

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 017201 (165-173)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 017201 (165-173)

DOI: 10.35414/akufemubid.627279

Araştırma Makalesi / Research Article

# Batum Döngüsünün Zamansal ve Alansal Değişkenliğinin Sayısal Okyanus Modeli ile Belirlenmesi

Bilge TUTAK<sup>1</sup><sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, İstanbul.e-posta: tutak@itu.edu.tr. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-9338>

Geliş Tarihi: 30.09.2019

Kabul Tarihi: 18.02.2020

## Öz

Doğu Karadeniz’de bulunan Batum döngüsü oldukça dinamik ve değişken bir yapıdadır. Zamansal ve alansal değişkenliklerin tespit edilmesi için yüksek çözünürlüklü (1,5 km x 1,5 km) 3 boyutlu bir okyanus modeli kullanılarak Karadeniz’deki tüm döngüler simüle edilmiştir. Özellikle 30 km ve daha büyük çaptaki döngülerin detaylı analizi yapılarak Batum döngüsünün zamansal ve alansal olarak nasıl değişiklik geçirdiği belirlenmiştir. Batum döngüsü Rim Akıntısı dengesizlikleri sonucu özellikle bahar mevsimi başında ya da ortasında oluşur ve sonbahara kadar Doğu Karadeniz’de varlığını sürdürür. Yaz boyu Rim Akıntısının kıyı sularını zorlayarak üretimine sebep olduğu kıyasal antisiklonlardan bazıları filamentler oluşturarak Batum döngüsüne karışır ve döngünün zayıfladığı dönemlerde genişlemesine ve gücünün artmasına sebep olur. Dönemsel olarak Batum döngüsü önce kuzey, sonra kuzeybatı yönünde yavaş hareketler ile Kırım kıyılarına doğru küçülerek varlığını kaybeder. Döngü varlığını yaklaşık 4 ay sürdürür ve 1 km/gün’den daha yavaş bir hız ile hareket eder. Döngünün içerisinde kalan pasif taşınabilir maddelerin büyük bir çoğunluğunun bu 4 aylık sürede döngünün etkisinden kurtulması mümkün olmamaktadır.

### Anahtar kelimeler

Karadeniz; Okyanus Modelleme; ROMS; Girdap; Döngü; Batum Döngüsü

## Identification of the Temporal and Spatial Variability of Batumi Eddy by a Numerical Ocean Model

### Abstract

Batumi eddy has a highly dynamic and variable structure. All eddies in the Black Sea were simulated using a three-dimensional high resolution (1.5 km x 1.5 km) numerical ocean model. The temporal and spatial variation of eddies larger than 30 km were especially analyzed in detail to understand how Batumi eddy is changing. Batumi eddy is formed by the instabilities of the Rim current during early-mid spring and exists until early autumn in the Eastern Black Sea. Some of the anticyclones that were forced out of the coastal zone by the Rim current turn into filaments to join the Batumi eddy causing an increase in the strength and size during when the eddy becomes weaker and smaller. The Batumi eddy moves slowly initially to north then to northwest towards the Crimean shore, gets smaller and eventually vanishes. The Batumi eddy exists for around four months and moves with a speed of less than 1 km/day. Most of the passive tracers that are inside the eddy cannot escape the effect of Batumi eddy during the 4-month lifetime.

### Keywords

Black Sea; Ocean Modeling; ROMS; Eddy; Batumi Eddy

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

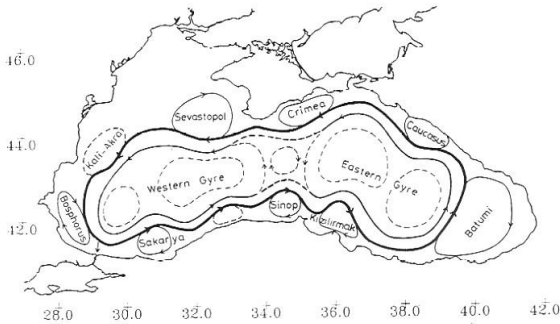
Karadeniz, en uzun kıyı sınırı ülkemiz ile olan, nehir girdileri, Kerç Boğazı ve İstanbul Boğazı dışında başka bir su kütlesi ile bağlantısı bulunmayan kapalı bir denizdir. Karadeniz kapalı bir deniz olmasına rağmen nehirlerden gelen tatlı su kaynakları

nedeniyle tuzluluğu (ve dolayısıyla yoğunluğu), özellikle üst tabaka (18,5) alt tabakalarla kıyaslandığında (22,5), görece düşük bir denizdir (Özsoy ve Ünlüata 1997).

Karadeniz akıntı rejimi (Şekil 1) tüm kıyıları siklonik (saat yönünün tersine) dolanan ana bir Rim Akıntısı ve Rim Akıntısı ile kıyıların arasına sıkışmış çoğunluğu antisiklonik (saat yönünde) olan kıyasal döngülerden oluşmaktadır (Oguz vd. 1993, Oguz vd. 1994). Bu kıyasal antisiklonların en büyüklerinden bir tanesi Doğu Karadeniz’de Batum kıyılarında bulunan Batum döngüsüdür. Bu döngü Rim Akıntısının mevsimsel hareketleri, kıyıya yaklaşip-uzaklaşması ve güçlenip-zayıflaması ile değişim göstermektedir. Bu değişimler öncelikle Batum döngüsünün boyutundadır. Ayrıca döngünün merkezi de Rim Akıntısının hareketlerine göre birçok yönde hareket edebilmektedir (Staneva *et al.* 2001, Kubryakov and Stanichny 2015 ).

Özellikle kıyasal döngüler açık deniz ile kıyı bölgelerin arasında sıcaklık, tuzluluk ve besin tuzlarının taşınımını sağlayarak denizel ekosistemde canlılığın ve birincil üretimin sürdürülmesine katkıda bulunur (Huthnance 1995, Kubryakov *et al.* 2018). Bazı döngü ve filamentlerin kıyı sularını 200 km kadar açığa taşıyabildiği de bilinmektedir (Shapiro 2010).

Batum döngüsünün oluşumu Doğu Karadeniz’de kıta sahanlığının genişlemesi, Rim Akıntısının yavaşlaması ve aynı zamanda yavaşlama sonucu kıyasal döngülerin de birleşmesi ile ortaya çıktığı uydu görüntüleri ve düşük çözünürlüklü okyanus modelleri sonuçlarından ortaya konmuştur (Staneva *et al.* 2001, Kubryakov and Stanichny 2015 ).



Şekil 1. Karadeniz Genel Akıntı Yapısı – Rim Akıntısı (Oguz vd. 1993’ten alınmıştır).

Bu çalışmada ROMS (Regional Ocean Modeling System – Bölgesel Okyanus Modelleme Sistemi) bölgesel okyanus model sistemi kullanılarak Doğu Karadeniz’de bulunan Batum antisiklon döngüsünün

zamansal olarak nasıl yer değiştirdiği ve boyutlarının nasıl değiştiği, aynı zamanda alansal olarak da döngü ve merkezinin nasıl değişiklik gösterdiği incelenecektir. İkinci bölümde modelin kurulumu, sınır ve başlangıç koşulları ile zorlama için kullanılan atmosfer ve nehir verileri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde model sonuçlarından elde edilen Batum döngüsünün maruz kaldığı değişimler, dördüncü bölümde ise bu değişimlerin tartışması sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada açık kaynak kodlu bir topluluk modeli olan ROMS kullanılmıştır. ROMS, üç boyutlu, serbest yüzeyli ve taban (batimetri) takip eden (sigma-katmanlı) hidrodinamik bir okyanus modelidir. ROMS birçok farklı araştırmacı tarafından çok çeşitli araştırma ve uygulama projelerinde fiziksel, biyojeokimyasal, oşinografik ve kıyasal süreçler için kullanılmıştır (Haidvogel *et al.* 2000, Marchesiello *et al.* 2003, Peliz *et al.* 2003, Di Lorenzo 2003, Dinniman *et al.* 2003, Budgell 2005, Warner *et al.* 2005a, b, Wilkin *et al.* 2005). ROMS, kıyasal bölgelerden açık deniz ve okyanuslara kadar her türlü bölgede kullanılmış ve denenmiştir. Ayrıca çeşitli çalışmalarda özel olarak orta ve küçük ölçekli döngü sistemlerinin çalışılması amacıyla da kullanılmıştır (Capet *et al.* 2008, Callender *et al.* 2011).

### 2.1 Model Kurulumu

Okyanus modelinin kurulumu için ilk ihtiyaç model ağının oluşturulmasıdır. Bu çalışmada kullanılan model ağı ortalama olarak 1,5 km (doğu-batı ve kuzey-güney) çözünürlükte, toplamda 671x371 ağ noktasından oluşmaktadır. Model derinlik verisi GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) 2014 veri setinden (Becker *et al.* 2009) elde edilmiştir. Model ağı derinlik üzerinde toplam 16 düşey katmandan oluşturulmuştur.

Model kurulumu için ayrıca model başlangıç koşullarını oluşturan sıcaklık ve tuzluluk verileri MEDAR/MEDATLAS II (Fichaut *et al.* 2003) projesi kapsamında üretilmiş olan klimatolojik verilerden tüm Karadeniz için 3 boyutlu olarak elde edilmiş ve model ağına interpolate edilmiştir.

Modeli zorlamak için kullanılan atmosferik (10 m rüzgar, yağış, 2 m hava sıcaklığı, buharlaşma, bağıl nem, kısa ve uzun dalga ışınım) veriler ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Interim Re-Analiz veri setinden (Dee *et al.* 2011) elde edilmiştir. Model ayrıca Karadeniz'e girdi yapan en yüksek debiye sahip 8 adet nehre ait klimatolojik debi verilerini kullanacak şekilde kurulmuştur. Nehir verileri RivDIS veri tabanı (Vorosmarty *et al.* 1998) aylık ortalama değerlerinden elde edilmiştir.

## 2.2 Modelin Çalıştırılması ve Doğrulanması

Bölüm 2.1'de açıklandığı şekli ile kurulan model, 2012 ve 2013 yılları için iki yıllık bir dönemde çalıştırılmıştır. Sayısal okyanus modellerinin var olan hidrodinamiğinin sınır koşullarından başlayarak istikrarlı bir hale gelmesi için bir süre (spin-up) çalışması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında kurulan modelin istikrarlı hale gelmesi yaklaşık 3 aylık bir sürede gerçekleşmiş, bu süreç basen ölçeğinde kinetik enerjinin istikrarlı hale gelmesi ile belirlenmiştir.

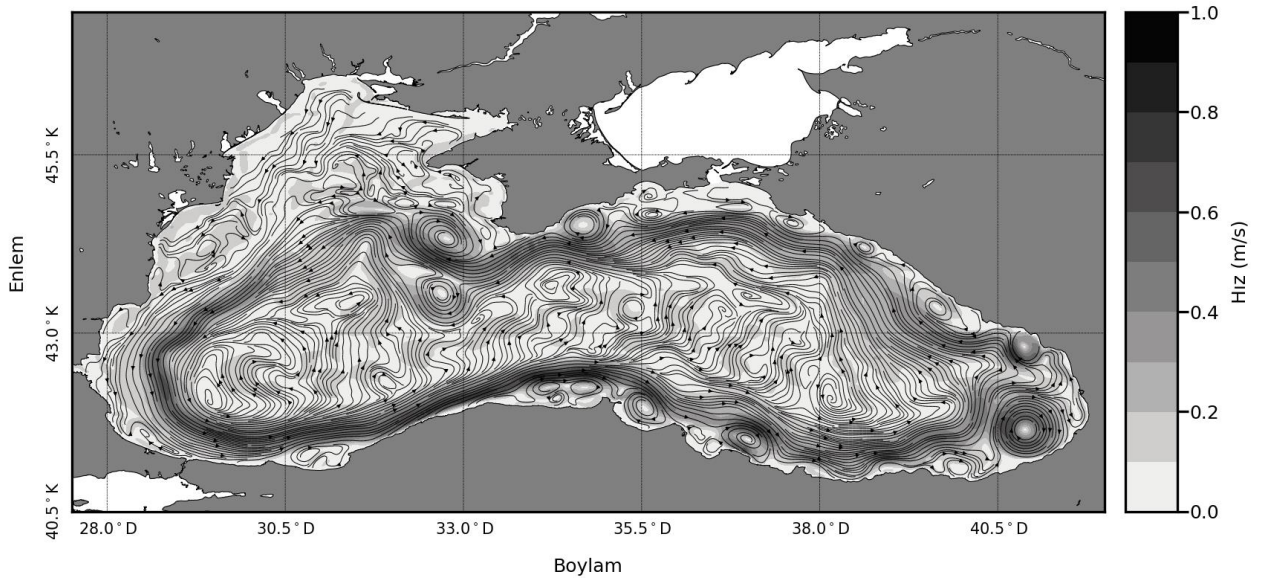
Karadeniz için oluşturulmuş olan model sonuçları CTD (Conductivity–Temperature–Depth) cihazı ile yerinde (*in situ*) ölçülen sıcaklık ve tuzluluk verileri

ile karşılaştırılmıştır. Büyük çoğunluğu ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından işletilen Argo Şamandıra ile toplam 677 noktada kayıt edilen düzey sıcaklık ve tuzluluk profilleri (SeaDataNet, 2015) model sonuçları ile karşılaştırılmış ve modelin seçilen parametreleri başarılı bir şekilde üretebildiği ortaya konmuştur (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** 677 noktada ölçülmüş ve model ile simüle edilmiş sıcaklık ve tuzluluk karşılaştırması.

Parametre	RMS Hata	Korelasyon (R)
Sıcaklık (C)	1,13	0,82
Tuzluluk	0,52	0,96

Model tarafından üretilen akıntı sonuçlarının karşılaştırılabileceği bir veri seti bulunmadığı için akıntı sonuçlarında sayısal bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak model tarafından üretilen genel akıntı dağılımı (Şekil 2) incelendiğinde modelin literatürde de tanımlı (Şekil 1) Rim Akıntısı ve bağılı kıyasal döngüleri de gerçeğe yakın bir şekilde üretebildiği görülmektedir. Okyanus modelinde sıcaklık ve tuzluluk akıntıları için yaklaşım olarak kullanılabilir ve sıcaklık ve tuzluluğun doğruya yakın üretilebiliyor olması akıntıların da görece doğru olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir.



**Şekil 2.** Karadeniz genelinde model sonuçlarından elde edilen Rim Akıntısı oluşumu ve akım çizgileri (25 Nisan 2012).

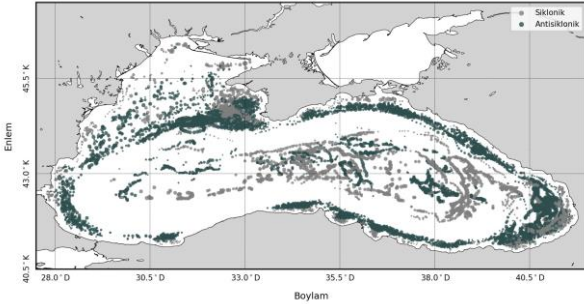
## 2.3 Model Sonuçlarından Döngülerin Eldesi

Model sonuçları günlük ortalama değerler olarak kaydedilmiş, döngülerin tespit edilmesi ve analizleri

için de günlük ortalama su seviyesi değerleri kullanılmıştır. Günlük ortalama değerler kullanıldığında döngü yapılarının günlük yüksek frekans hareketleri de incelenebilir duruma gelmektedir. Uydu bazlı çalışmalarda (Kubryakov and Stanichny 2015) bir bölgenin tümünün kapsama alanında kalmasının beklenmesi amacıyla 1 hafta gibi uzun dönemlere ulaşan detay, sayısal model çalışmaları ile günlük ve hatta istenirse daha kısa sürelere de indirilebilmektedir. İki yıllık model sonuçları incelenirken Batum döngüsünün Doğu Karadeniz kıyısında tanımlanmış bir bölge içerisinde bulunan en büyük döngü olduğu varsayımıyla analizler yapılmış ve Batum döngüsünün günlük durumu model sonuçlarından elde edilmiştir. Chelton vd. (2011) tarafından geliştirilen yöntemle model ile üretilen su seviyesi verileri kullanılarak döngü analizi yapılmıştır.

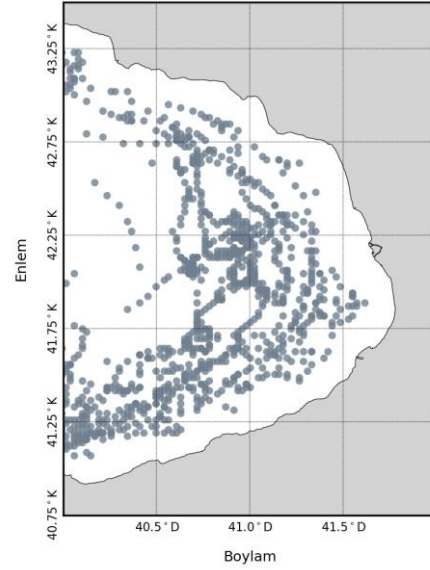
### 3. Bulgular

Döngülerin tespit edilmesi ile model alanı içerisinde oluşan her döngünün (Şekil 3) merkez koordinatları (enlem ve boylam), kapladığı alan (km<sup>2</sup>) ve çap bilgisi (km) üretilmiştir.



Şekil 3. 2012 – 2013 yıllarında model sonuçlarından Chelton vd. (2011) yöntemi ile tespit edilen tüm döngüler.

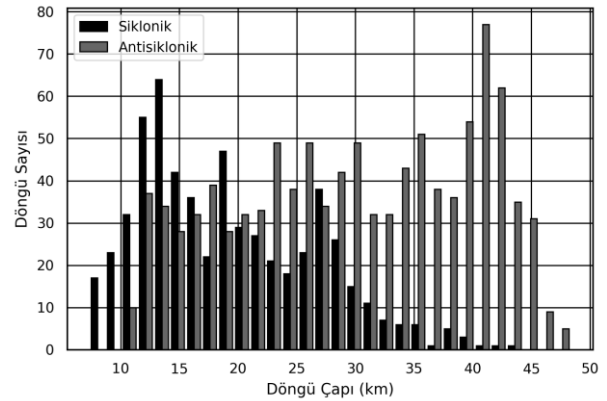
Tüm bölgelerin dışında doğu Karadeniz detaylı olarak incelendiğinde, antisiklonik yapıdaki Batum döngüsünün ve etrafında oluşan diğer küçük antisiklonik döngülerin alansal ve zamansal olarak değişimi (Şekil 4) görülebilmektedir.



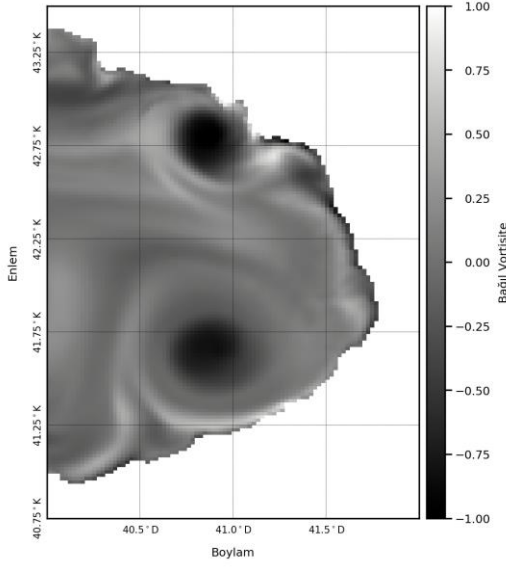
Şekil 4. 2012 – 2013 yıllarında Doğu Karadeniz’de tespit edilen tüm antisiklonik döngüler.

Ayrıca döngülerin çaplarına göre dağılımları (Şekil 5) incelendiğinde, Batum döngüsünü temsil eden büyük çaplı döngülerin tespit edilmesi de kolaylaşmaktadır.

Bu bilgilere göre Batum döngüsünün takibi için çapı 30 km ve üzerinde olan döngülerin takip edilmesi uygundur. Kubryakov ve Stanichny (2015) tarafından uydu görüntüleri üzerinden yapılan analizde de Batum döngüsünün (41,7 °K, 41,0 °D) analizleri için 30 km ve daha büyük çaptaki döngüler incelenmiştir. Ayrıca, Doğu Karadeniz’de Batum döngüsünün alansal olarak yaklaşık konumu Enriquez vd. (2005) tarafından model sonuçları ile de gösterilmiştir.



Şekil 5. Doğu Karadeniz’de 2012 – 2013 yıllarında siklonik ve antisiklonik döngülerin çaplara göre dağılımı.

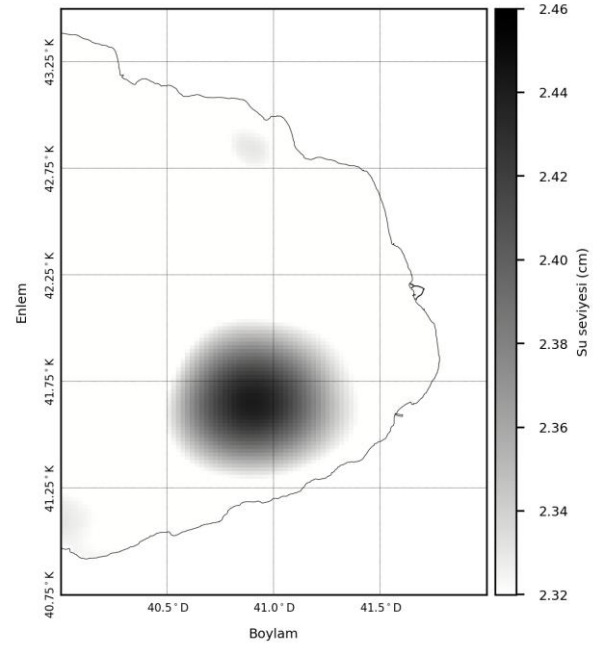


**Şekil 6.** 25 Nisan 2012 tarihinde Doğu Karadeniz yüzeyi için bağıl vortisite dağılımı.

Doğu Karadeniz için bağıl vortisite (döngü kuvveti) incelendiğinde (Şekil 6) Batum döngüsünün olduğu bölgede akım sebebi ile oluşan vortisite net bir biçimde görülebilmektedir.

Ayrıca antisiklonik bir yapı olan Batum döngüsünün su seviyesi (Şekil 7) döngünün olduğu yerde yerel bir yükselme göstermektedir. Batum döngüsünün antisiklonik bir döngü olmasından dolayı Ekman taşınımı (kuzey yarımkürede akıma dik ve sağ tarafa) merkez noktasında su birikimi ve yükselme yaratmaktadır. Kütle korunumu ise yükselen suyun su kolonunda aşağı doğru hareket etmesine (downwelling) sebep olmaktadır.

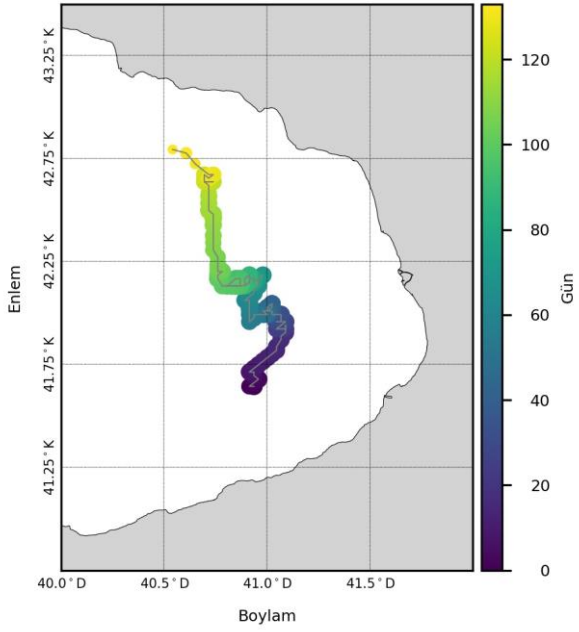
Model sonuçları incelendiğinde 25 Nisan 2012 tarihinde Batum döngüsünün tam oluşumu ortaya çıkmaktadır. Bu tarihteki su seviyesi incelendiğinde antisiklonik bir yapı ve bu yapının içerisinde kalan bir su seviyesi yükselmesi görülmektedir (Şekil 7).



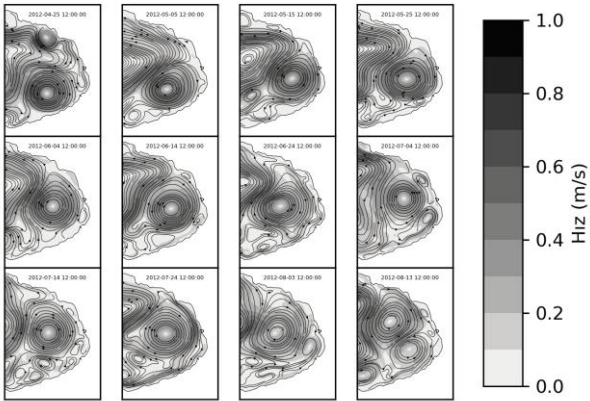
**Şekil 7.** Batum döngüsünün görüldüğü 25 Nisan 2012 tarihinde Doğu Karadeniz su seviyesi.

Bu tarihten sonra yaklaşık 4 ay boyunca (120 gün) Batum döngüsü bu bölgede bulunmakta, küçük yatay hareketler ile kuzey-kuzeybatı yönünde hareket etmektedir (Şekil 8). Hareketin sonucunda, kış başlangıcı ile zayıflama ve çapta daralma göstererek kıyasal bir siklonun zorlaması sonucu (Şekil 9) takip ettiği rota üzerinde kıyasal bir antisiklon olarak Kırım kıyılarına kadar hareket etmektedir.

10 günlük aralıklar ile hesaplanmış hız dağılımları (Şekil 9) incelendiğinde ise, Batum döngüsünün hareket yönü ve çapında zaman içerisinde gerçekleşen değişim daha detaylı olarak görülmektedir. Döngü, 13 Ağustos 2012 tarihi itibarıyla (Şekil 9, son hız dağılımı) kıyıda oluşan siklon tarafından zorlanarak kuzey-kuzey batı yönüne hareketini devam ettirmektedir.



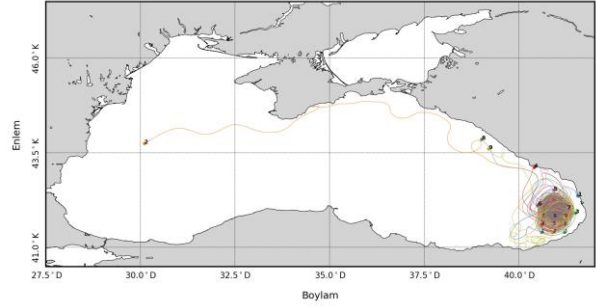
**Şekil 8.** Batum döngüsünün 130 gün boyunca takip ettiği rota (renk dağılımı 25 Nisan 2012 gününden itibaren gün sayısını göstermektedir).



**Şekil 9.** Batum döngüsünün 10 günlük aralar ile toplam 120 gün boyunca geçirdiği değişimi gösteren haftalık hız dağılımları.

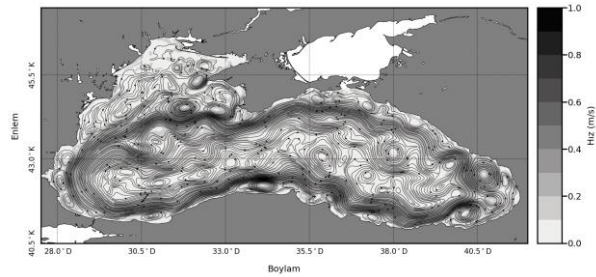
Sayısal modeller yardımı ile modelden elde edilen akıntı hızları kullanılarak pasif yüzer cisimlerin (drifter – float) hareketlerinin de çevrim dışı olarak incelenmesi mümkün olabilmektedir. Bu amaç ile Karadeniz için oluşturulan sayısal model çıktıları kullanılarak TRACMASS (Döös *et al.* 2017) ve Tracpy (Thyng and Hetland 2014) pasif yüzer cisim Lagranj rota takibi ile Batum döngüsü bölgesine bırakılan pasif cisimler için rota takibi yapılmıştır. 24 Nisan 2019 tarihinde Batum döngüsünün bulunduğu bölgeye düzenli aralıklar ile dağıtılmış 9 tane pasif yüzer cisim serbest bırakılmıştır. Bu cisimlerin 130 gün süre ile izledikleri rotaların (Şekil 10), 1 yüzer

cisim (No. 2) hariç hepsinin, Batum döngüsü içerisinde hapsediği ve her birinin takip ettiği rotanın bir yumak şeklinde Batum döngüsünü izlediği görülmektedir.



**Şekil 10.** 9 adet pasif yüzer cismin 24 Nisan 2019 tarihinden başlayarak 120 gün boyunca takip ettikleri rotalar.

120 günlük süreden sonra Batum döngüsü kuzey-kuzey batı yönünde hareket eder ve boyutu da küçülerek Rim Akıntısına karışır. Aynı zamanda, Batum döngüsünün doğduğu ve hakim olduğu bölgede ise yeni birer siklonik ve antisiklonik yapı yerini alır. Bu yeni yapılar ve Batum döngüsünün son durumu 19 Ağustos 2012 tarihindeki hız dağılımında açıkça görülmektedir (Şekil 11).



**Şekil 11.** 19 Ağustos 2012 tarihinde hız dağılımı.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında kullanılan yüksek çözünürlüklü (1,5 km x 1,5 km) okyanus modelinden elde edilen simülasyon sonuçları ile Batum döngüsünün zamansal ve alansal olarak gösterdiği değişimler incelenmiştir. Kubryakov ve Stanichny (2015) tarafından uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ve Enriquez vd. (2005) tarafından okyanus modeli kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları ile uyumludur.

Batum döngüsü bahar mevsimi başı-ortası dönemde oluşum göstererek yaz boyu Doğu Karadeniz bölgesinde hakim ve kısmen dinamik olarak evrimini geçirmektedir. Aynı zamanda Rim Akıntısının Türkiye kıyıları ile arasında kalarak oluşan kıyasal döngülerin yok olma aşamasında Batum döngüsüne filamentler olarak karışması ile Batum döngüsünün büyüklük ve gücü değişkenlik göstermektedir. Döngü yaklaşık 4 aylık sürede oluşum bölgesinden önce kuzey daha sonra ise kuzeybatı yönünde hareket ederek Kırım kıyıları önünde ömrünü tamamlar. Benzer bir hareket Beşiktepe vd. (2001) tarafından da gösterilmiştir. Batum döngüsünün etkilediği bölgede olduğu var sayılan pasif cisimlerin 120 günlük rotaları takip edildiğinde ise 1 pasif yüzer cisim dışında tüm cisimlerin Batum döngüsüne kapılarak bölgenin dışına çıkamadıkları gözlenmektedir. Pasif cisimlerin izlediği yol özellikle Doğu Karadeniz’de kıyından denize karışan kirleticiler ve deşarj ile plankton ve balık larvası gibi deniz suyunda pasif olarak davranan canlıların takip edecekleri rotayı ve bu bölgeden çıkmalarının da zorluğunu ortaya koymaktadır. Batum döngüsünün antisiklonik bir döngü olması sebebiyle, döngü merkezinde Ekman taşınımı ile oksijence zengin yüzey sularının su kolonu boyunca derinlere doğru taşınmasını sağlamaktadır.

Ancak aynı zamanda Batum döngüsünün oluşum noktasından başlayarak Rim Akıntısı ile kuzey-kuzey batı yönünde hareket etmesi de döngü içinde kalan pasif maddelerin döngü ile taşınmasını sağlamaktadır. Döngünün oldukça geniş yapısı da yakın kıyı suları ile açık deniz arasında bir bağlantı oluşturarak suların değişimini gerçekleştirmekte ve birincil üretim ile canlılığa katkı sağlamaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın üretildiği proje İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 39408 numaralı proje olarak desteklenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

Becker, J.J., Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S.H. and Ladner, R., 2009. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds

resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, **32(4)**, 355-371.

Beşiktepe, Ş., Lozano, C. J., and Robinson, A. R. (2001). On the summer mesoscale variability of the Black Sea. *Journal of Marine Research*, **59(4)**, 475-515.

Budgell, W.P., 2005. Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region. *Ocean Dynamics*, **55(3-4)**, 370-387.

Callendar, W., Klymak, J.M. and Foreman, M.G.G., 2011. Tidal generation of large sub-mesoscale eddy dipoles. *Ocean Science*, **7(4)**, 487.

Capet, X., McWilliams, J.C., Molemaker, M.J. and Shchepetkin, A.F., 2008. Mesoscale to submesoscale transition in the California Current System. Part I: Flow structure, eddy flux, and observational tests. *Journal of Physical Oceanography*, **38(1)**, 29-43.

Chelton, D.B., Schlax, M.G. and Samelson, R.M., 2011. Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, **91(2)**, 167-216.

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, D.P. and Bechtold, P., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137(656)**, 553-597.

Di Lorenzo, E., 2003. Seasonal dynamics of the surface circulation in the Southern California Current System. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **50(14-16)**, 2371-2388.

Dinniman, M.S., Klinck, J.M. and Smith Jr, W.O., 2003. Cross-shelf exchange in a model of the Ross Sea circulation and biogeochemistry. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **50(22-26)**, 3103-3120.

Döös, K., Jönsson, B. and Kjellsson, J., 2017. Evaluation of oceanic and atmospheric trajectory schemes in the TRACMASS trajectory model v6.0.

- Geoscientific Model Development*, **10(4)**, 1733-1749.
- Enriquez, C.E., Shapiro, G.I., Souza, A.J. and Zatsepin, A.G., 2005. Hydrodynamic modelling of mesoscale eddies in the Black Sea. *Ocean Dynamics*, **55(5-6)**, 476-489.
- Fichaut, M., Garcia, M.J., Giorgetti, A., Iona, A., Kuznetsov, A., Rixen, M. and Group, M., 2003. MEDAR/MEDATLAS 2002: A Mediterranean and Black Sea database for operational oceanography. *Elsevier Oceanography Series*, **69**, 645-648.
- Haidvogel, D.B., Arango, H.G., Hedstrom, K., Beckmann, A., Malanotte-Rizzoli, P. and Shchepetkin, A.F., 2000. Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **32(3-4)**, 239-281.
- Huthnance, J.M., 1995. Circulation, exchange and water masses at the ocean margin: the role of physical processes at the shelf edge. *Progress in Oceanography*, **35(4)**, 353-431.
- Kubryakov, A.A. and Stanichny, S.V., 2015. Dynamics of Batumi anticyclone from the satellite measurements. *Physical Oceanography*, **2**, 59-68
- Kubryakov, A.A., Bagaev, A.V., Stanichny, S.V. and Belokopytov, V.N., 2018. Thermohaline structure, transport and evolution of the Black Sea eddies from hydrological and satellite data. *Progress in Oceanography*, **167**, 44-63.
- Marchesiello, P., McWilliams, J.C. and Shchepetkin, A., 2003. Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *Journal of Physical Oceanography*, **33(4)**, 753-783.
- Oguz, T., Latun, V.S., Latif, M.A., Vladimirov, V.V., Sur, H.I., Markov, A.A., Özsoy, E., Kotovshchikov, B.B., Eremeev, V.V. and Ünlüata, Ü., 1993. Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **40(8)**, 1597-1612.
- Oguz, T., Aubrey, D.G., Latun, V.S., Demirov, E., Koveshnikov, L., Sur, H.I., Diaconu, V., Besiktepe, S., Duman, M., Limeburner, R. and Eremeev, V., 1994. Mesoscale circulation and thermohaline structure of the Black Sea observed during HydroBlack'91. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **41(4)**, 603-628.
- Özsoy, E. and Ünlüata, Ü., 1997. Oceanography of the Black Sea: a review of some recent results. *Earth-Science Reviews*, **42(4)**, 231-272.
- Peliz, Á., Dubert, J. and Haidvogel, D.B., 2003. Subinertial response of a density-driven eastern boundary poleward current to wind forcing. *Journal of Physical Oceanography*, **33(8)**, 1633-1650.
- SeaDataNet, 2015. Black Sea - Temperature and salinity observation collection V2. <https://doi.org/10.12770/227e9f7b-ddfc-4004-b0e5-f4785d36d43f>
- Shapiro, G. I., 2009. Black Sea Circulation. Steele, J.H. (ed). *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 401-414.
- Staneva, J.V., Dietrich, D.E., Stanev, E.V. and Bowman, M.J., 2001. Rim current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model. *Journal of Marine Systems*, **31(1-3)**, 137-157.
- Thyng, K.M. and Hetland, R.D., 2014. Tracpy: wrapping the Fortran Lagrangian trajectory model TRACMASS. *In Proceedings of the 13th Python in Science Conference (SCIPY 2014)*, 85-90.
- Vorosmarty, C.J., Fekete, B.M. and Tucker, B.A., 1998. Global river discharge, 1807-1991, V. 1.1 (RivDIS). Data set. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, TN, USA.
- Warner, J.C., Sherwood, C.R., Arango, H.G. and Signell, R.P., 2005. Performance of four turbulence closure models implemented using a generic length scale method. *Ocean Modelling*, **8(1-2)**, 81-113.



Warner, J.C., Geyer, W.R. and Lerczak, J.A., 2005.

Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **110(C5)**, 1-13.

Wilkin, J.L., Arango, H.G., Haidvogel, D.B.,

Lichtenwalner, C.S., Glenn, S.M. and Hedström, K.S., 2005. A regional ocean modeling system for the Long-term Ecosystem Observatory. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **110(C6)**, 1-13.