülerin zaman içerisindeki dağılımları, büyüklükleri ve oluştukları yerde kararlı olup olmadıkları konusunda bilgiler vermiştir. Bağlı Tübitak raporunda 4 bölge ve beş dönem üzerinde durulmuştur. Bunlar aşağıdaki gibidir.

1.Bölge- Orta Ege Denizi: Ege Denizi'nin en yoğun sularının oluştuğu **Orta Ege Denizi**, İklim deniz ilişkisini bize açıkça gösterecek fiziksel süreçleri içerdiği için, bu çalışmadaki en önemli bölgedir.

2.Bölge- İzmir Körfezi: Büyük ölçekteki fiziksel olayların koy ve körfezlerde de hissedilip hissedilmeklerini görebilmek önemlidir. **İzmir Körfezi'nde** oşinografi çalışmaları 1990 yılından bu yana düzenli bir şekilde yapıldığı için zaman serisi analizleri ile bu fiziksel olayların araştırılması projeye çok büyük bir katkı koymuştur.

3.Bölge- Güney Ege Denizi: Ege Denizi ve Akdeniz arasındaki su değişiminin en fazla olduğu bölgelerden bir tanesi olan **Güney Ege Denizi** önem arz etmektedir.

4.Bölge- Rodos Çukuru: Rodos Çukuru, Levantin aratabaka sularının oluştuğu yer olarak kabul edilmektedir.

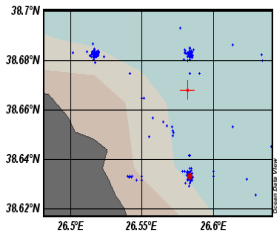
Bu dört ana bölgenin yanısıra dikkat edilmesi gereken beş önemli dönem vardır;

- **1993** dönemi, EMT'nin pik yapığı dönemdir
- **2000** dönemi, EMT'nin etkisini iyice kaybettiği dönemdir
- **2007-2009** yılları arasına rastlayan dönem, EMT-Benzeri olayın oluştuğu dönemdir
- **2012** dönemi beklenmedik bir şekilde İyon Denizi üst su sirkülasyonunun, siklonik yapıdan antisiklonik yapıya dönüşerek Akdeniz Aratabaka Suyunun doğrudan Ege Denizi'ne girmesini sağlaması anlamına geldiği için seçilmiştir. Ege'ye giren Akdeniz sularının tuzluluk içerikleri olağan değerlerinden daha düşüktür.
- **Son** dönem ise Ege Denizi'nin mevcut durumunun ortaya konmasıdır. İzmir Körfezi'nde izopiknal seviyeleri su kolonunda yüzeye yakın derinliklere kadar yükselmiştir.

Bu projede 1 bölge olarak İzmir Körfezi çalışıldı (Şekil 1) ve 5 dönem üzerinde duruldu. Tübitak projesi 2018 tarihine kadar olan verileri inceledi. Bu projede ek olarak Orta Ege ve Rodos Çukuru hariç diğer bölgelelerde 2014-2021 tarihleri arasında toplanan veriler de eklendi.

Bu analizlerde yoğunluk, sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin derinlik boyunca profilleri 1980'li yıllardan günümüze kadar Zaman-Derinlik grafikleri (Hovmoller diyagramı) şeklinde gösterildi.

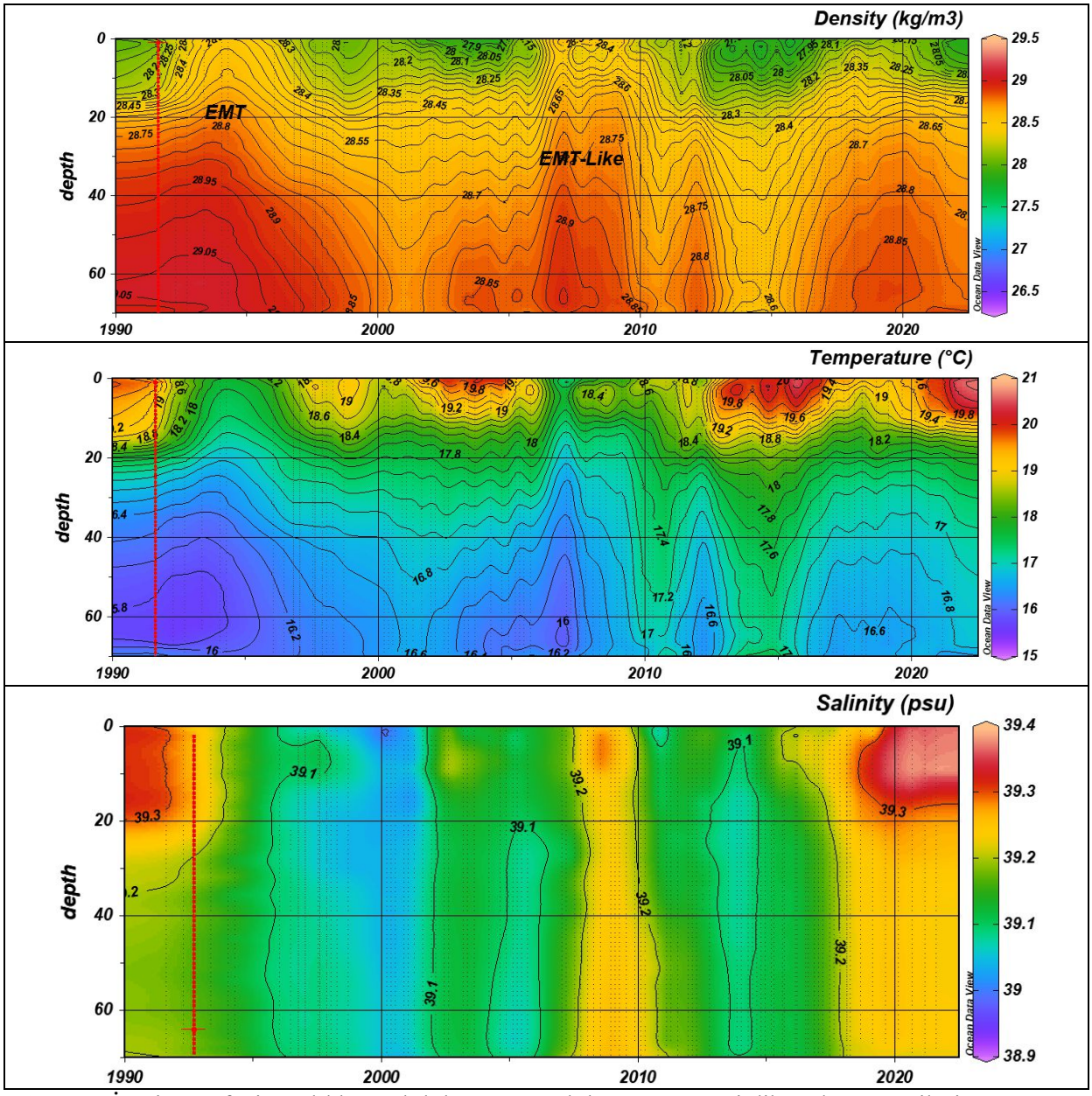
İzmir Körfezi Zaman Serileri:



Özellikle İzmir Dış Körfezi'nde Karaburun açıklarındaki üç istasyona yoğunlaşmış verilerden hazırlanan zaman serileri Akdeniz yüzey sularının Körfez'e ne zaman girdiklerini göstermesi bakımından önemlidir. İzmir Körfezi'nde de bu tuzlu suların bulunması yüksek yoğunlukların oluşmasında önkoşul oluşturmaktadır. İzmir Körfezi'nde 1993 döneminde yoğunluklar göreceli olarak yüksektir ve su kolonunda 28.8 kg/m^3'lik izopiknal seviyesi 30 metrelerde görülür (Şekil 5). 28.8 kg/m^3 izopiknal seviyesi 1993 yılından sonra alçalarak 2000 yılı döneminde 50 metrelere kadar iner ve daha sonra yükselerek 2007-2009 döneminde 20 metrelere yaklaşır.

Daha sonra düşen bu yoğunluk seviyesi 2012 döneminde tekrar 30-40 metrelere kadar yükselmiştir. 2000 döneminde su kolonunda soğuk su bulunmasına karşın yoğunlukların düşük seviyede kalmasının nedeni, tuzluluk bakımında zengin bir suyun olmamasıdır. 2007 dönemi şekil bakımından 2000 dönemiyle benzerlik gösterirken, su kolonunun soğuması 2000 yılına kıyasla daha etkindir. 2008 ve 2009 dönemlerinde ise Akdeniz tuzlu sularının Körfez'e büyük miktarlarda girdikleri tahmin edilebilir. Orta Ege ve Körfez zaman serilerinden ortaya çıkan EMT ve EMT-Benzeri olaylar tuzluluk değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tuzlu suların bulunmadığı durumlarda, sadece soğuma nedeni ile oluşan yoğunluk seviyeleri sınırlı kalmaktadır. 2012 döneminde oldukça yüksek yoğunluk seviyeleri bulunmasına karşın, 2007-2009 dönemiyle karşılaştırıldıklarında daha düşüktürler.

Böyle olmasının nedeni Akdeniz tuzlu sularının Körfez'e girecek kadar Ege Denizi'nde kuzeye doğru ilerleyememeleri veya giren Akdeniz sularının tuzluluklarının Körfez tuzluluklarından çok farklı değerlerde olmamalarındandır. 2017 yılında Şekil 5'den de anlaşılacağı üzere Körfez'deki izopiknal seviyeleri tekrar yükselmeye başlamıştır. Seviyeler 2007-2009 seviyeleri ile kıyaslanabilir.



Şekil 5. İzmir Körfezi sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk Zaman-Derinlik eşdeğer eğrileri

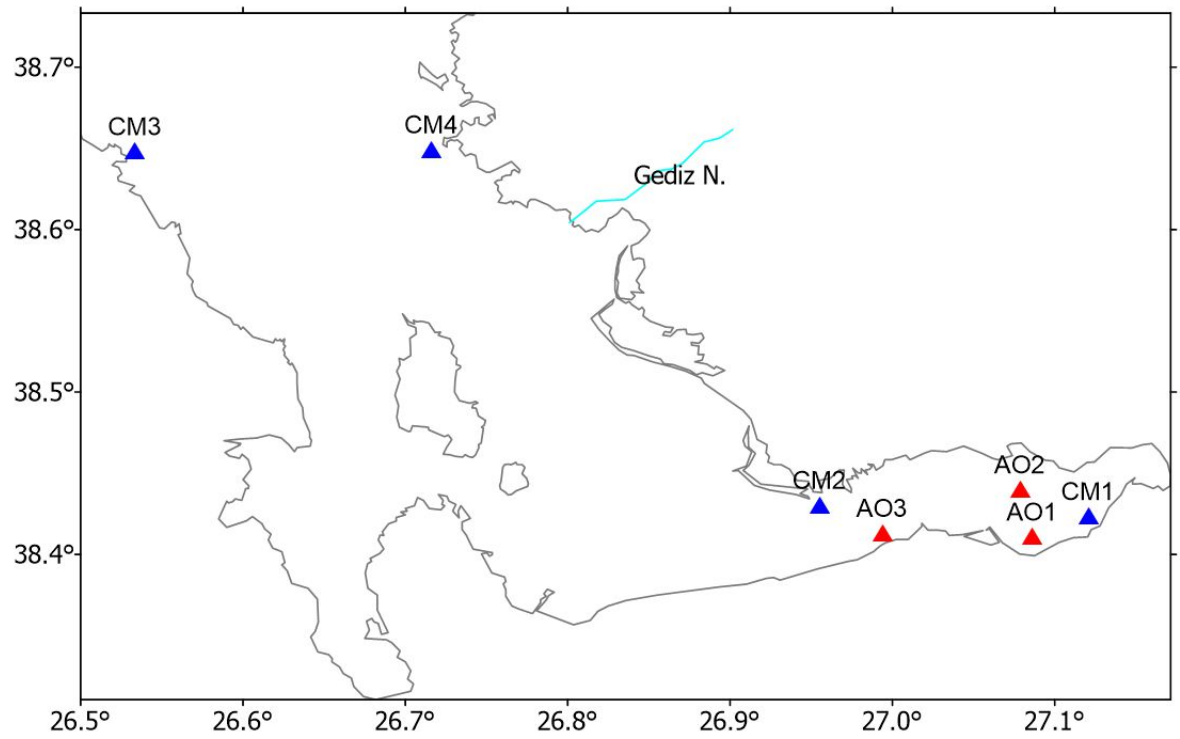
2007-2009 dan farkı tuzluluk değerleri yüksek olmasa da 2017 yılında sıcaklıklar çok düşüktür. Bu yoğunlukların yüksek olmasına neden olmaktadır. 2017 Kış isopiknal seviyeleri EMT-Benzeri olayın habercisidir. Rodos Döngüsünün merkezinde yoğun Grit suyunun bulunması bunu doğrulamaktadır. Bu aynı zamanda İyon Denizi yüzey jeostrofik sirkülasyonunun siklonik fazdan anti-siklonik faza geçmesi anlamına gelmektedir. 2017 dönemindeki bu gelişmenin uzun (decadal) soluklu olduğu bir sonraki 2018 kışında alınan verilerden anlaşılmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 5). Bu dönemde tuzlu Akdeniz sularının bulunmaktadır. 2017 kış dönemi kadar olmamakla birlikte soğuk suların Körfez'de bulunması EMT-Benzeri dönemlerine benzer yoğun suların bölgede oluştuğunu göstermektedir.

3. AKINTI ÖLÇÜMLERİ

Ocak 2018 akıntı ölçümleri

Şekil 6'da konumları mavi üçgen olarak gösterilen Ocak 2018 seferinde kullanılan CM1 ve CM2, Aandera SEAGUARD akıntı ölçerler sırasıyla 14 ve 5 gün denizde bırakılmıştır. CM3 akıntı ölçer verileri teknik bir sorundan dolayı elde edilememiştir.

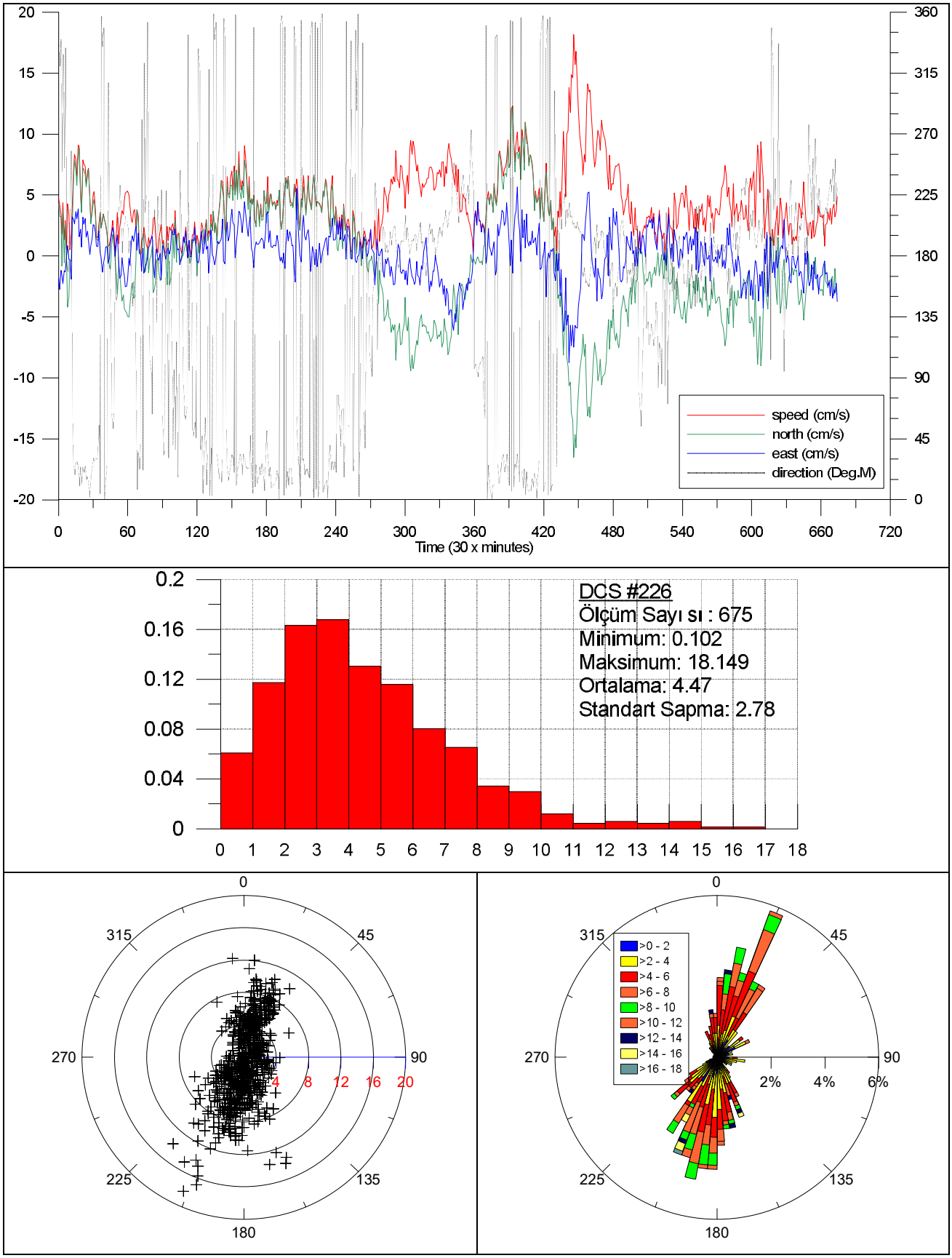
CM1 akıntı ölçeri, Pasaport'a yakın bir yere 12 metre derinliğe bırakılmış ve akıntının şiddeti, yönü, hızın kuzey ve doğu bileşenlerini kayıt etmiştir.



Şekil 6. Kış 2018 döneminde İzmir Körfezi'nde gerçekleştirilen akıntı ölçümlerinin konumları.

CM1 akıntı ölçerinin akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 7 (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir. Buna göre akıntı en çok kuzeykuzeydoğu (nne) ve güneygüneybatı (ssw) istikametlerinde kıyıya paralel olarak akmış ve akıntı şiddetleri en çok 3-4 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 18,1 cm/s olarak tespit edilmiş ve ortalama akıntı 4,5 cm/s olarak hesaplanmıştır.

CM2 akıntı ölçerinin akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 8 (üst panel) da verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7. CM1 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).

Buna göre akıntı en çok doğu batı istikametinde İç Körfez dışına doğru akmış ve akıntı şiddetleri en çok 2-3 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 15,1 cm/s olarak tespit edilmiş ve ortalama akıntı 4,2 cm/s olarak hesaplanmıştır.

CM4 akıntı ölçer Foça yakınlarında 55m derinliğe konuşlandırıldı. Akıntı ölçer o konumda 10-11 gün kaldı. Akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 9 (üst panel) da verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir. Buna göre akıntı beklendiği üzere en çok kuzeykuzeybatı istikametinde Dış Körfez dışına doğru akmış ve akıntı şiddetleri değişken olup 6-17 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 20,2 cm/s olarak tespit edilmiş ve ortalama akıntı 10,95 cm/s olarak hesaplanmıştır. Değişken şiddette akıntıların olduğu standart sapmanın yüksek (4,12cm/s) olmasından da anlaşılmaktadır.

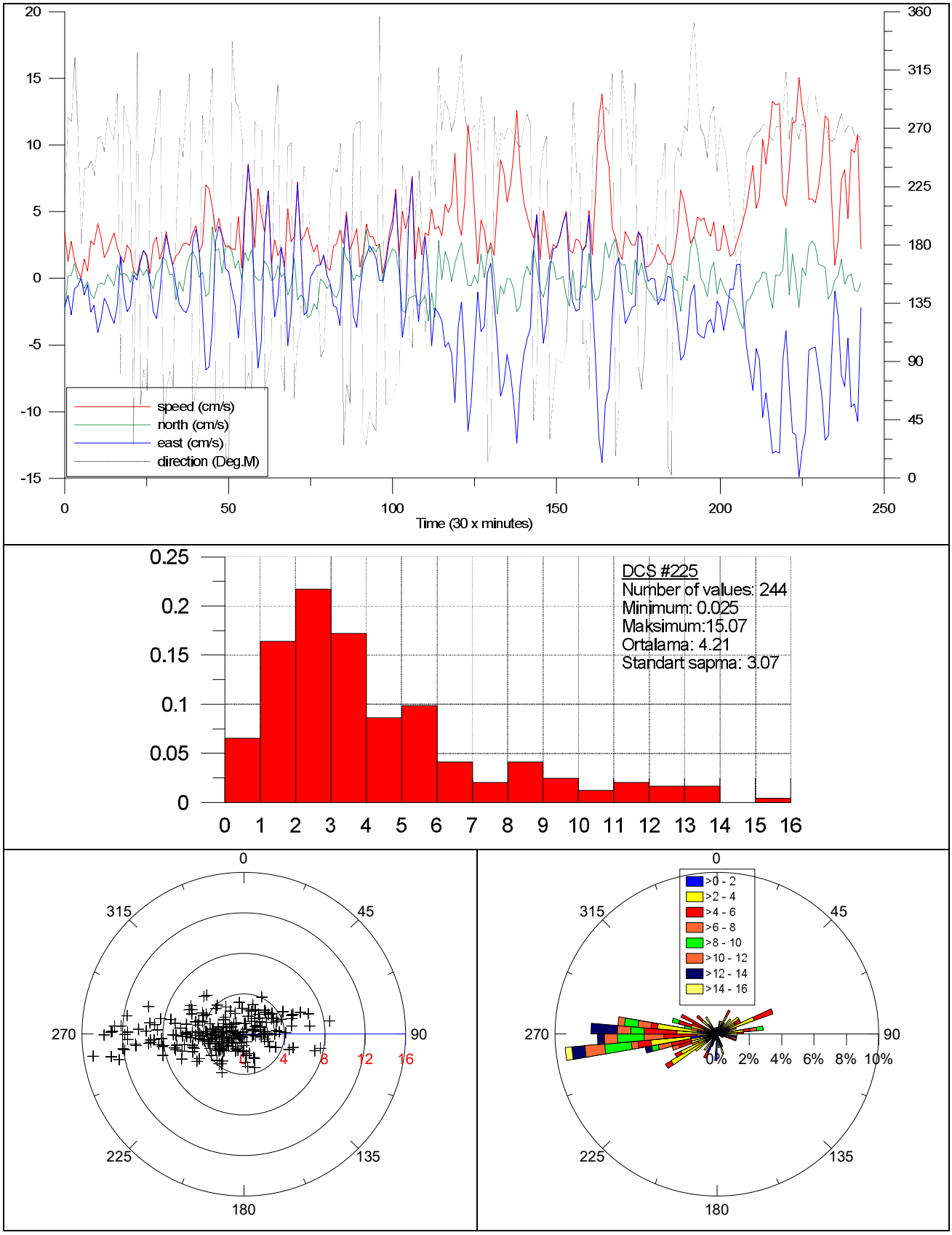
Mart 2018 akıntı ölçümleri

Şekil 6'da konumları kırmızı üçgen olarak gösterilen Mart 2018 seferinde kullanılan AO1, AO2 ve AO3, Aaandera SEAGUARD akıntı ölçerler 13'er gün denizde bırakılmıştır.

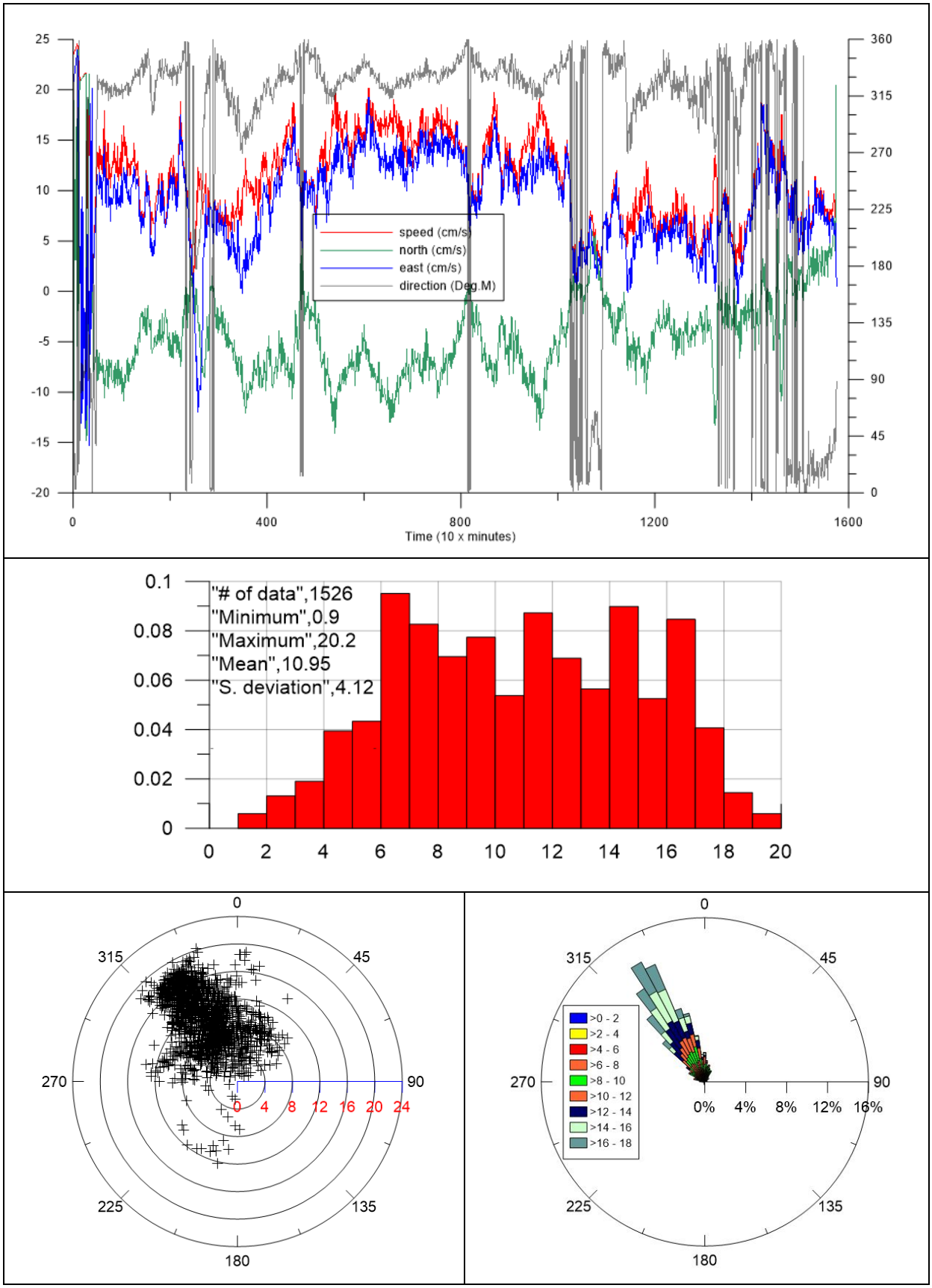
AO1 akıntı ölçer, Pasaport'a yakın yere 5 metre derinliğe bırakılmış ve akıntının şiddeti, yönü, hızın kuzey ve doğu bileşenlerini kayıt etmiştir.

AO1 akıntı ölçerinin akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 10 (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir. Buna göre akıntı en çok batı istikametine doğru güneyeyden esen rüzgarın etkisiyle akmış ve akıntı şiddetleri en çok 3-5 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 15,3 cm/s olarak bulunmuş ve ortalama akıntı 4,54 cm/s olarak hesaplanmıştır.

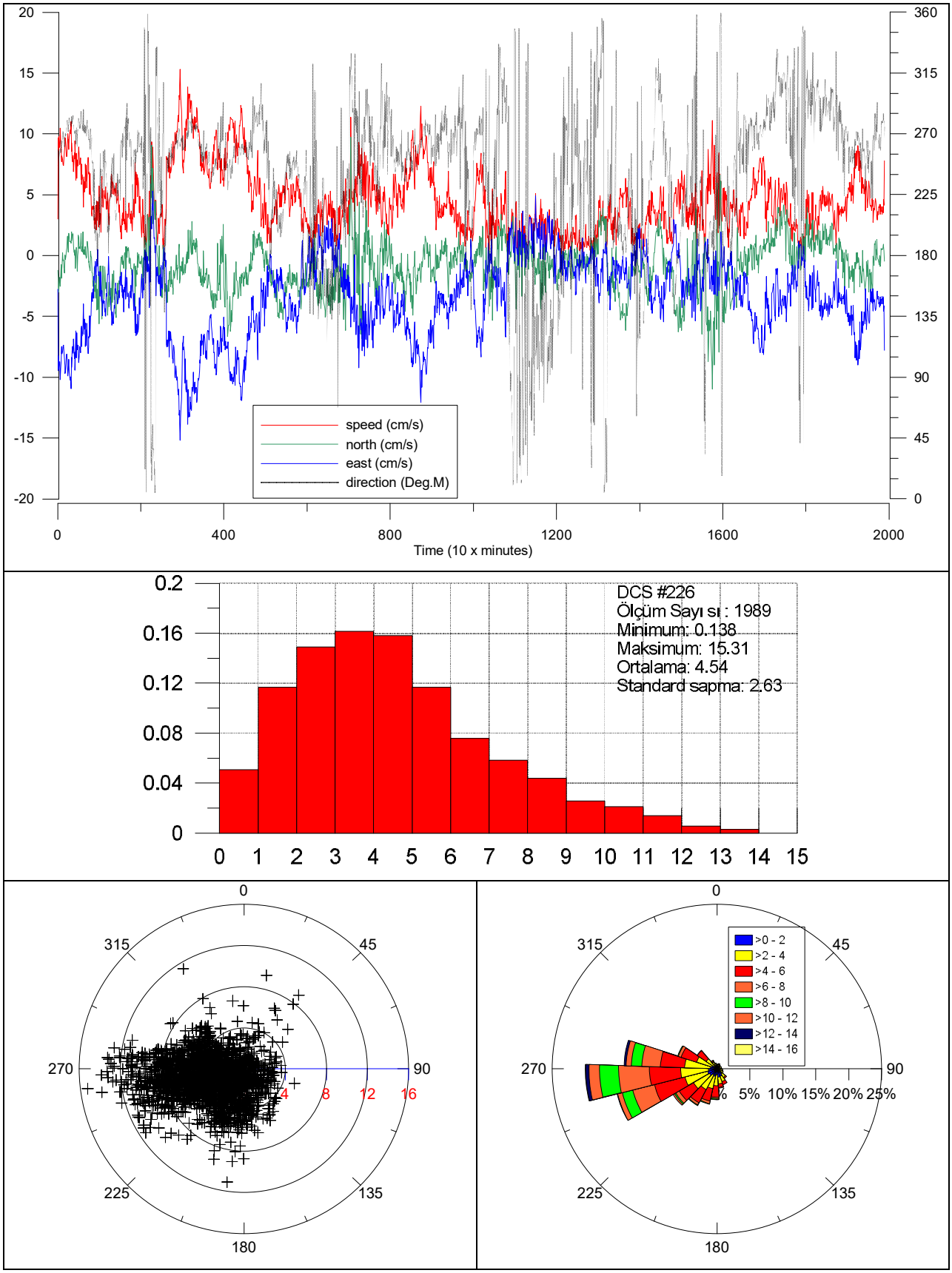
AO2 akıntı ölçerinin akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 11 (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir. Akıntı baskın bir yön göstermemekle birlikte kıyıya paralel olarak batı ve doğukuzeydoğu istikametlerinde akmış. Zaman zaman güneygüneydoğu yönleri de görülmüştür. Akıntı şiddetleri değişken olmakla birlikte en çok 4-5 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 17,0 cm/s olarak tespit edilmiş ve ortalama akıntı 5,79 cm/s olarak hesaplanmıştır. Değişken şiddette akıntıların olduğu standart sapmanın yüksek (3,1cm/s) olmasından da anlaşılmaktadır.



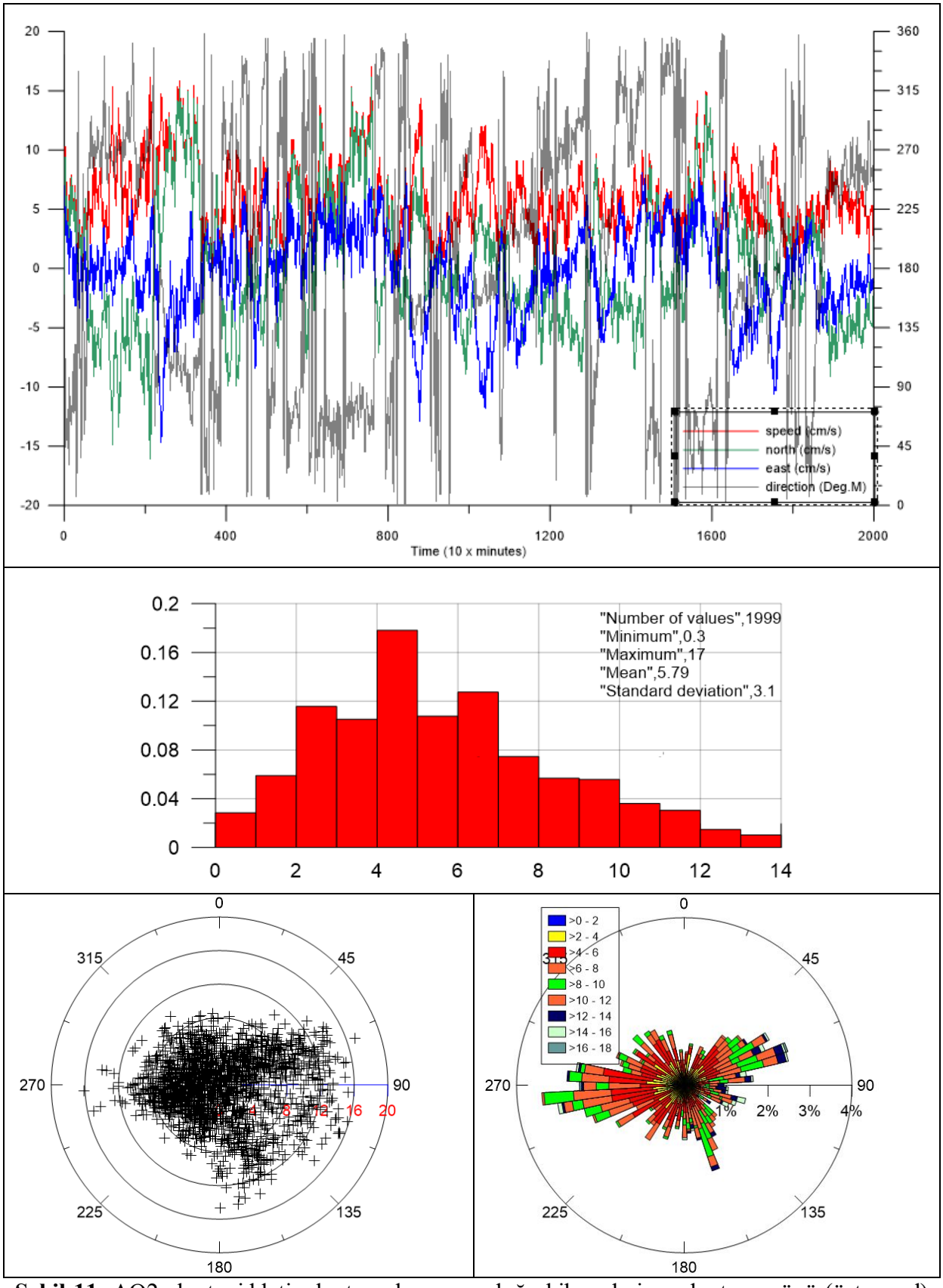
Şekil 8. CM2 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).



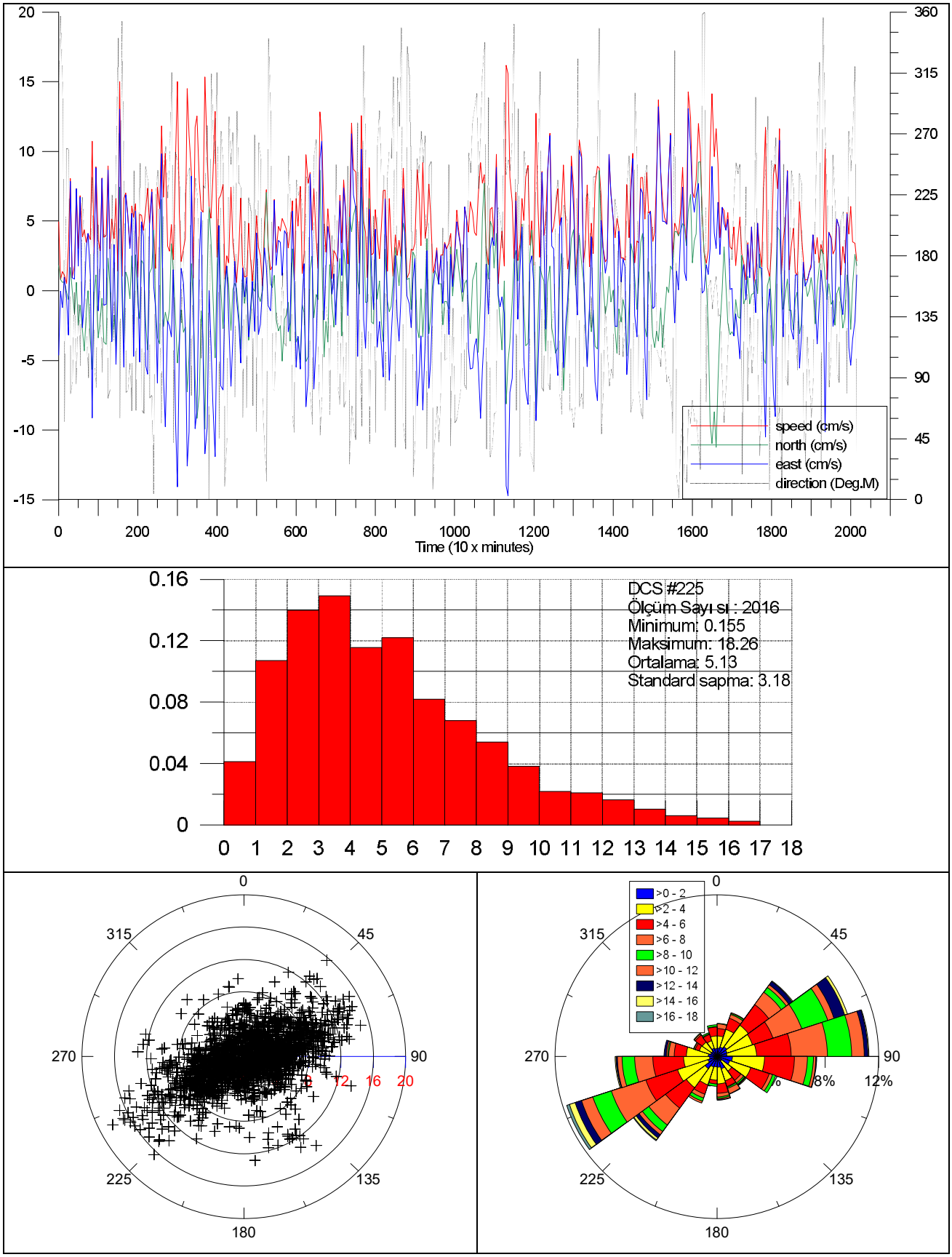
Şekil 9. CM4 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).



Şekil 10. AO1 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).



Şekil 11. AO2 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).



Şekil 12. AO3 akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenleri ve akıntının yönü (üst panel) de verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel).

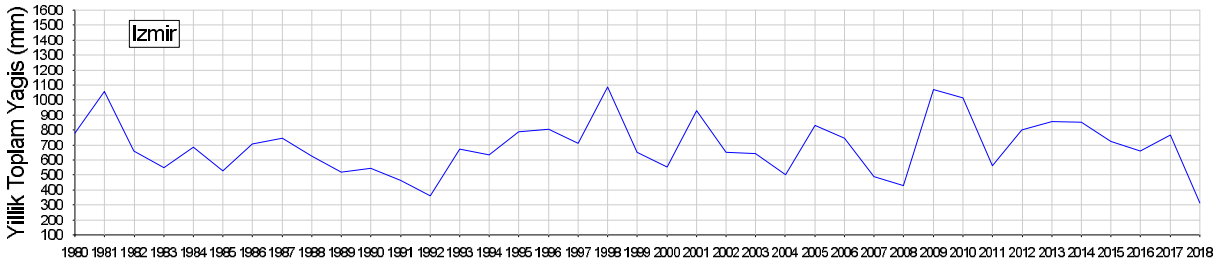
AO3 akıntı ölçerinin akıntı şiddeti, akıntının kuzey ve doğu bileşenler ve akıntının yönü Şekil 12 (üst panel) te verilmiştir. Akıntı histogramı (orta panel), polar grafiği ve akıntı şiddetlerine göre polar grafiği (alt panel) yine aynı şekilde gösterilmiştir. Buna göre akıntı en çok doğu kuzeykuzeydoğu (nne) ve güneygüneybatı istikametlerinde kıyıya paralel olarak akmış ve akıntı şiddetleri en çok 2-4 cm/s aralığında ölçülmüştür. Maksimum akıntı şiddeti 18,3 cm/s olarak tespit edilmiş ve ortalama akıntı 5,13 cm/s olarak hesaplanmıştır.

4. METEOROLOJİ VERİLERİ

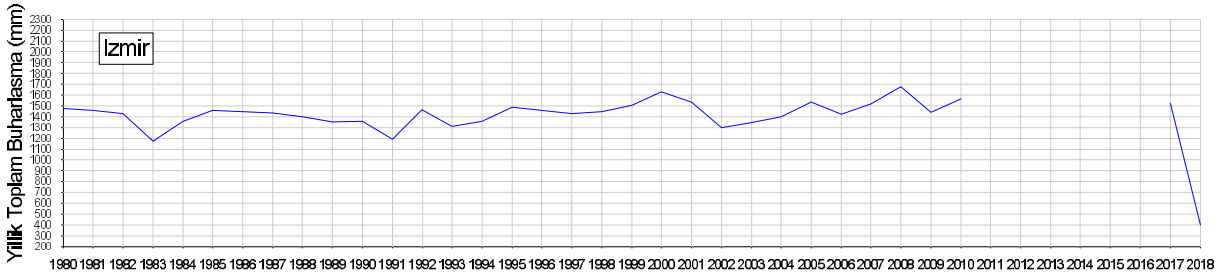
İzmir Körfezi Meteoroloji verileri zaman serileri

Yağış ve Buharlaşma Zaman Serileri:

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen verilerden yararlanarak dönemleri irdeleyebiliriz. 2018 yılında görülen değerler 5 ayın ortalama değeri olduğu için yanıltıcı olabilir. İzmir ve tüm Meteoroloji Merkezlerinden elde edilen sonuçlara göre yağış verileri incelendiğinde en çarpıcı sonuç, yağışların EMT zamanlarında az olduğudur (Şekil 13). Yağışların az olması, atmosfer ve deniz etkileşmesini artırması bakımından önemlidir. Yüksek yağışlar sonucunda deniz yüzeyinde oluşan ince tabaka atmosfer ve deniz yüzeyini birbirinden izole etmektedir. Bu da soğuk havanın denizde derinlere kadar nüfuz etmesini önlemekte ve soğuyan su kütlesinin derinlere doğru hareketlenmesini sınırlamaktadır.



Şekil 13. İzmir yağış zaman serisi.



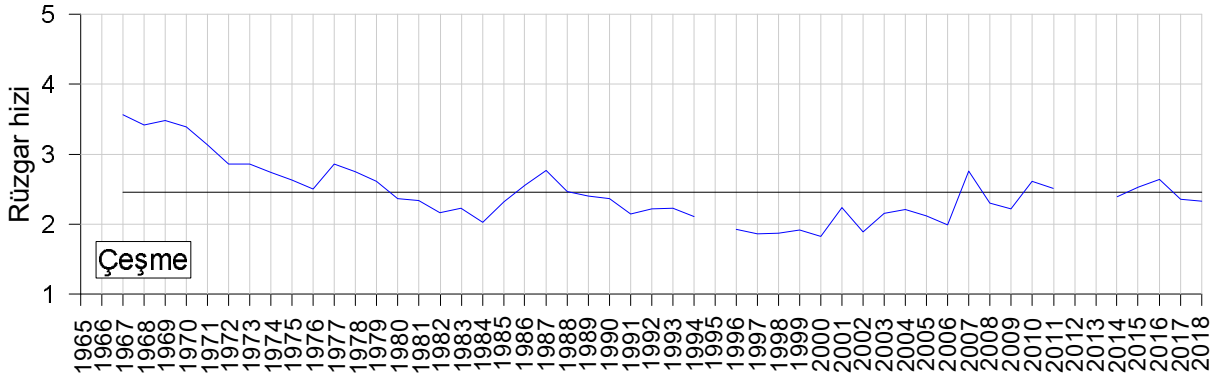
Şekil 14. İzmir buharlaşma zaman serisi.

İzmir Meteoroloji Merkezlerinden ait buharlaşma verilerinden oluşturulmuş olan buharlaşma zaman serisi Şekil 14'te gösterilmektedir. Bilindiği üzere dünyada Ege Denizi'nin de içinde bulunduğu orta kuşakta buharlaşma miktarından (E) yağış miktarı (P) çıkartıldığında, E-P değeri yüzey tuzlulukları ile uyum içerisindedir. 1993 dönemi için kıyıdaki E-P miktarları 2000 ve 2008 dönemlerindeki E-P değerleri ile kıyaslandıklarında küçüktür.

Buna rağmen 1993 tuzluluk değerlerinin özellikle 2000 dönemi tuzluluklarına göre yüksek olmaları Orta Ege ve İzmir Bölgelerindeki tuzlulukların EMT döneminde başka bölgelerden Akdeniz'den advektif olarak gelmiş olduğuna işaret etmektedir. 2008 döneminde E-P değerlerinin büyük olması ise İzmir Körfezi'ndeki yüzey suyundaki yüksek tuzluluk değerlerinin buharlaşma ve yağışın etkisinde lokal oluştuğunu göstermektedir.

Rüzgar hızı zaman serileri:

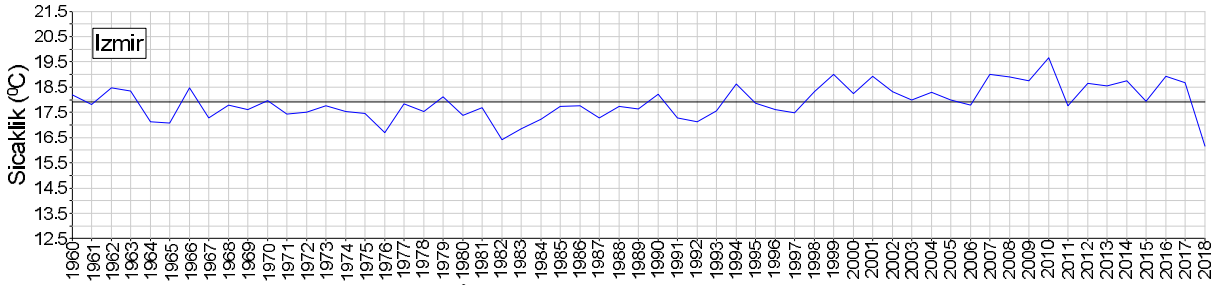
1960'lı yıllarından 2010 senesine kadar kıyılarda meteroloji istasyonlarında yapılan ölçümlerden elde edilen bulgular, rüzgarın Ege Denizi'nde seçilen bölgelerde ve dönemlerde olan olaylarla belirli bir etkileşiminin olmadığını göstermektedir. Rüzgar, çoğunlukla süreçleri tek başına değiştiremez ancak süreçleri kuvvetlendiren veya zayıflatan bir rol üstlenir. İzmir'e en yakın olan Çeşme istasyonunda ölçülen verilerin zaman serileri, rüzgar şiddetinin 1960'lı yıllardan 2000 yılına kadar genellikle azalma eğlimi içinde olduğunu göstermiştir (Şekil 15). 2000 yılından sonra hızların ya sabit kaldığı ya da hızlarda bir artış olduğu görülmektedir. Rüzgarların, EMT'nin etkisinin azaldığı 2000 döneminden sonra yeni bir rejime girip girmediğini söyleyebilmek için ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.



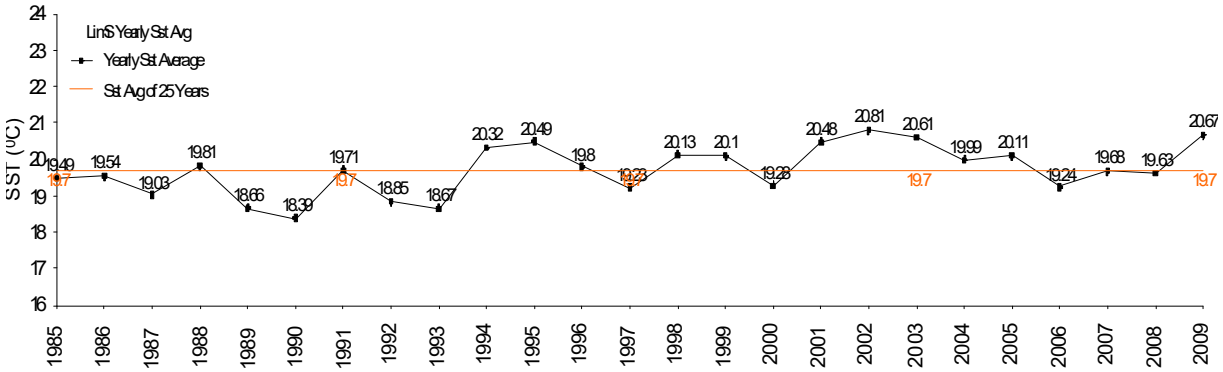
Şekil 15. Çeşme rüzgar hızı zaman serisi.

Hava Sıcaklığı zaman serileri:

İzmir meteoroloji istasyonnunda ölçülen hava sıcaklıkları son yıllardaki ısınmaya işaret ederken, EMT olayı ile ilgili de önemli ip uçları taşımaktadır (Şekil 16). EMT olayı 1993 yılında özellikle Orta Ege Denizi'nde yoğun suların oluşması ile başlamıştır. Bunun sebebi 1992 ve 1993 kış dönemlerinde hava sıcaklıklarının oldukça düşük olmasındandır. Hava sıcaklığı zaman serilerinden görünen 1992 ve 1993 yıllarında bütün istasyonlarda hava sıcaklığında minimum veya oldukça düşük değerler tespit edilmiştir. 1992 yılından 2010 yıllarına kadar genel olarak hava sıcaklıklarında artışlar görülmüştür. 1993 yılı öncesi verilerini değerlendirecek kadar CTD verileri yoktur. 1982 yılı da oldukça soğuk bir dönemi işaret etmektedir.



Şekil 16. İzmir yıllık ortalama hava sıcaklıkları



Şekil 17. Midilli Adası güneyi zamana bağlı yıl bazında SST (Yüzey Deniz Sıcaklık) değerleri. Üzerinde siyah nokta olan siyah çizgi yıllık ortalama, turuncu çizgi uzun yılların ortalama değerini göstermektedir.

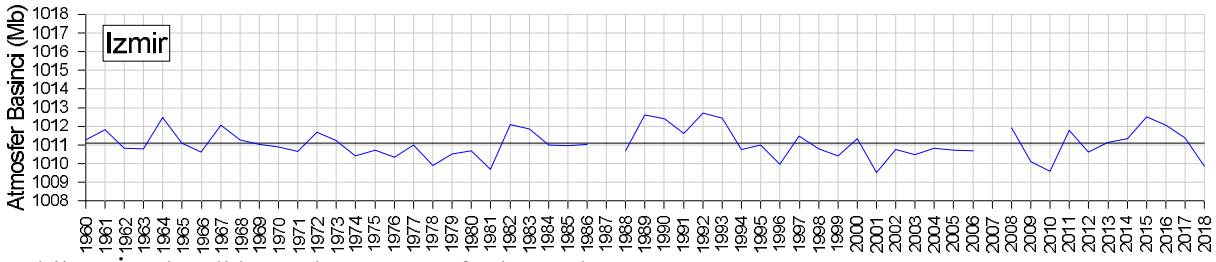
Yüzey Suyu Sıcaklığı zaman serileri:

1985'ten 2009 yılına kadar uzaktan algılanan verilerden oluşturulan su yüzeyi sıcaklıklarının zaman serileri İzmir Körfezi'ne en yakın bölge olan Midilli Adası Güneyi (LimS, Orta Ege) bölgesine aittir (Şekil 17.). SST zaman serisinden izlenen önemli bulgu, deniz yüzeyi sıcaklıklarının bu bölge ve her bölgede (gösterilmedi) 1993 yılından sonra ortalamaya yakın veya ortalamanın üzerinde seyretmesidir. Ayrıca 1992 ve 1993 yıllarında SST değerlerinin en

düşük değerlerde olmaları hava sıcaklıkları ile uyum gösterir. 1989 ve 1990 yıllarında da yüzey suyu sıcaklıkları ortalamanın altında düşük değerlerdir.

Hava Basıncı zaman serileri:

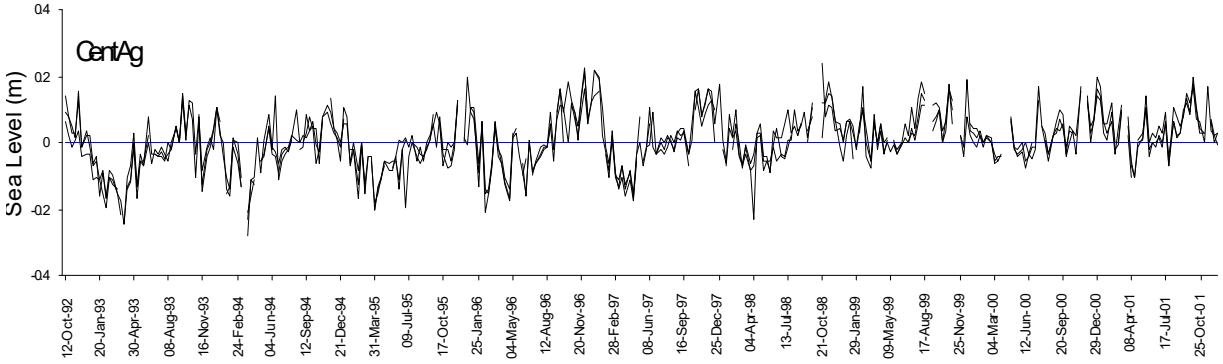
İzmir Meteoroloji İstasyonunda 1960-2010 yılları arasında ölçülen basınç değerlerinin zaman serisi Şekil 18'de gösterilmiştir. Yıllar bazında basınç değişimleri bütün istasyonlarda benzerlik göstermektedir (gösterilmedi). Örneğin kışların oldukça soğuk geçtiği 1992 ve 1993 yılları her istasyonda devamlı basınç bakımından yüksek değerler alırken, 1991 yılı basınç değerleri önceki iki (1989 ve 1990) ve sonraki iki yıl (1992 ve 1993) basınç değerleri ile kıyaslandığında devamlı minimumu göstermektedir. 2000 yılı basınç değerlerinin ise kendinden önce ve sonraki yılların basınç değerleri arasında en yüksek değeri alsa bile düşük seviyededir. Basıncın büyük bir bölgeyi tüm Ege Denizi doğu kıyısını etkileyen büyük ölçekte olduğu görülmektedir.



Şekil 18.İzmir yıllık ortalama atmosfer basınçları.

Deniz yüzeyi yüksekliği (SSH) zaman serileri:

Ekim 1992 yılından Ekim 2001 yılına kadar CentAg (Kios Baseni) bölgesinde yapılan mevsimlik uzaktan algılama ile elde edilen verilerden yapılan deniz yüzeyi yüksekliği zaman serileri Şekil 19'da verilmiştir. Rodos Çukuru bölgesi de dahil olmak üzere Ege Denizi'nde deniz seviyesi -20 cm + 20 cm arasında değişim göstermiştir. Levantin bölgesinde bu değişim daha büyük genliklerde görülmektedir. Deniz yüzeyi seviyesi zaman serilerinden anlaşılan seviyenin daha çok mevsimsel olduğu yıllar bazında değişimlerin farklılıklar göstermediği şeklindedir. Kış ve bahar dönemlerinde düşük (sıfır seviyesinin altında) yaz ve sonbahar dönemlerinde ise yüksek (sıfır seviyesinin üstünde) yüksek deniz seviyeleri gözlenmiştir. EMT için önemli olan 1993 döneminde düşük ve 2000 döneminde ise sıfır seviyesine yakın değerler olmasına rağmen mevsimlik değişimler gözlemlendiğinde olağan üstü bir oluşum izlenmemektedir.



Şekil 19. CentAg (Kios Baseni) zamana bağlı deniz yüzeyi yüksekliği değerleri. Ortadaki mavi çizgi sıfır seviyesini göstermektedir.

5. MODELLEME ÇALIŞMALARI

İzmir Körfezi sirkülasyon sisteminin Ege'de iklimsel değişimlerden kaynaklanan oluşumlarla ilişkisi görülmemiştir. İzmir Körfezi genellikle bölgedeki rüzgarların etkisiyle tipik sirkülasyon deserlerine sahiptir. Bu sirkülasyon desenlerine örnek olarak bölgede en fazla görülen kuzey ve güney rüzgarları etkisindeki iki akıntı deseni Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir. Bu çalışmalarda rüzgar hızı olarak İzmir Körfezi ortalama rüzgar hızı olan 5 m/s alınmıştır.

İzmir Körfezi için modelleme çalışmaları kapsamında deniz seviyesini direk işleyebilen Princeton Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan KILLWORTH Ocean General Circulation Model (OGCM) kullanılmıştır. Modelin başlangıç değerleri "objective" analizden geçirilmiş CTD verileridir. Yüzey değerleri için Haney (1971) sınır şartı kullanılmıştır. Çevre denizlerle Ege Denizi bağlantı noktalarında, zaman ve uzaya bağlı tuzluluk ve sıcaklık değerleri aktif sınır şartları (Stevens, 1990) olarak verilmiştir. Deniz seviyesi sınır şartları için ise Orlanski (1976) "radiation" açık sınır şartları uygulanmıştır. Kullanılan akıntı modeli Princeton Ocean Modelinin su seviyesi bilgisini açık olarak işleyebilen sürümüdür. Model incelenecek fiziksel olayların niteliklerine göre, uzayda ve zamanda istenilen çözünürlükte çalıştırılabilir. Model akıntı bilgisini Körfez'in her noktasında zamana bağlı olarak vermektedir.

Araştırmalar, fiziksel verilerin model girdileri için hazırlanmaları ile başlar. Veri bankasından alınan sıcaklık ve tuzluluk değerleri İzmir Körfezi için başlangıç şartı olarak x-yönünde 105, y-yönünde 67 ve derinlik boyunca 6 olmak üzere model noktalarına yazılır. Sadece sıcaklık ve tuzluluk değerleriyle çalıştırılan model bize termohalin akıntılarını vermektedir. Saatlik rüzgâr verilerinin kullanıldığı çalışmalarda model çıktılarını üç grupta toplamak mümkündür. Birincisi zamana bağlı akıntıların gösterimidir. Bu akıntıların aynı metrelerde alınmış akıntı ölçümleriyle kıyaslanmaları yapılabilir. İkinci grup çalışma, seçilen kesitlerinde su akıntı ve transportlarını

içermektedir. Son grup çalışmada ise istenilen herhangi bir derinlikte, yatay olarak akıntı desenlerinin çıkartılmasıdır. Model parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Model parametreleri

Parametreler	
Yatay Çözünürlük	500 m
Dikeydeki tabaka sayısı	6
Tabaka kalınlıkları (m) (1,2,3,4,5 ve 6)	5, 10, 15, 15, 15 ve 10 m
Yatay momentum Eddy sabiti	1.0E5 cm^2/s
Dikey momentum Eddy sabiti	1.0 cm^2/s
Yatay ısı yayılım sabiti	1.0E5 cm^2/s
Dikey ısı yayılım sabiti	0.1 cm^2/s
Baroklinik zaman aralığı	300 s
Barotropik zaman aralığı	7.5 s

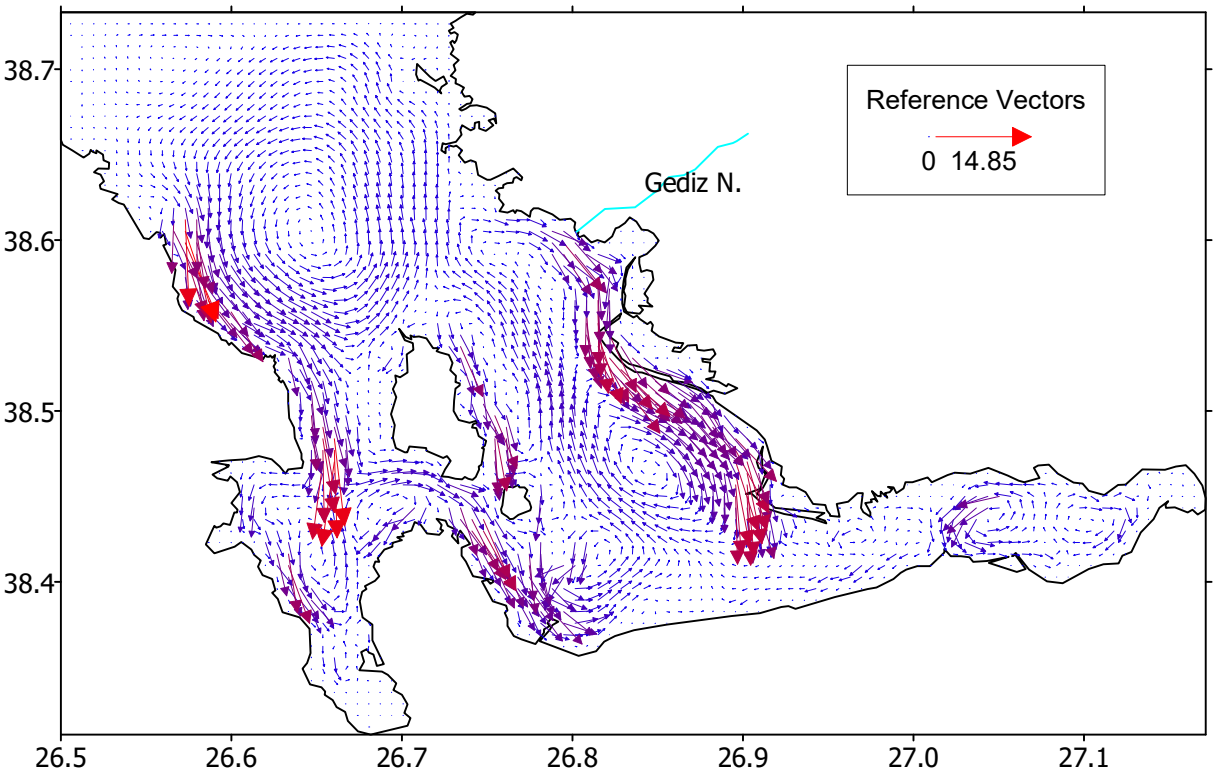
Körfezi etkileyen faktörlerden rüzgarlar, su seviyesi farklılıkları ve tabakalaşma, su hareketliliği bakımından önemlidir. Rüzgar olmadığı durumlarda Körfez'de termohalin dediğimiz sadece sıcaklık ve tuzluluk farkları yani yoğunluk farkından oluşan akıntılar oluşur. Yoğunluk farkından oluşan termohalin kuvvetler zayıf olmasına karşın rüzgarın olmaması veya çok zayıf olması durumunda Körfezi etkileyen kuvvetler arasındadır. Yoğunluklar genellikle baskın olarak sıcaklığın etkisinde olan büyüklüklerdir. Kış zamanı, Ege Denizi suyunun İzmir Körfezi suyuna göre daha sıcak olması, tuzlulukları farklı olmadığından daha az yoğun olması anlamına gelmektedir. Kışın iki basen arasındaki bu yoğunluk farklılığı bütün su kolonu boyunca korunur ve su kolonu bir bütün olarak hareket eder. Yazın durum farklıdır, Ege Denizi üst tabaka suyu İzmir Körfezi üst suyundan soğuk olmasından dolayı daha yoğundur. Buna karşılık İzmir alt suyu Ege Denizi alt tabaka suyuna göre daha yoğundur. Alt suda yoğunluğu etkileyen büyüklük bu durumda tuzluluk olmuştur. Üst yoğun Ege suyu Körfez'e doğru hareketlenirken alt Körfez suyu Ege Denizi'ne doğru yönelir.

Su seviyesi farklılığından oluşan su hareketleri önemlidir. Su seviyesi için uzaktan algılama ile elde edilen büyüklükler kullanılabilir. Bu büyüklüklerin mekânda ve zamandaki çözünürlülükleri az olduğundan, dar bölgeler için iyi bir tahmin yapılamaz. Dolayısıyla su seviyesinden oluşan su hareketlilikleri ayrı bir araştırma konusudur.

Körfez'in genel su sirkülâsyonu üzerine bir çok araştırmacı çalışmıştır (Saner, 1994; Pazı, 2000; Sayın, 2003; Saner, 2005; Sayın, Pazı ve Eronat, 2006; Beşiktepe ve diğ. 2011;

Sipahioğlu, 2015: Eronat, 2017, Sayın ve Eronat, 2018) ve şu şekildedir. Ege Denizi'nden Körfez'e giren su Mordoğan dar boğazından Gülbahçe'ye ve Uzunada'nın güneyinden Orta Körfez'e doğru yönlenir. Ege Suyu her zaman Mordoğan pasajından geçemeyebilir. Gelen farklı suyun yataydaki kalınlığı Mordoğan pazajı genişliğinden büyükse bu su geri dönebilir veya Dış Körfez'de döngüler meydana getirebilir. Genellikle Körfez suyu Körfez doğu kıyısına paralel bir şekilde Ege Denizi'ne doğru akar. Foça kıyısında genellikle alt su olarak görülür. Kışın zaman zaman üst su olarak da Körfez'i terk ettiği görülür.

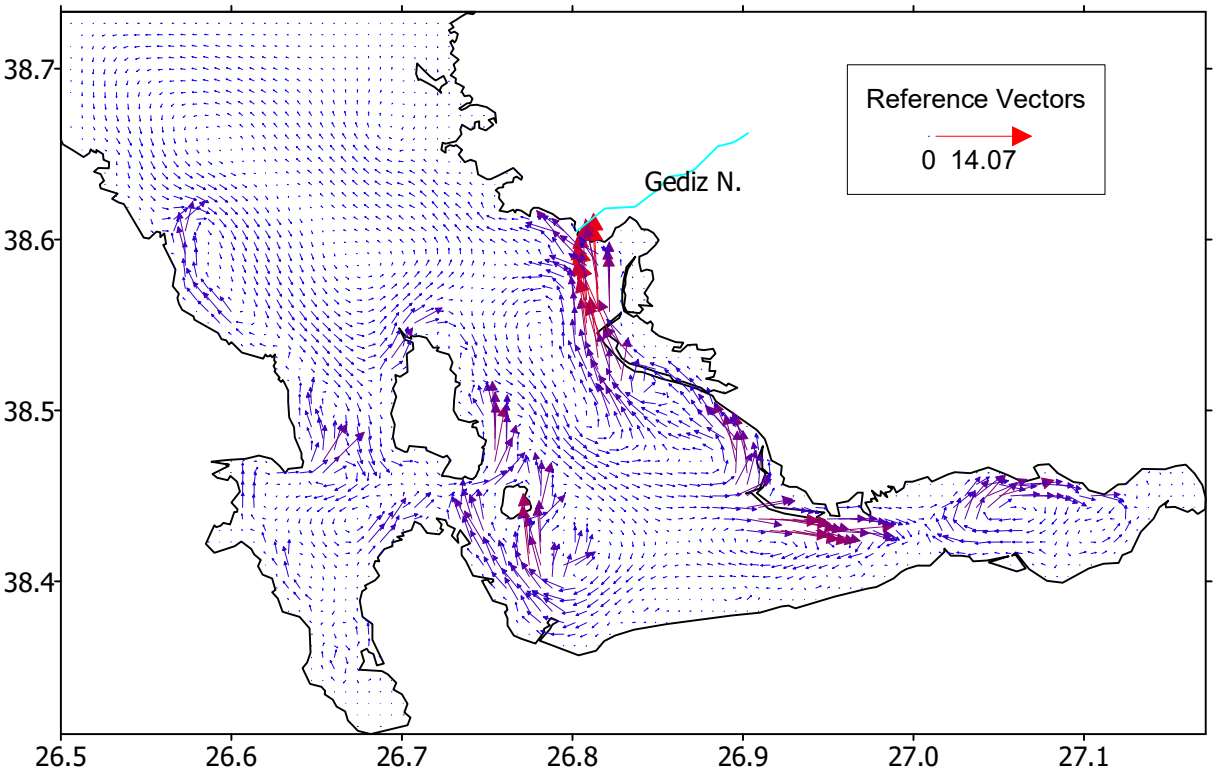
Model çalışmasında tabakalaşma önemli olmasına rağmen, rüzgarın kuvvetli olduğu zamanlarda yaz ve kış tabakalaşmasının önemi azalmaktadır. Körfezin tüm bölgeleri esen rüzgarın etkisinde kalır. Körfezde genellikle kuzeyli rüzgarlar eser. Baskın kuzey ve yazın sık sık görülen şiddetli güney rüzgarlarının etkisindeki akıntılar, sirkülasyon modeli yardımıyla ortaya konmuştur.



Şekil 20. Kuzey rüzgarı etkisindeki İzmir Körfezi sirkülasyon yapısı (Oklar su kolonu boyunca net akıntıyı göstermektedirler).

Kuzeyden esen rüzgar Körfez'in her iki kıyısına (doğu ve batı) paralel olacak şekilde derinliğin az olduğu kıyılardaki suları rüzgarın estiği yöne doğru hareketlendirir. Kıyılardaki güneye doğru gelişen bu akıntıların hızları büyüktür. Akıntılarla Körfez'e dolan sular su bütçesini sağlayabilmeleri için Körfez'in orta yerinden kuzeye doğru kompanse akıntısının doğmasına neden olur (Şekil 20).

Yıllar genelinde bakıldığında en baskın rüzgar yönünün kuzey olduğu görülür. Kuzey rüzgarları etkisinde, güney kıyılarındaki aşağıya taşınım sonucu oluşan alt Körfez suyu Şekil 20'de görüldüğü gibi Ege Denizi'ne doğru itilir. Bu itilen su Foça açıklarında alt su olarak Körfezi terk eder.



Şekil 21. Güney rüzgarı etkisindeki İzmir Körfezi sirkülasyon yapısı (Oklar su kolonu boyunca net akıntıyı göstermektedirler).

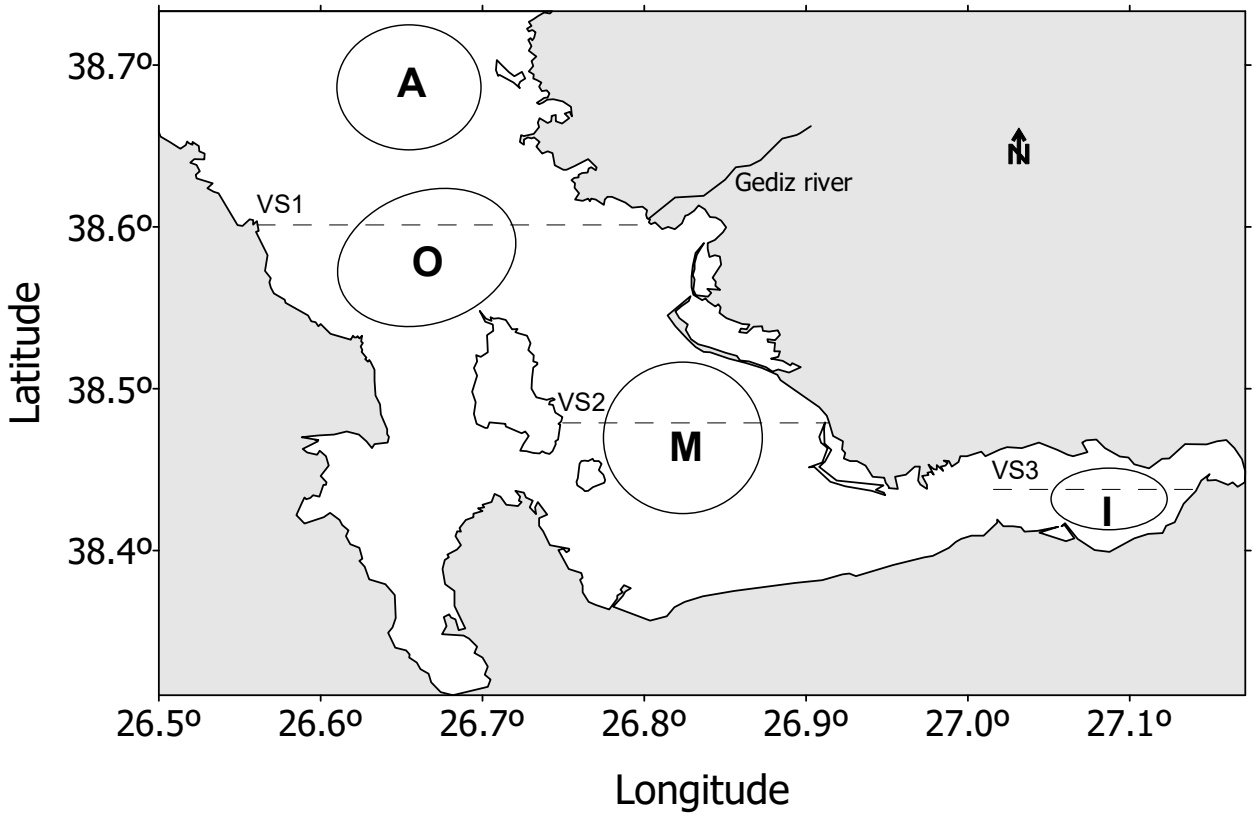
Yukarıya taşınım süreçleri (upwelling) tamamen rüzgarın şiddeti ve yönüne bağlı olarak meydana gelirler. İzmir Bölgesi genelinde özellikle kış aylarında kuzey ve kuzey-kuzeydoğu yönlerinden esen rüzgarlar körfezin güney kıyılarında, aşağıya taşınım (downwelling) sürecini başlatırlarken, Gülbahçe Körfezi'nin doğu kıyıları bu rüzgarların etkisinde yukarıya taşınım süreci içindedir ve bu sürecin sonucu soğuk, yoğun, nütrient ve oksijence zengin alt su yüzeye taşınır.

Güney rüzgarı durumunda akıntı desenleri kuzey rüzgarı etkisindeki akıntı desenlerinin simetriği gibidir (Şekil 21). Güney rüzgarında Uzunada'nın doğusundaki kuzeye doğru olan kuvvetli kıyı akıntısı nedeniyle Körfez'in ortasında olan döngü daha zayıftır. Döngünün yönü güney rüzgarı durumunda saat yönünün tersinedir. Siklonik hareketler dipten besin elementlerini yukarıya taşıyabileceği gibi aynı zamanda askıda katı maddeleri de yukarıya doğru hareketlendirirler. Hatta dipte topoğrafi üzerinde duran bazı parçacıklar da döngünün etkisiyle

yukarıya taşınırlar. Bundan dolayı Güney rüzgarı etkisindeki Körfez suyu daha bulanık görünür.

Rüzgara bağlı olarak körfezde oluşan döngüler Şekil 22'de görülmektedir. Rüzgar hareketleri döngülerin yönünü etkilemektedir. En sık görülen döngü körfezin merkezinde oluşan (haritada **M** diye gösterilen) saat yönündeki zaman zaman güneyli rüzgarlar etkisinde saat yönü tersine oluşan döngüdür.

Döngü **M** güney ve doğu rüzgarları etkisinde siklonik (saat yönü tersi) kuzey ve batı rüzgarları etkisin de ise antisiklonik (saat yönü) karakterdedir. Bu döngünün büyüklüğü 7 ile 14 km arasındadır. Çoğu zaman **O** döngüsü **M** döngüsüyle aynı yöndedir. Bunun sebebi **O** döngüsü ilk önce Uzunada ile Tuzla arasında **M** döngüsünün olduğu yerde oluşur. Sonra kuzeye doğru hareketlenir. Bazen de rüzgarın durumuna göre Dış Körfez I'deki diğer oluşan döngüyle birlikte büyük bir döngü oluşturur. Körfez'deki su döngülerinin oluşmasında **M** döngü alanı önemli bir rol üstlenir.



Şekil 22. İzmir Körfezin'de meydana gelen irili ufaklı su döngüleri.

Döngü **O**, kışın esen güney rüzgarı dışında tüm rüzgarlar etkisinde siklonik karakter göstermektedir. Oluşmasının en büyük nedenlerinden bir tanesi kuzeyden gelen Ege Denizi

sularının dar Mordoğan pasajından geçemeyerek Uzunadanın kuzeyinden doğuya yönlenmeleridir.

Güzgar güdümlü **I** döngüsü ise dipole karakterdedir. Bu dipole döngülerinin yönleri esen rüzgarın yönüne göre değişir.

Bu döngülerin dışında Körfez'de oluşan diğer periyodik hareketlilikler şöyle özetlenebilir:

Üç beş günlük periyotlardaki Izmir Körfezi hareketlilikleri daha çok büyük ölçekli Ege Denizi kaynaklıdır. Bunları Ege Denizi'nde meydana gelen cephe sistemlerinin oluşturduğu düşünülmektedir. Izmir Körfezi'nde yapılan çalışmalara göre Körfez'de gel-git kuvvetli değildir. Gel-git arası fark en fazla 17,0 cm'dir. Ortalamada ise 8 cm'yi bulur (Alpar ve ark., 1997). Körfez'de görülen gel-git hareketliliğinin nedeni ay ve güneşin beraber çekiminden kaynaklanmaktadır. Bunlar günlük 23,93 saatlik periyottaki K1 salınımı ile yarı günlük 11,97 saatlik periyottaki K2 salınımlarıdır (Sayın ve Üçüncüoğlu, 1999). Dünyanın dönmesi ile meydana gelen atalet salınımlarının periyodu ise 19,3 saattir. Seiche hareketliliği 1 saatten biraz fazla peryotlara sahip oldukları için ölçülmeleri zordur.

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Doğu Akdeniz Taşınımı diye bilinen "Eastern Mediterranean Transient", **EMT**'in oluşması, Ege Denizi'nin yoğun su üretmesi ile yakından ilgilidir. Bu derin suyun oluşması bir çok fiziksel süreçlere ve mekanizmalara bağlıdır. Bunlardan birincisi o yıllarda hava sıcaklıklığının oldukça düşük olması ikincisi ise ön koşul olacak şekilde, Lavant sularının Ege Denizi'nde büyük miktarda bulunmasıdır. Hem tuzluluk artışının hem de soğumanın eş zamanlı olmasının olasılığı düşüktür. 1992-1993 yıllarında olan EMT bu bakımdan ünik bir olaydır. Ege Denizi zaman zaman aktif duruma geçer. Ancak her seferinde Ege Denizi'nden Akdeniz'e akan sular, 90'lı yılların başında olduğu gibi yoğun olmayabilirler. O zaman yoğun Ege suları Doğu Akdeniz tabanına doğru değil, orta derinliklerden Akdeniz'e akar. Bu süreç EMT-Benzeri süreç olarak adlandırılır.

EMT zamanında Ege'de diğer atmosferik koşullara bakıldığında; yağışın az, buharlaşmanın çok ve hava basıncının yüksek olduğu görülmektedir. İyon Denizi yüzey akıntısı Ege Denizi mi? yoksa Adriyatik Denizi mi? Doğu Akdeniz'in dip suyunu oluşturacağını belirleyecek şekilde ya antisiklonik yada siklonik döngü içerisindedir. Ege Denizi EMT zamanında yoğun suyu üreten bir yapıdadır ve Iyon Denizi yüzey akıntısı antisiklonik karakterde olduğu bilinmektedir. Ege Denizi bilindiği üzere dünyada en yoğun suların oluştuğu bir bölgedir.

Yoğun suların hareketliliğinde izopiknal seviyeleri çok önemlidir. Kuzey ve Orta Ege ekstrem şekilde soğumadığı zaman bölgenin en yoğun suları derinlerde kalır. Olağan üstü oluşan kuvvetli kış konveksiyonu basenlerde oluşan bu yoğun suların siller üzerinden bir sonraki basene geçmesiyle Doğu Akdeniz'e akmasına neden olurlar. İşte bu çok yoğun suyun oluşumuna 10'lu yıllar mertebesinde Ege Denizi'ne yüzey ve orta derinliklerden giren Akdeniz suları yardım ederler.

CTD çalışmaları ve zaman serileri analizleri sonucunda hem EMT hem de EMT-Benzeri zamanlarında suyun karakterinin nasıl olduğu ortaya konmuştur. İzmir Körfezi- Ege Denizi bağlantı noktasında son 30 yılın en soğuk (< 14.0°C) ve en yoğun (>29.4 kg/m3) suyu EMT zamanında ölçüldüğü saptanmıştır. Ege Denizi'nin tekrar aktif olması 2007-2009 yılları arasına rastlar. Ancak bu sefer Ege Denizi'nden Akdeniz'e akan suların yoğunluğu 90'lı yılların başındaki gibi yoğun değildir. Sular orta derinliklerden Akdeniz'e akar. Proje verilerinin elde edildiği 2017 ve 2018 kışlarında kuvvetli bir kış konveksiyonuna neden olacak şekilde düşük hava sıcaklıkları kaydedilmemiştir. Ege Denizi buna rağmen yoğun su üretiminde yine aktif bir bölgedir. Bunda Akdeniz'den gelen tuzlu suların etkisi vardır. Akdeniz sularının Ege Denizi'nde olan varlığı İzmir Körfezi'nde yapılan deniz çalımalarından saptanmıştır.

EMT ve EMT-Benzeri gibi, bütün Akdeniz'i etkileyen büyük ölçekteki süreçlerin, Ege Denizi doğu kıyılarındaki koy ve körfezlerden özellikle İzmir Körfezi'nden izlenebiliyor olması önemlidir.

EMT olabilmesi için hem ekstrem soğuk hava şartlarının olması hem de Akdeniz yüzey sularının Ege Denizi'nde büyük miktarda bulunması gerekmektedir. Model çalışmalarında Akdeniz'den giren suların tuzlulukları artırıldığında Doğu Akdeniz'e akan su miktarlarında önemli bir artış olduğu görülmüştür. Model hava sıcaklıkları düşürüldüğünde ise Akdeniz'e akan suyun debisinde artış, tuzluluk artılarak yapılan deneyle kıyasla sınırlı kalmıştır. Bu model deneyleri EMT-Benzeri olayı simule etmek için yapılmıştır. EMT- Benzeri olayın meydana gelmesi için, EMT olabilmesi için sürülen iki şartdan bir tanesinin olması yeterlidir.

İzmir Körfezi'nin mevcut veri setinin uzun dönemli analizi, Akdeniz'in termohalin yapısı ile ilgili dolaylı olarak önemli bilgiler sağlamıştır. İyonya Denizi'nin üst tabaka sirkülasyonunun evrelerinin, hangi denizde (Adriyatik veya Ege) belirgin bir şekilde yoğun su oluşumunun meydana geldiğini söylemesi bakımından önemlidir. İzmir Körfezi'ndeki ve Doğu Ege Denizi kıyı bölgesindeki yoğunluk düzeylerinin analizinden sonra, Akdeniz'in termohalin yapısı ile ilgili olarak benzer veya tamamlayıcı bilgiler elde edebildiğimiz görülmektedir.

Doğu Akdeniz, İyon Denizi ve ayrıca İzmir Körfezi'nde oluşan büyük değişimler belirli dönemlere ayrılmıştır. İyon Denizi'nin üst tabaka sirkülasyonunun antisiklonik evresinde Ege Denizi'nin Adriyatik Denizi'ne göre daha aktif olduğu görülmektedir.

Özellikle İzmir Körfezi çalışmaları Akdeniz'de büyük ölçekte oluşan iklimselliğe dayanan süreçlerin tamamının İzmir Körfezi'nden izlendiğini göstermiştir.

İlerde yapılması gerekenler arasında modeli 10 yıllar mertebesinde çalıştırmak gelmektedir. Bu proje süresince bunun yapılamamış olması bu model çalışmalarının şimdiki imkanlanlarla yıllar sürecek kadar bir zamana gereksinim duymasındandır.

Referanslar

Balopoulos, E., Theocharis, A., Kontoyiannis, H., Varnavas, S., Voutsinou-Taliadouri, F., Iona, A., Souvermezoglou, A., Ignadiades, L., Gotsis-Scretas, O., Pavlidou, A., 1999. Major advances in the oceanography of the southern Aegean Sea- Cretan Straits system (eastern Mediterranean). Progress in Oceanography 44, 109-130

Beşiktepe Ş., Sayın E., İlhan T., Tokat E., 2011. "İzmir Körfezi Akıntı Dinamiğinin Model ve Gözlem Yardımıyla İncelenmesi", 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Trabzon, Kasım 2011, 427-437.

Borzelli, G. L. E., G., Miroslav, V., Cardin ve G., Civitarese. 2009. Eastern Mediterranean Transient and reversal of the Ionian Sea circulation, Geophysical Research Letters, 36(15), L15108, DOI: 10.1029/2009GL039261.

Demirov, E., Pinardi, N., 2002. Simulation of the Mediterranean Sea circulation from 1979 to 1993: Part I. The interannual variability. Journal of Marine Systems 33–34, 23–50.

Eronat, C. (2011). Hydrography of the bays along the eastern coast of the Aegean sea (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Eronat, C. ve Sayın, E., 2014 Temporal evolution of the water characteristics in the bays along the eastern coast of the Aegean Sea: Saros, İzmir, and Gökova bays, Turkish J. Earth Sci., 23, 53-66, 2014.

Eronat, C., Sayin, E., Gunduz, M., & Besiktepe, S. T., 2016, Changing of the Density Levels of Izmır Bay, Eastern Aegean Sea., 41. CIESM Kongresi, Kiel, Germany, 12 - 16 September 2016, vol.1, pp. 66.

Eronat, C. (2017). An overview on İzmir Bay physical oceanography. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 34(1): 1-9. doi:10.12714/egejfas.2017.34.1.01

Gacic, M., Borzelli, G.L.E., Civitarese, G., Cardin, V. and Yari, S. (2010) Can internal processes sustain reversals of the ocean upper circulation? The Ionian Sea example. Geophys. Res. Lett. 37, L09608.

Gacic, M., Civitarese, G., Eusebi Borzelli, G.L., Kovačević, V., Poulain, P.-M., Theocharis, A., Menna, M., Catucci, A. and Zarokanellos, N. (2011) On the relationship between the decadal oscillations of the northern Ionian Sea and the salinity distributions in the eastern Mediterranean. J. Geophys. Res. 116, C12002.

Gacic, M., Civitarese, G., Kovacevic, V., Ursella, L., Bensi, M., Menna, M., Cardin V, Poulain P-M, Cosoli S, Notarstefano G, and- Pizzi C. (2014) Extreme winter 2012 in the Adriatic: an example of climatic effect on the BiOS rhythm. Ocean Science. 10(3), 513.

Georgiou, S., Mantziafou, A., Sofianos, S., Gertman, I., Özsoy, E., Somot, S. and V. Vervatis (2015) Climate variability and deep water mass characteristics in the Aegean Sea. Atmospheric Research.152,146-158.

Gertman, I. F., N. Pinardi, Y. Popov, A. Hecht (2006), Aegean Sea water masses during the early stages of the Eastern Mediterranean Climatic Transient (1988–1990), Journal of Physical Oceanography 36 (9), 1841–1859.

Josey, S. A. (2003), Changes in the heat and freshwater forcing of the eastern Mediterranean and their influence on deep water formation, J. Geophys. Res., 108, 3237, doi:10.1029/2003JC001778, C7.

Klein, B., Roether, W., Manca, B.B., Bregant, D., Beitzel, V., Kovacˇevic, V., Lucchetta, A., 1999. The large deep water transient in the Eastern Mediterranean. Deep-Sea Research I 46, 371–414.

Lascaratos, A., Roether, W., Nittis, K., Klein, B., 1999. Recent changes in deep water formation and spreading in the Mediterranean Sea: a review. Progress in Oceanography 44, 5–36.

Malanotte-Rizzoli, P., Manca, B.B., Ribera D'Alcala, M., Theocharis, A., Brenner, S., Budillon, G. and Ozsoy, E. (1999) The eastern Mediterranean in the 80s and in the 90s: The big transition in the intermediate and deep circulations. Dyn. Atmos. Oceans. 29, 365-395.

Pazı, İ. (2000). The Current System and its Effects on Pollution in the Izmir Bay. (YL Thesis, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü)

Price, N. B. (1996). Geochemistry of particulate matter and sediment trap material. In E. TH. Balopoulos, Hydrodynamics and biogeochemical fluxes in the Straits of the Cretan Arc (Aegean Sea, Eastern Mediterranean Basin). (pp. 125–148). CEC/MAST-MTP PELAGOS Project. Final Scientific Report.

Rohling, E. J., & Bryden, H. L. (1992). Man-induced salinity and temperature increases in Western Mediterranean Deep Water. Journal of Geophysical Research: Oceans, 97(C7), 11191-11198.Roether, W., B. B. Manca, B. Klein, D. Bregant, D. Georgopoulos, V. Beitzel, V. Kovacevic, and A. Luchetta, 1996. Recent changes in the eastern Mediterranean deep waters. Science, 271, 333–335.

Roether, W., B. Klein, B.B. Manca, A. Theocharis, S. Kioroglou, 2007. Transient Eastern Mediterranean deep waters in response to the massive dense-water output of the Aegean Sea in the 1990's. Progress in Oceanography, 74, 540-571.

Samuel, S., Haines, K., Josey, S., & Myers, P. G. (1999). Response of the Mediterranean Sea thermohaline circulation to observed changes in the winter wind stress field in the period 1980–1993. Journal of Geophysical Research: Oceans, 104(C4), 7771-7784.

Sayın, E. and Üçüncüoğlu, E. (1999). Statistical Approach to Wind Data and Its Effects on the Currents of Izmir Bay, International MEDCOAST Conference on Wind and Wave Climate of the Mediterranean and the Black Sea, Antalya, Wind and Wave Climate of Mediterranean and Black Sea, 391-402

Sayın, E.: Physical features of the ˙Izmir Bay, Continental Shelf Research, 23, 957–970, 2003.

Sayın E, Beşiktepe ST 2010. Temporal evolution of the water mass properties during the Eastern Mediterranean Transient (EMT) in the Aegean Sea. J. Geophys. Res. 115: 1-9, doi:10.1029/2009JC005694.

Sayın, E., Eronat, C., Uckac, S. and Besiktepe, S.T. (2011) Hydrography of the eastern part of the Aegean Sea during the Eastern Mediterranean Transient (EMT). J. Mar. Syst. 88(4), 502–515.

Sayın, E., Eronat, C., Besiktepe, S. T., & Gunduz, M. , 2016, The last stand of EMT influence along the eastern coast of the Aegean sea, 41. CIESM Kongresi, Kiel, Germany, 12 - 16 September 2016, vol.1, pp.132.

SAYIN, E. ve ERONAT, C. (2018). "The dynamics of İzmir Bay under the effects of wind and thermohaline forces". Ocean Science, 14(2), 285-292.

Sipahioğlu, G. (2015). Water exchange between Aegean Sea and İzmir bay. (YL Thesis, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Theocharis, A., Nittis, K., Kontoyiannis, H., Papageorgiou, E. and Balopoulos, E., 1999. Climatic changes in the Aegean Sea influence the Eastern Mediterranean thermohaline circulation. Geophysical Research Letters, 26(11), 1617-1620.

Theocharis, A., B. Klein, K. Nittis and W. Roether, 2002. Evolution and status of the East Mediterranean Transient (1997–1999), Journal of Marine Systems 33, 91–116.

Theocharis, A., Krokos, G., Velaoras, D., Korres, G. (2014) An internal mechanism driving the alternation of the Eastern Mediterranean dense/deep water sources. In: Borzelli, G.L.E., Gačić, M., Lionello, P., Malanotte- Rizzoli, P. (Eds.) The Mediterranean Sea: Temporal Variability and Spatial Patterns, AGU Geophysical Monograph Series. 202. John Wiley & Sons. Inc, Oxford, 113–137.

Tsiaras K.P., V.H. Kourafalou, D.E. Raitsos, G. Triantafyllou, G. Petihakis, G. Korres. 2012. Inter-annual productivity variability in the North Aegean Sea: Influence of thermohaline

circulation during the Eastern Mediterranean Transient Journal of Marine Systems 96–97 (2012) 72–81

Velaoras, D. and Lascaratos, A. (2005) Deep water mass characteristics and interannual variability in the North and Central Aegean Sea. Journal of Marine Systems. 53, 59– 85.

Velaoras D, Lascaratos A, 2010. North – Central Aegean Sea surface and intermediate water masses and their role in triggering the Eastern Mediterranean Transient. Journal of Marine Systems 83: 58-66.

Velaoras, D., Krokos, G., Nittis, K. and Theocharis, A. (2014) Dense intermediate water outflow from the Cretan Sea: A salinity driven, recurrent phenomenon, connected to thermohaline circulation changes. J. Geophys. Res. Oceans. 119, 4797-4820.

Zervakis, V., Georgopoulos, D., Drakopoulos, P., 2000. The role of the North Aegean in triggering the recent Eastern Mediterranean climatic changes. Journal of Geophysical Research 105 (C11), 26103– 26116.