

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARADENİZ'DE KIYISAL KELVIN
DALGALARININ OLUŞUM MEKANİZMALARI
VE ÖZELLİKLERİ



Müjdat AYDIN

Ocak, 2019
İZMİR

KARADENİZ’DE KIYISAL KELVIN DALGALARININ OLUŞUM MEKANİZMALARI VE ÖZELLİKLERİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Fiziksel Oşinografi Programı**

Müjdat AYDIN

**Ocak, 2019
İZMİR**

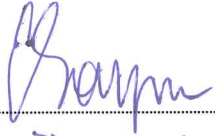
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MÜJDAT AYDIN, tarafından PROF. DR. ŞÜKRÜ TURAN BEŞİKTEPE yönetiminde hazırlanan “KARADENİZ’DE KIYISAL KELVIN DALGALARININ OLUŞUM MEKANİZMALARI VE ÖZELLİKLERİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Şükrü Turan BEŞİKTEPE

Yönetici



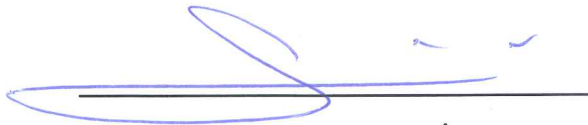
Prof. Dr. Erdem SAYIN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Hüsnü ALTIOK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Şükrü Turan BEŞİKTEPE'ye, ilgisi ve değerli tavsiyeleri için Sayın Prof. Dr. Erden SAYIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de teşekkürler ederim.

Müjdat AYDIN

KARADENİZ’DE KIYISAL KELVIN DALGALARININ OLUŞUM MEKANİZMALARI VE ÖZELLİKLERİ

ÖZ

Karadeniz’de kıyıya sıkışan dalgalar (coastally trapped waves CTW), Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) deniz seviyesi istasyonları gözlemleri ve Copernicus Marine Service tarafından üretilen deniz yüzey yüksekliği model sonuçları kullanılarak 2012-2016 yılları arasında incelenmiştir. Deniz seviyesi ölçüm istasyonları Karadeniz’in Türkiye kıyılarında İğneada, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon da yer almaktadır. Deniz seviyesi spectral analizleri, CTW’lerin 12-13 gün arasında değişen sürelerde, 15 gün süreyle Karadeniz’de var olduğunu göstermektedir. Zaman serileri üzerinde yapılan analizlerde bu dalgaların yaklaşık 2,5 m/s hızla batıdan doğuya doğru yayıldığı ve istasyonlarda deniz seviyelerinde 20-35cm lik deniz seviyesi değişimlerine neden oldukları belirlenmiştir. CTW’ların oluşum mekanizmalarını inceleyebilmek için Copernicus Marine Service tarafından sağlanan deniz yüzeyi yüksekliği ve yüzey akıntı dağılımları, deniz seviyesi istasyonlarında ölçülen rüzgar verileri ve Copernicus Marine Service rüzgar model sonuçları beraber analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, Karadeniz’in batısında kıyıya paralel rüzgarın güçlü estiği zamanlarda, kıyıya su yığılmakta ve CTW leri oluşturduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz, Kelvin dalgaları, uzun periyotlu dalgalar

GENERATION MECHANISMS AND PROPAGATION PROPERTIES OF THE COASTAL TRAPPED WAVES IN THE BLACK SEA

ABSTRACT

Coastal trapped waves (CTW) are investigated in the Black Sea during 2012-2016 using observations from Turkish National Sea Level Monitoring System (TUDES) sea-level stations and sea surface height model results from Copernicus Marine Service. Sea level stations are located at Igneada, Sile, Amasra, Sinop and Trabzon along the Black Sea coast of Turkey from west to east, respectively. Spectral analysis of sea level data shows that CTW's exist in the Black Sea with a period of 12-13 days and 15 days duration. These waves propagate from west to east with speed of 2.5 m/s and cause 20-35cm variability in sea level. In order to investigate formation mechanisms of CTWs, sea surface height and surface velocities from Copernicus Marine Service, wind measurements from sea level stations and atmospheric model results from Copernicus Marine Service are jointly analysed. These analysis show that CTW's are formed when water accumulated in the coast after strong along shore winds blowing in the western Black Sea.

Keywords: Black Sea, coastal trapped waves, sea level

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM BİR–GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Coastal Trapped Waves.....	1
1.3 Karadeniz’in Fiziksel Oşinografisi.....	5
1.4 Karadeniz’de Kıyusal Kelvin dalgaları.....	9
BÖLÜM İKİ–MATERYAL VE METOT.....	11
2.1 Çalışma alanı.....	11
2.2 Veriler.....	11
2.3 Metotlar	14
BÖLÜM ÜÇ–SONUÇLAR.....	17
3.1 Deniz Seviye Değişimlerin Özellikleri.....	17
3.2 Deniz Seviyesi Zaman Serilerinden CTW Tespiti.....	20
BÖLÜM DÖRT–TARTIŞMA.....	36
KAYNAKLAR.....	40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Kıyısız bölgenin yandan kesiti.....	2
Şekil 1.2 Kıyısız kelvin dalgaların hareket yönleri.....	2
Şekil 1.3 Kıyısız kelvin dalgaların hızları.....	3
Şekil 1.4 CTW hareketlerini tanımlamak kıyı ile değişkenleri ilişkilendirilmesi.....	3
Şekil 1.5 Dalgalı ok oluşan kıyısız dalgağın hareket yönü.....	4
Şekil 1.6 Topografik dalga mekanizması.....	4
Şekil 1.7 Kuzey yarım kürede ctw dalga yönü.....	5
Şekil 1.8 Karadeniz Derinliklerini gösteren harita.....	6
Şekil 1.9 Üst tabaka genel dolaşımı anlatan çizim.....	8
Şekil 2.1 Türkiye kıyılarında bulunan deniz seviye istasyonları.....	11
Şekil 2.2 Türkiye üzerinde bulunan deniz seviye istasyonları.....	12
Şekil 2.3 Copernicus üzerinden model görüntüsü.....	13
Şekil 3.1 Karadeniz’de Anadolu kıyıları boyunca gözlemlenen deniz seviyeleri.....	17
Şekil 3.2 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon düşük frekansta ki spektrumlar.....	18
Şekil 3.3 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon deniz seviyelerinin wavelet grafikleri.....	19
Şekil 3.4 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon istasyonlarına ait deniz seviye ölçümleri...21	
Şekil 3.5 2014 Eylül ve Ekim My Ocean üzerinden alınan model verilerine ait deniz seviye ölçümleri.....	21
Şekil 3.6 2014 Eylül ve Ekim aylarında hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri.....	22
Şekil 3.7 Ekim (a) Ekim 25(b) Ekim 26 (c) Ekim 27 (d) rüzgar dağılımı	23
Şekil 3.8 2016 Ocak ayında ki Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon istasyonlarına ait deniz seviye ölçümleri.....	26
Şekil 3.9 2016 Ocak My Ocean üzerinden alınan deniz seviye ölçümleri.....	26
Şekil 3.10 2014 Eylül ve Ekim aylarında hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri.....	27
Şekil 3.11 Ocak 17 (a) Ocak 18 (b) Ocak 19 (c) Ocak 20 (d) rüzgâr dağılımı.....	28
Şekil 3.12 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon deniz seviye ölçümleri.....	30
Şekil 3.13 2012 Aralık My Ocean üzerinden alınan deniz seviye ölçümleri.....	31
Şekil 3.14 2012 Ocak hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri...32	

Şekil 3.15 CTW'lerin oluşum mekanizmaları.....	33
Şekil 4.1 2014 Eylül ve Ekim My Ocean model verilerine ait deniz seviye ölçümleri.	38
Şekil 4.2 2014 Eylül ve Ekim My Ocean model verilerine ait akıntı ölçümleri.....	39



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Deniz seviye istasyonları ve zaman aralıkları.....	12
Tablo 3.1 Dünyada benzer periyotta görülen CTW örnekleri.....	20
Tablo 3.2 CTW'lerin Faz hızları.....	35
Tablo 4.1 Farklı çalışmalarda bulunan örnekler.....	37



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

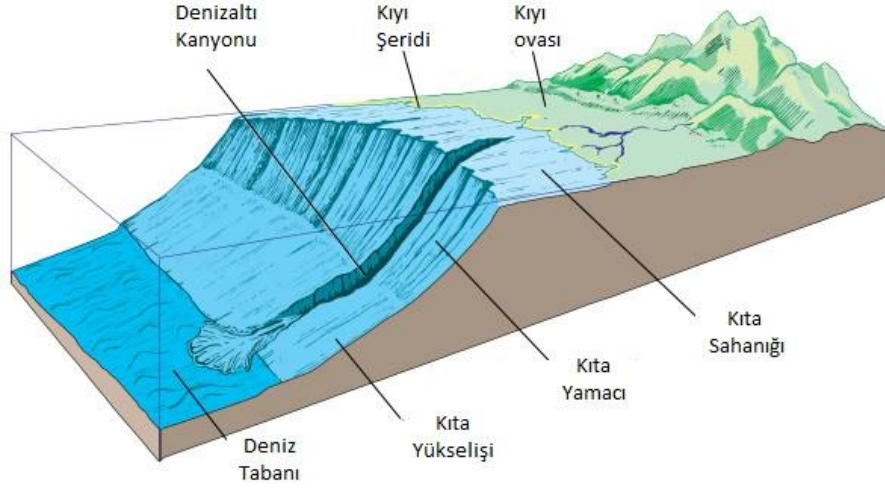
1.1 Genel Bilgiler

Kıyı boyunca paralel esen rüzgârlar tarafından oluşturulan Kıyıda Tutulmuş Dalgalar (Coastal Trapped Waves) (Robinson, 1964; Mysak, 1967; Adams and Buchwald, 1969; Gill and Schumann, 1974; LeBlond and Mysak, 1978) bu çalışmamızın özünü oluşturmaktadır. Seviye gözlemleri birçok bilimsel çalışma ve mühendislik uygulamasına hizmet eden temel veri setlerinden biridir. Kıyısız dalgaları (CTW) gözlemlemenin en iyi yolu, deniz seviyesindeki düşey yöndeki değişimi analiz etmektir. Bu yönde oluşturulmuş farklı deniz seviye istasyonlarından elde edilmiş veri grafiklerin çizimleri bize CTW leri takip etmemize olanak tanımaktadır. Böylece, düşük frekanslı (günler) deniz seviyesi değişimleri, seviye istasyonları arasındaki farktan gözlemleyebilmekteyiz.

Ayrıca, zaman serileri üzerinde yapılan spektral analizlerde, enerji yoğunluklarına bakarak, düşük frekanstaki dominant döngüleri tespit ettik. Avrupa birliği tarafından desteklenen Copernicus üzerinden model verileri ile CTW leri anlamak ve analiz etmek için kullandık. Bu Model verileri ile TUDES den alınan kıyı gözlem verilerini karşılaştırarak yüksek korelasyon ilişkisine vardık. Copernicus üzerinde bulunan rüzgâr verileri CTW oluşum mekanizmalarını açıklamak için iyi bir kaynak oldu.

1.2 Coastal Trapped Waves

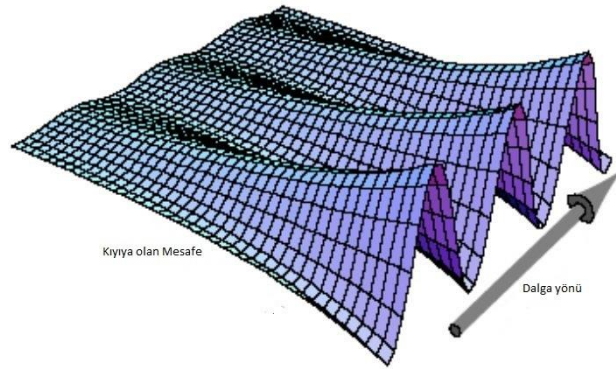
Denizlerde, kıyısız bölge açık denizlerle karşılaştırıldığında daha hareketli olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak, oşinografik veriler (sıcaklık, tuzluluk, deniz seviyesi ve akıntı) yüksek varyasyonlara sahiptir. (Tomczak, 1998)



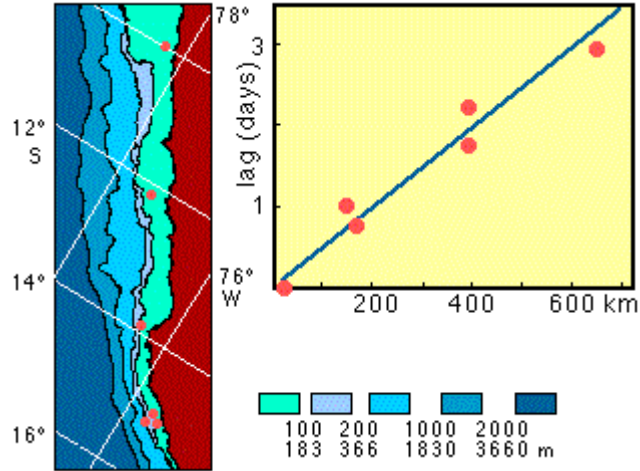
Şekil 1.1 Kıyusal bölgenin yandan kesiti

CTW periyotları, günler veya haftalarca olan, düşey deniz seviyesi varyasyonları 20cm–50 cm civarında ve oluşma mekanizmaları kıyı boyunca esen rüzgârlar olan dalgalardır. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi, CTW kıyı şeridi boyunca rüzgarın etkisiyle bir lokasyonda oluşan varyasyonun diğer lokasyonlarda da gözlemlenebilmesidir. (Tomczak, 1998)

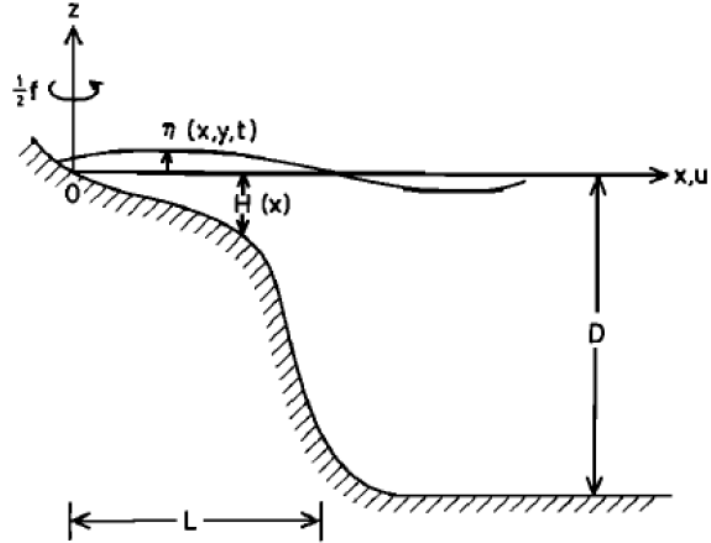
Kıyusal Kelvin Dalgaları



Şekil 1.2 Kıyusal kelvin dalgaların hareket yönleri



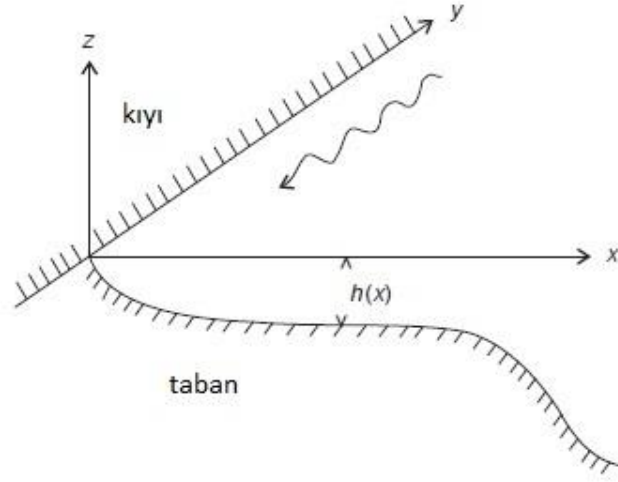
Şekil 1.3 Kıyisal kelvin dalgalarının hızları



Şekil 1.4 Şematik diyagram [Kuzey yarım kürede CTW hareketlerini tanımlamak kıyı ile değişkenleri ilişkilendirmek için oluşturulmuştur. (Mysak, 1980). Y eksen ve hız bileşenleri v kıyı şeriti boyunca 0 (sıfır) değere sahiptir. L bize kıta sahanlığı genişliğini ifade etmektedir. $H(x)$ derinlik varyasyonları ve D deniz tabanına olan mesafeyi göstermektedir.]

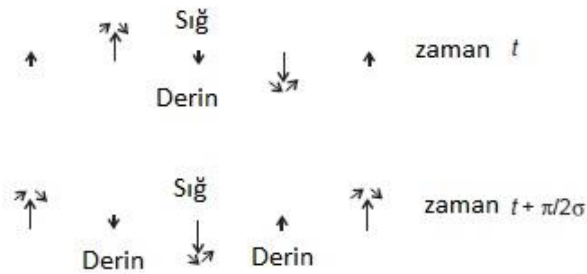
CTW lerin varlıkları ve yayılma hızları büyük oranda kıta sahanlığının derinlik, genişlik ve eğimine bağlıdır. Şekil 1.4 bize kıta sahanlığı üzerinde olan CTW lerin koordinat sisteminde yayılma hızlarını analiz etmemize imkan tanır. CTW lerin hareketleri kıyının genişliği ($L > 100$ Km) ve darlığına bağlı olarak farklı karakterler gösterebilir. (Emery ve Thomson 2004). Genellikle CTW hızları kıyının darlığı ve

genişliğine bağlı da olsa, bazen yayılma hızlarında oluşma mekanizmaları da etkilidir (Emery and Thomson, 2004).



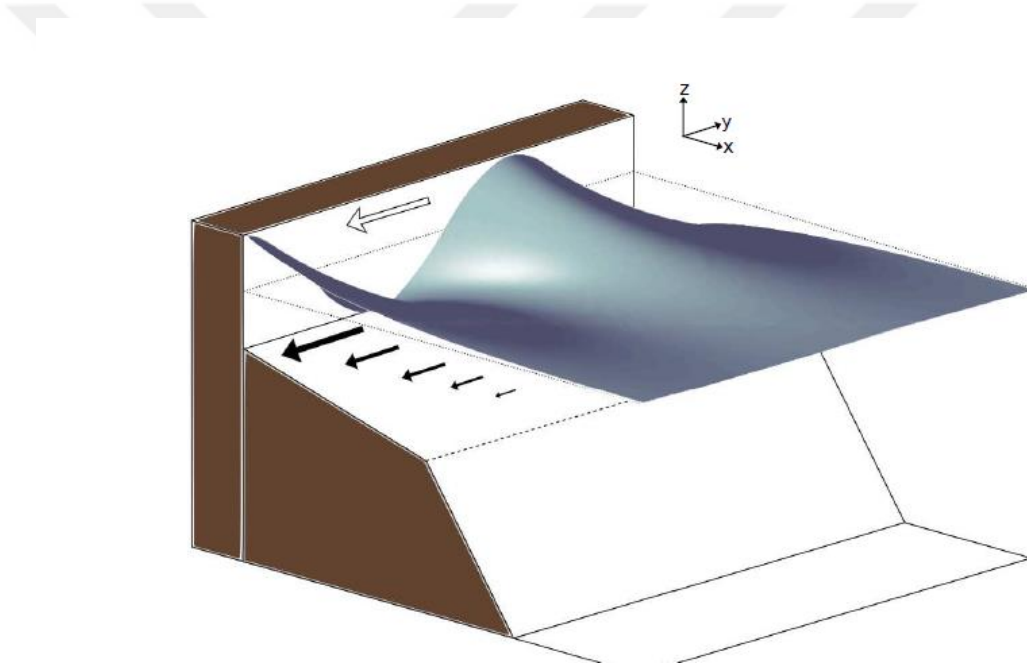
Şekil 1.5 Dalgalı ok oluşan kıyasal dalganın hareket yönü [Eğer Coriolis kuvveti sıfırdan büyük ise ($f > 0$, Kuzey yarım küre)]

CTW varlıklarını ve oluşumlarını en iyi rüzgârın kıyı boyunca oluşturduğu kuvvet mekanizmasıyla açıklayabiliriz. Rüzgârın kıyı boyunca aynı doğrultuda periyodik varyasyonlarla estiğini kabul edelim. Böylece kıyı bölgede deniz seviyesinde periyodik değişimler olacaktır. Denizin kıyı bölgelerinde, dünyanın dönmesi (Coriolis Kuvveti) ile rüzgârın etkisiyle oluşan yüzey gerilimi bize, Ekman katmanının sonucu olarak kıyı bölümlerde upwelling ve downwelling üretir. Yine Ekman layer mekanizmasıyla su tabandan kıyıya doğru eğimli bir şekilde yığılır. Dünyanın dönmesi nedeniyle, kıyı suları açısıl momentum korunumu sağlar.(Tomczak,1998)



Şekil 1.6 Topografik dalga mekanizması

Ekman Katmanının altında, momentumun korunumu yasası sonucu, su kolonunun kıyı ve açığa doğru bir hareketi başlar. Bu olayın sonucu olarak downwelling ve upwelling meydana gelir. Oluşan pozitif ve negatif yöndeki döngüler suyun yer değiştirmesi ve taşınmasını sağlar. Tomczak (1998) göre, Gözlemler CTW lerin davranış bakımından Kelvin dalgalarına benzer olduğu göstermiştir. İki dalga arasında ana farklılık kıyı eğiminin CTW oluşması için önemli oluşu, Kelvin dalgaları için ise ekvatora gerek olmasıdır. (Tomczak, 1998; Emery and Thomson 2007). Kıyı şeritinde oluşan dalgalar, suyun yoğunluğu ve topografinin uzunluk ölçeğine bağlıdır. (Emery and Thomson, 2007) Çünkü CTW kıyı yapısına bağlıdır ve onların dalga yapısı mevsimin durumuna göre değişiklik gösterir. (Tomczak, 1998)

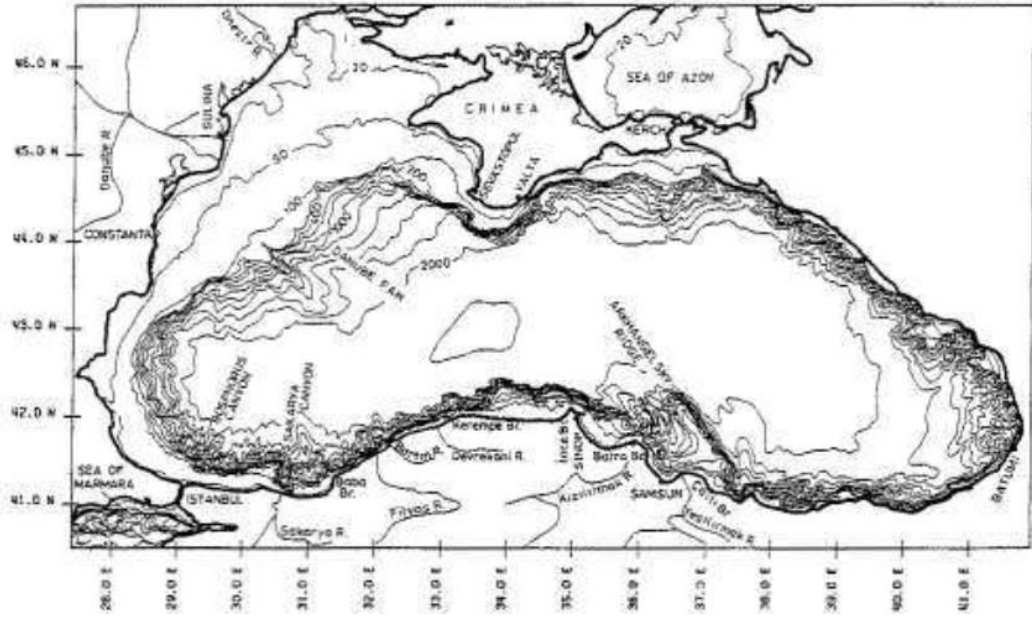


Şekil 1.7 Kuzey yarım kürede ctw dalga yönü

1.1 Karadeniz'in Fiziksel Oşinografisi

En Derin yeri 2200 metre, yüzeyin kapladığı alan $4,2 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ ve hacmi $5,3 \cdot 10^5 \text{ km}^3$ olan Karadeniz, yarı kapalı bir denizdir. Dünya denizleri ile bağlantısını sağlayan Boğazlar yoluyla sınırlı su değişimi yaklaşık olarak 150 m derinliğe kadar oksijen barındıran, daha derinlerde ise hidrojen sülfür bulunduran, hemen hemen tümüyle oksijensiz bir ortamın oluşmasına neden olmuştur. Güçlü bir haloklin (tuzluluk ara yüzeyi) oksijenli ve oksijensiz suları ayırır.

Karadeniz'in oşinografisi tatlı su girdileri, atmosferik değişimler ve sıcaklık değişimleri, Türk boğaz sisteminden gelen akıntılar ve tabanın morfometrik yapısından önemli ölçüde etkilenir. Hızlı değişen jet akıntılar ve döngüler meydana getiren Karadeniz dolaşımının neden ve sonuçlarına bakılması, ortam değerlerinin nasıl taşındığının, birincil üretimin nasıl olduğu ve deniz canlılarının dolaşıma dahil edilmelerini önem taşır.



Şekil 1.8 Karadeniz Derinliklerini gösteren harita (Beşiktepe, 2001)

Karadeniz düztabanı 2000 metreden fazla olan toplam alan 560'dan fazlasını kapsar. En büyük derinlik 2300 metre dolaylarındadır, derinliğin ortalaması ise 1240 metre olarak hesaplanmıştır. (Ross, 1974). Düzlük, yine düz olan kıta sahanlığından, eğimi daha az olan Tuna ve Kerch bölgeleri dışında dik bir kıta eğimi ile ayrılmıştır. Derinliği 200 metreden daha az olan kıta sahanlığı bölgenin %25 i meydana getirir. Kuzey batı kıta sahanlığı (derinlik ortalaması ~50 metre) ~100 metre derinliğe kadar Kırım yarımadası ile Karadeniz'in batı kenarları arasında yer alır ve batı ve güneybatı kıyıları boyunca güneye uzanır. Devamlılık gösteren düz kıta sahanlığı eni güneye doğru azalır ve derinliği 100 metreden birden 1500 ye arttığı Sakarya Kanyonunda aniden sonlanır. Karadeniz'in diğer bölümlerinde kıta sahanlığı, kanyon ve dik eğimlere ayrılan ve Anadolu, Kafkasya ve Kerch kıyıları boyunca devam eder.

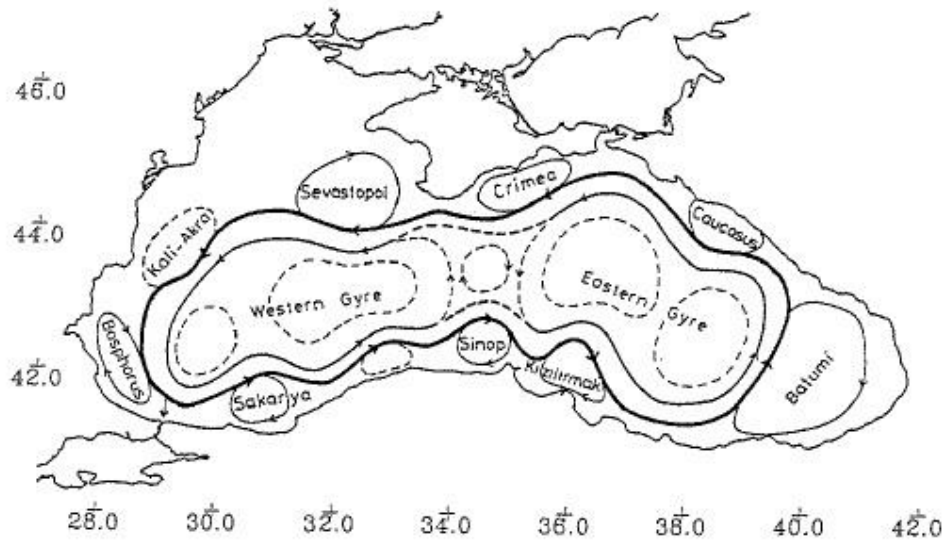
Karadeniz kendisine komşu olan Avrupa ve Asya bölgelerden gelen hava basıncı dağılımından etkilenir ve Ekim ve Mart arası dönemde doğuya hareket eden alçak basınç merkezleri etkisinde kalır. Kışın iki ana hat üzerinden fırtınalar hareket eder. Akdeniz'den gelen, kuzeydoğu istikametinde Marmara Denizi'ne doğru, Bulgaristan üzerinden gelen doğu ve güney doğuya doğru hareket ederler. Her yıl Akdeniz'den ortalama 30 döngü Karadeniz'e ulaşır. Akdeniz kıyıları boyunca ilerleyen fırtınaların da Karadeniz kıyılarında ikincil alçak basınç merkezi sık rastlanan bir olaydır. (Brody ve Nesor, 1990)

Karadeniz'de kış aylarında ki rüzgâr koşulları farklılık gösterir. Etkin rüzgar yönü, Batı Karadeniz'de Kuzey-Kuzeydoğu iken bölgenin doğusunda güneyden gelen rüzgarlar hakim konumdadır. Kışın en şiddetli rüzgârlar genellikle Kuzeybatıdan eserler. Karadeniz'de yaz mevsimi ılıman ve hava sıcaklıkları dengeli seyir eder. Hava sıcaklığı Ekim ve Kasım aylarında birden düşer, Ocak ve şubat aylarında ise en düşük değerini alır. Kışın hava sıcaklığının değişim hızı oldukça yüksektir ve Güney Karadeniz'de 8°C noktasına kadar düşerken Tuna nehri ve Kırım civarlarında sıfırın altına düşebilmektedir.

Karadeniz'de üste kalan sular az tuzlu ve soğuk, alt katmanda bulunan daha tuzlu ve sıcak suları ile kendine özgü bir tabakalaşma yapısı gösterir. Yüzeydeki az tuzlu suların oluşma nedeni tatlı su girdileridir. Derinlerdeki suyun oluşma nedeni ise Akdeniz'den gelen tuzlu sulardır. Tuzluluk ara yüzeyi "Haloklin" ile yoğunluk ara yüzeyi "Piknoklin" yaklaşık olarak 100-200 metre derinlik aralığında yer alır ve 8°C sınır izotermi ile belirlen Soğuk orta suların (Cold Intermediata Water, CIW) alt sınırı ile çakışır. Benzer ölçekte, Oksijen ara yüzeyi ve kimyasal tabakalaşmada aynı derinlikte yer alır. Tuzluğu düşük (~18) ince bir karışım tabakası (~30m) yüzeyde çok güçlü mevsimsel ısınma ve soğumaya uğrar. Minimum sıcaklığı 6°C olan soğuk ara sular tarafından (CIW) karakterize edilen, Soğuk Orta (CIL), sabir haloklin ile mevsimsel termoklin arasında yer alır. Kışın hemen hemen her tarafta ve Batı Karadeniz'in Anadolu kıyılarında soğuma ve konveksiyon nedeni ile 70-80 metre derinlere kadar inebilen ve minimum sıcaklığı 6°C olabilen izotermal bir tabaka meydana gelir. Karadeniz'in 500 altındaki derin suları temelde durağındır. (Özsoy, 1991) yerel kararsızlıkların olduğu bu bölgede çok büyük değişimler olmaz. (Özsoy,

ve Beşiktepe, 1995) 1700 metrenin altında jeotermal sınmanın gücü ile ~400 kalınlığında konveksiyonel tabaka oluşur.

Basen ölçeğinde bir saat yönü tersinde sınır akıntısı (Rim Current şeklinde isimlendirilen) Karadeniz etrafında dolaşım genel özelliğidir. (Şekil 1.9). Genel dolaşımı sıklıkla, saat yönü tersi merkezinde bulunan ikili hücreler, kenar boyunca saat yönünde döngüler en doğu kösesinde ise Batum Döngüsü (Yarı sürekli saat yönünde) yer alır.



Şekil 1.9 Üst tabaka genel dolaşımı anlatan çizim (Oğuz, 1993)

Ayrıntılı gözleme dayalı modern tanımlara rağmen, temel, siklonik Karadeniz dolaşımına sürücü güç oluşturan fiziksel faktörleri neler olduğu açıkça ortaya çıkarılamamıştır. Modelleme çalışmaları, temel konulara değinmekte fakat sürücü güçler, akılar ve topografya açısından uyumsuz gerçekler yanıtlanması gereken soruları olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak, Siklonik rüzgâr şablonunun, siklonik yüzey dolaşımı için temel güç oluşturduğu bilinmektedir Diğer taraftan, Marchuk (1975) ve Stanev (1990) tarafından yaratılan dönemsel bir termohalin dolaşımının meydana geldiği ve bu dolaşımın, rüzgârın neden olduğu dolaşım tarafından desteklenerek onunla kıyaslanabilir büyüklükte yüzey akıntıları yarattığını ortaya koymuştur.

Tuna gibi büyük akarsulardan kaynaklanan, dolaşımın yoğunluk bileşenini oluşturan tatlı su boşalımının rolü pek az bilinmektedir. Kuzey batıdaki ile İstanbul Boğazı yakınları yanıl kaynakların ve konveksiyonun Karadeniz dolaşımı modifiye ettiğı iki büyük alanlardır (Stanev, 1990). Birinci bölgede nehirlerden gelen tatlı su girdisi ile olan kış konveksiyonu, ikinci bölgede ise Akdeniz suların zorla araya sokulması, kinetik enerjide artışa neden olan kaynak fonksiyonları gibi davranır. Akarsu girdilerinin, kıyısıl bölgede kuşatılmış bir siklonik yüzey dolaşımı yarabileceğı göstermiştir. (Stanev, 1990)

Oşinografik incelemelerden elde edilen yüksek çözünürlük ve uydu görüntüleri sayesinde Karadeniz'deki dolaşım tanımlamasına ayrıntılar ilave edilebilmiştir. Bunlar, orta ölçekli eddy'ler, mendereslenmeler ve ipliksi yapılar ve "sırt" akıntılarından saçılmalar şeklindedir. (Blatov, 1984, Stanev, 1990, Ünlüata 1992, oğuz, 1993)

ADCP ölçümleri, güneybatı Karadeniz'de 1m/s'ye kadar olan hızları kıtasal eğime yapışmış yoğun bir sınır akıntısı varlığını doğrulamaktadır. Buna Karşı uydu IR verileri ile CTD ve ADCP verilerinden türetilmiş dinamik yüksekliğin çok değişkenli analizi mendereslenmeyi ve sırt akıntısının küçük orta ölçek yapısını açıkça göstermektedir.

1.2 Karadeniz de Kıyısıl Kelvin dalgaları

Karadeniz morfometrik yapısı ve üzerinde oluşun kuvvetler ile bilimsel araştırmalar için ideal bir laboratuvar ortamıdır. Morfometri ve taban topografisi oşinografik özelliktedir ve termohalin ve su döngüleri için önemli bir yapıdır. Karadenizde kıta sahanlığın keskinliği ve kıta yamacının aşırı dik eğimi Kıyısıl kelvin dalgaları için doğal dalga yolu oluşturlar. Bu konuda Ivanov ve Yankovsky çalışmaları olmuştur. Yaptıkları çalışmalarda güney Kırım kıyılarında yazın oluşan hızları 10-20 cm/s olan kıyısıl kelvin dalgaları tespit etmişlerdir. Kırım kıyılarındaki bu dalgaların kışın sert esen rüzgârla birlikte hızların daha güçlü olduğu görülmüştür. Kıyısıl kelvin dalgaları, kuzey karadeniz de kıyıyı sağına alarak batı yönünde hareket ederler (Kelvin dalgası gibi).

Karadeniz’de genel akıntı sisteminin doğu ve batı Karadeniz siklonik döngüleri ile onları çevreleyen  evre akıntısı (Rim Current) ve diğer irili ufaklı, sabit ya da geçici döngüler ile temsil edildiği bilinmektedir (Oğuz, 2005). Karadeniz de,  evre akıntısı yönünde hareket eden kıyısı kelvin dalgalarının oluşturduğu akıntılar tespit edilmiştir. (Oğuz ve Beşiktepe 1999). ADCP ölçümlerine göre, (Oğuz ve Beşiktepe 1999)  st kamandaki jet hızının 50-100 cm/s ve 150-300 m derinlikte ki hızının 10-20 cm/s olduğu bilinmektedir. Karadeniz  evre akıntısı ile birlikte hareket eden kıyısı Kelvin dalgaları, kıyı ile açık deniz arasında iki yönlü bir taşıma mekanizması oluşurmaktadır. Kıyısı kelvin dalgalarına ek olarak, Rim current menderesler yapmakta ve kıyı bölgelerini hareketlendirmektedir.

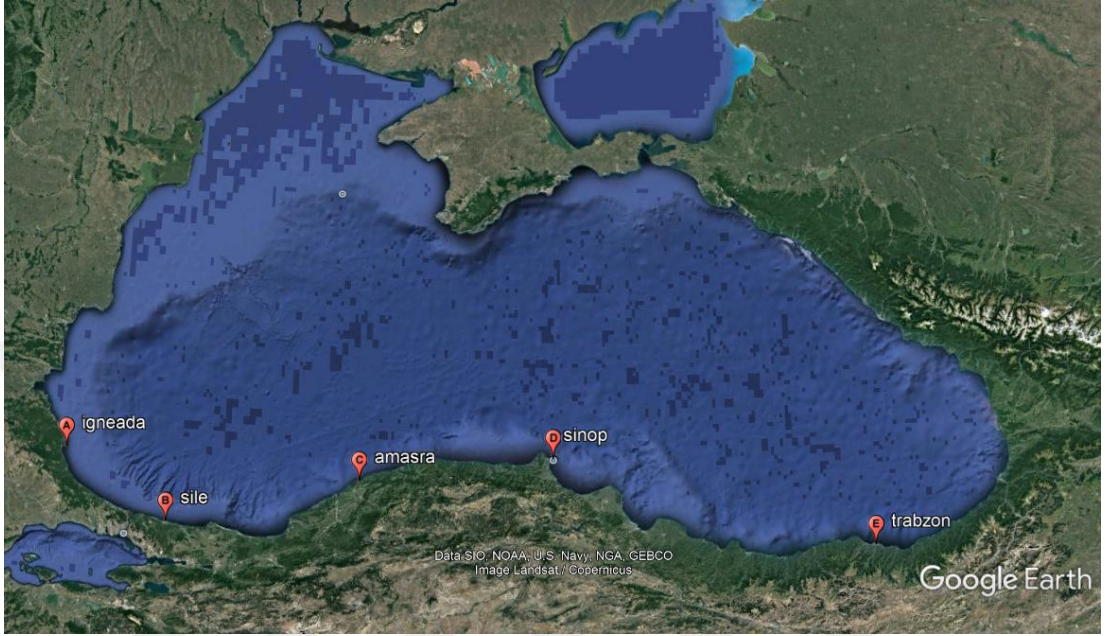
Karadeniz’in fiziksel özelliklerden olan güçlü tabakalaşma sonucu, Kıyısı Kelvin dalgaları atalet (inertial) frekanslarına kadar inebilmektedir. Bu hız dalgalanmaları kıyıda üst kamanın altında da görülmektedir. (Ivanov ve Yankovsky, 1993)

Bu olayda kıyısı kelvin dalgaların önemini arz etmektedir. řu ana kadar Türkiye kıyılarında kıyısı kelvin dalgalarının gözlemine dair herhangi bir yayın literatüre girmemiştir. Bu tez, daha önce açıklanan nedenlerden ötürü, teorik olarak oluşması beklenen doğa olayının g zlenebilirliğini göstermek amacıyla yazılmıştır.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE METOT

2.1 Çalışma alanı



Şekil 2.1 Türkiye kıyılarında bulunan deniz seviye istasyonları

2.2 Veriler

Yapılan bu çalışmada üç tip veri tipi kullanılmıştır. Bunlar gözleme dayanan, uydu üzerinden alınan ve model üzerinden alınan verilerdir. Bizim çalışmamızın ana veri kaynağını gözleme dayalı olan veri grupları oluşturmaktadır. Uydu verileri rüzgârın yön ve şiddetini belirlemek için kullanıldı. Model verileri Kıyıdaki deniz seviyeleri daha iyi görebilmek, dalgaların oluşma mekanizmalarını ve Türkiye kıyıları dışındaki ilerlemesi görmek amacıyla kullanıldı. Her bir veri grubu ile ilgili bilgi aşağıda detaylı olarak verilecektir.

2.2.1 Deniz Seviye Verileri

Deniz Seviyesi ölçümlerimizi Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığına bağlı bulunan, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) üzerinden elde ettik. TUDES istasyonları Akdeniz kıyılarında; İskenderun, Erdemli, Taşucu, Bozyazı, Antalya-II, Ege denizi kıyılarında; Marmaris, Bodrum-II, Menteş,

Gökçeada, Marmara denizi kıyılarında; Erdek, Yalova, Marmara Ereğlisi, İstanbul, Karadeniz kıyılarında ise; İğneada, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon-II mareograf istasyonları ile KKTC’de Girne ve Gazimağusa olmak üzere tesis edilmiş toplam 20 mareograf (deniz seviyesi ölçer) istasyonu ile deniz seviyesi ve seviye değişimine etki eden meteorolojik parametreleri (hava sıcaklığı, bağıl nem, basınç, rüzgâr hız ve yönü) sayısal ve otomatik olarak her otuz saniyede bir ölçmekte, on beş dakikalık ortalamalar halinde kaydetmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye üzerinde bulunan deniz seviye istasyonları

Bu çalışmada 2014 Ocak ile 2016 Aralık Karadeniz üzerinde bulunan TUDES istasyonların, deniz seviye ölçümleri kullanılmıştır. Deniz seviye ölçümleri 15 dk aralıklı verilerden oluşmaktadır.(Tablo 2.1)

Tablo 2.1 Karadeniz üzerinde bulunan deniz seviye istasyonları ve zaman aralıkları.

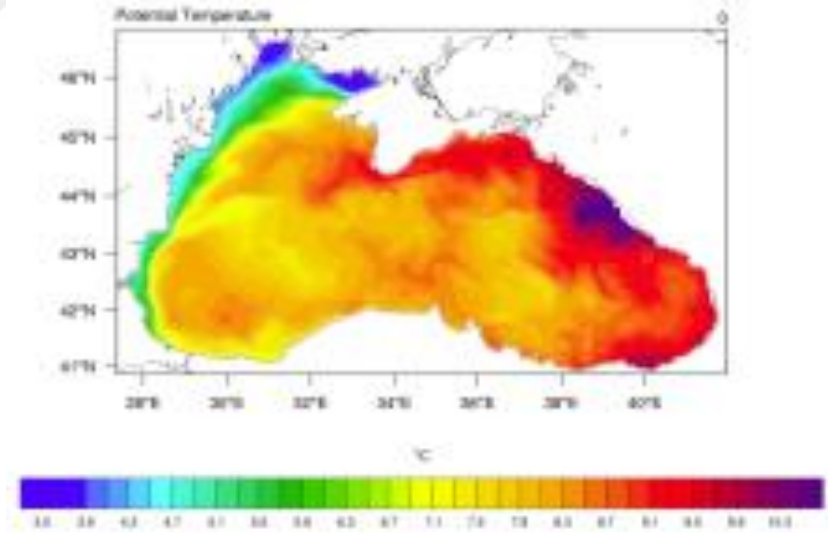
<i>İstasyon</i>	<i>Konum</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Zaman Aralığı</i>
İğneada	Karadeniz	41,89	28,026	2014-2017
Sinop	Karadeniz	42,022	35,151	2014-2017
Şile	Marmara Denizi	41,18	29,604	2014-2017
Amasra	Karadeniz	41,744	32,391	2014-2017
Trabzon	Karadeniz	41,001	39,745	2014-2017

2.2.2 Rüzgâr Verileri

Rüzgârın yarattığı etkiyi anlayabilmek ve görselleştirebilmek için, copernicus üzerinden gerçek zamanlı uydu görüntüleri kullanılmıştır. Rüzgâr verileri, $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ lik bir grid üzerinde, ASCAT ve OSCAT üzerinden alınan verilerin hatalardan ayıklanıp tekrar analiz edilmesi sonu elde edilmiştir. Detaylı bilgi için (<http://marine.copernicus.eu>) adresine bakınız.

2.2.3 Model

Bütün Karadeniz bölgesini kapsayan model, deniz seviyesi, akıntı, tuzluluk görüntülerinde vermektedir. Modelin orijinal hali Akdeniz için yapılmış daha sonra Karadeniz bölgesinde kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Detaylı bilgi için (<http://marine.copernicus.eu>) adresine bakınız. Bu çalışmada esas olarak deniz seviyesi modeli kullanılmış, akıntı modelleri dalganın oluşturduğu etkiyi görmek için bu çalışmaya eklenmiştir. Deniz seviyesi modelleri, İğneada, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon İstasyonlarından alınan ölçümlerle karşılaştırılmış doğrulanması yapılmıştır.



Şekil 2.3 Copernicus üzerinden model görüntüsü [Koordinat sisteminde yatay genişlik $1/36^\circ$ dikey genişlik $1/27^\circ$ olarak interpolate edilmiştir.]

Modelin kartezyen koordinatlarda, orta ölçekli döngülerin (Karadeniz için Rossby deformasyon yarıçapı 20 km) analiz edebilmesi için enlem ve boylam aralıkları

yaklaşık 3 km tutulmuştur. Modelin Baterimetrik tabanı GEBCO (www.gebco.net) dataları kullanılarak yaratılmıştır.

2.3 Metotlar

Bölüm 2.2 de detayları verilen veriler, MATLAB 2014b, Minitab ve Microsoft Office Excel 2013 programları ile analiz edilmiştir. Bu programlardan bazıları hazır paketler bazında geliştirilen yazılımlardır. Veri analizinde kullanılan metotlar ve programlar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

2.3.1 Deniz Seviye Zaman Serileri Analizi

2.3.1.1 Verilerin İşlenmesi

TUDES üzerinden alınan verilerde, bazı atlamalar ve boşluklar olduğu için daha iyi analiz yapabilmek için veriler üzerinde ayıklama ve temizleme yaptık. Bu düzenlemeleri Ms Excel ile daha iyi anlaşılabilir hale getirdik. Tüm istasyonlardaki verileri 3 kolon haline getirdik, birinci kolon için istasyon numarası kullanıldı, ikinci kolon zaman için ayrıldı zaman formatı (gün / ay/ yıl / zaman) olarak ayarlandı, son kolon ise deniz seviyesi ölçümlerine ayrıldı ve matlab programının okuyabileceği gibi nümerik olarak değiştirildi. TUDES üzerinden verilen deniz seviyesi veriler yerel datumlu olduğu için, zaman serisi grafiklerini çizdirirken yerel datum ortalamasını deniz seviyesi olarak kabul ederek tekrar buna göre çizimi gerçekleştirdik.

2.3.1.2 Spektral Analiz

Spektral Analizin amacı, sonlu bir zaman serisini oluşturan frekansların güç dağılımını tanımlamaktır. Zaman serisi analizi teorilerinin çoğu gibi spektral analiz zaman serilerini durağan kabul eder. Rastgele bir süreç $X(t)$, genel olarak zamanla sistematik bir değişim içermiyorsa (trend yok), örneğin ortalama, varyans veya otokorrelasyon fonksiyonu değişmiyorsa, geniş anlamli durağan olduğu söylenir.

Durağan bir rastgele veya diğer bir deyişle stokastik sürecin teorik spektral yoğunluk fonksiyonu, teorik oto-korelasyon fonksiyonunun fourier dönüşümüdür. Buradan, $x(n)$, n noktalarında (zamanlarında) yapılan gözlemlerden oluşan zaman serisinin fourier dönüşümü şöyledir;

$$X(w) = \sum_{n=1}^N x(n) e^{-\frac{jwn}{N}} \quad (2.1)$$

Burada n frekans noktalarını, N maksimum frekans noktasını, f frekansı göstermek üzere $w = 2\pi f$ dir. Bir zaman serisinin fourier dönüşümünü elde ettikten sonra, güç spektral yoğunluğu $S = X X^*$ olarak hesaplanır.

Bu çalışmada deniz seviyesi zaman serilerinin güç spektral yoğunluğu, Matlab periodogram fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

2.3.2 Çapraz Korelasyon

İki zaman serisi arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için çapraz korelasyon kullanılır. X ve Y ile verilen ve zamanla değişen (t) ve uzunluğu (gözlem sayısı) n olan iki zaman serisi arasındaki normalize edilmiş çapraz korelasyon;

$$\frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{S_x S_y} \quad (2.2)$$

ile tanımlanır. Burada; n gözlem sayısı, k zaman kayması, t zamanı $\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ zaman serilerinin ortalamaları, S_x ve S_y sırasıyla X ve Y zaman serilerinin standart sapmalarıdır. Bu formüldeki değer 1 olduğunda iki zaman serisi arasında ilişkinin güçlü (iki zaman serisi birbirinin aynı), 0 olduğunda ise ilişki olmadığını belirtir. Bu değer 0 ile 1 arasında herhangi bir değerde ise korelasyonun anlamlı olup olmadığı $\frac{2}{\sqrt{n-|k|}}$ nın değerinin korelasyonun değerinden küçük olup olmadığına bakılarak karar verilir. Eğer korelasyonun değeri bu değerden büyükse, bulunan sonuç istatistiksel olarak anlamlı kabul edilir. 0 ile 1 arasında bulunan herhangi bir değer anlamlılık düzeyini belirlemek için çapraz korelasyon da zaman kayması (k) uygulanarak, iki sinyalin zaman kayması ile mi birbiriyle ilişkisinin olduğunu tespit etmek mümkündür. Böylece, birbiriyle ilişkili iki sinyalin bir gecikme mi yoksa önden mi geldiği saptanabilir. Bir zaman kaymasını tespit etmek için, orijinal sinyali, x ögeleriyle taşınan diğeriyle sağa veya sola ilişkilendiririz. İki serinin zaman kaymasıyla korelasyonlu olup olmadığını tespit etmek için, tüm olası zaman değişimlerini hesaplamak ve hangi zaman kaymasında korelasyonun maksimum

olduğunu tespit etmek gerekir. Bu çalışmada, Minitab kullanılarak, farklı istasyonlarda ölçülen deniz seviyeleri arasında korelasyon ve zaman kayması belirlenmiştir.

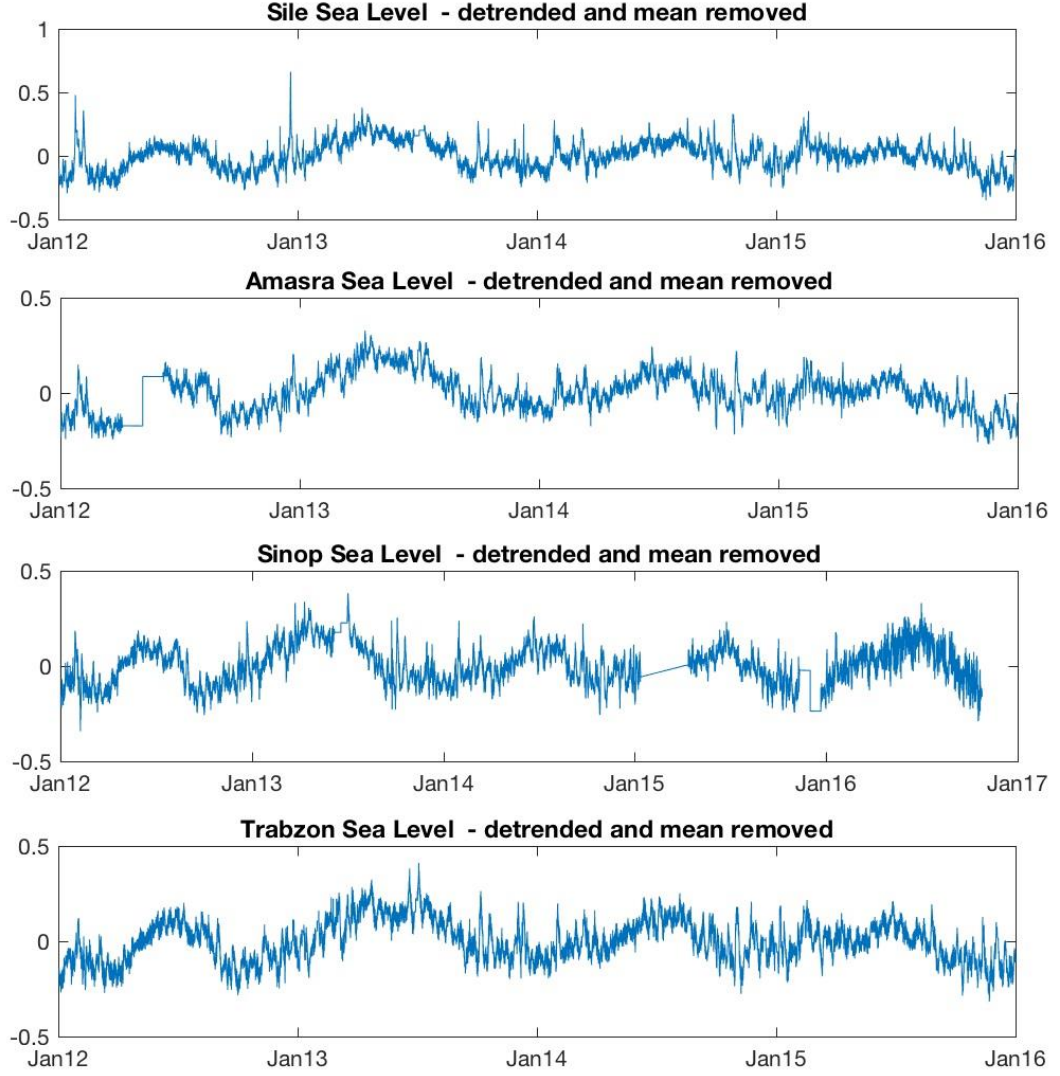
2.3.3 Dalgacık (wavelet) Dönüşümü

Wavelet (Dalgacık) dönüşümü, bir sinyalin zaman ve frekans analizi için kullanılan dönüşüm biçimidir. Fourier fonksiyonu bize frekans dağılım bilgisi verir ancak bu frekansların hangi zaman aralığında oluştuğunu söylemez. Wavelet (dalgacık) dönüşümü ise bize olayın oluş zamanı bilgisi verir. Fourier dönüşümündeki zaman bilgisinin kaybolması problemini ortadan kaldıran wavelet analizi, bir sinyalin içerisindeki tüm frekans bileşenlerinin hangi zamanlarda ve hangi genliklerde olduğunu tespit edebilir. Bütün bu avantajlarından dolayı Wavelet analizi yaygın olarak kullanılmakta ve pek çok alana uygulanmaktadır. Dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform) ile CTW oluşum zamanlarını tespit edebilmek için kullandık. Bu çalışmada deniz seviyesi zaman serilerinin wavelet dönüşümü Grinsted ve diğ. (2014) de verilen yöntemle hesaplanmıştır.

BÖLÜM ÜÇ

SONUÇLAR

3.1 Deniz Seviye Değişimlerin Özellikleri

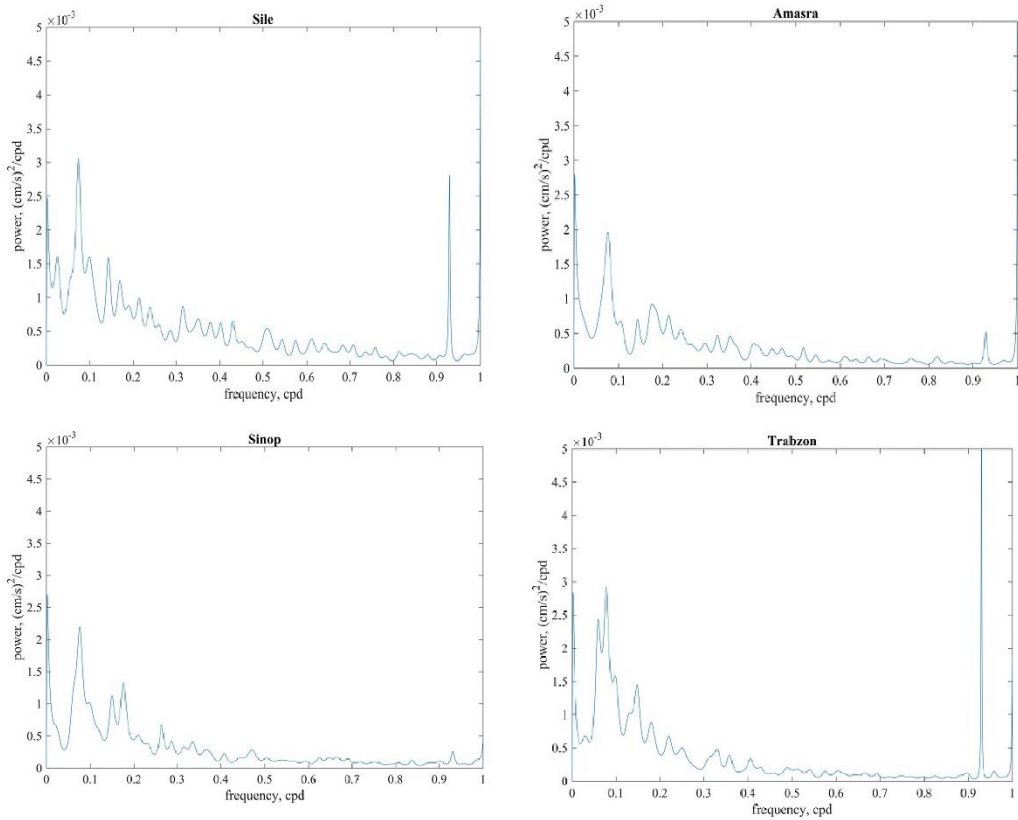


Şekil 3.1 Karadeniz de Anadolu kıyıları boyunca gözlemlenen deniz seviyeleri

TUDES istasyon ağının Karadeniz’de bulunan istasyonlarından Ocak 2012 – Ocak 2017 arasında elde edilen deniz seviyesi Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Genel olarak bütün istasyonlarda deniz seviyesi ortalama ± 30 cm civarında değişim göstermektedir. Karadeniz’de deniz seviyesi değişimleri belirgin bir mevsimsel değişim göstermektedir; deniz seviyesinin en yüksek olduğu dönem bahar ve yaz sonu arasında

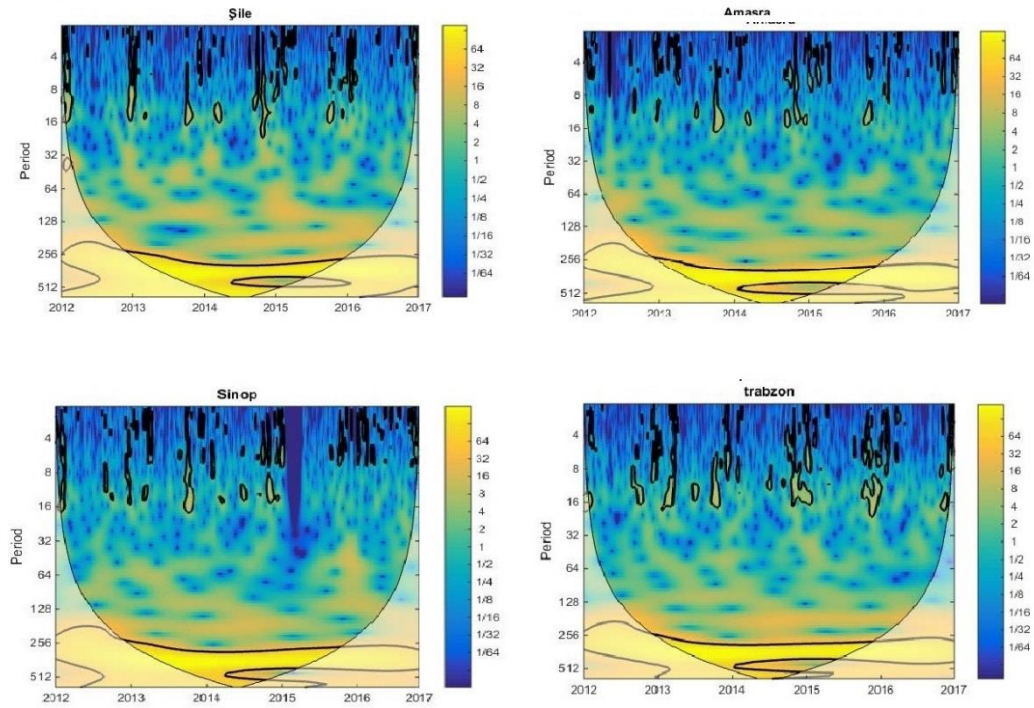
iken, en düşük olduğu dönem sonbahar olarak gözükmeaktadır. Bu da Karadeniz’e giren tatlı suyun mevsimlik değişimi ile uyum göstermektedir. Bahar aylarında karların erimesi ise artan nehir girdileri Karadeniz’in deniz seviyesini yükseltmekte ve nehir debilerinin minimum olduğu sonbahar aylarında da deniz seviyesi en düşük düzeyine inmektedir. Bununla beraber, bütün yıl boyunca deniz seviyesinde ani değişimler gözlenmekte ve bu da atmosfer koşullarına atfedilebilir.

Yukarıda nicelik olarak tanımlanan deniz seviyesi değişimlerini nitel olarak inceleyebilmek amacıyla Şekil 3.1 de verilen zaman serilerine spektral analiz uygulanarak deniz seviyesi değişimlerinin frekansları incelenmiştir. Spektral analiz ile elde edilen, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon için oluşturulan spektrumlar Şekil 3.2 ile gösterilmiştir. Oluşturulan grafikleri incelediğimizde, tüm istasyonlarda 0.08 (12-13 günlük) döngüsü belirgin olduğu görülmüştür.



Şekil 3.2 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon deniz seviyelerinden elde edilmiş düşük frekanstaki spektrumlar

Yukarıda verilen spektral analiz ile Karadeniz’de deniz seviyesinde 12-13 günlük değişimlerin belirgin olduğu tespit edilmiş olmasına rağmen, fourier analizi bu frekanslardaki değişimlerin zaman bilgisini vermemektedir. Bu frekanstaki dalganın oluşum zamanını tespit edebilmek için de deniz seviyesi ölçümlerine wavelet analizi uygulanmıştır. Wavelet analiz sonuçları Şekil 3.3 de verilmiştir. Wavelet sonuçlarına bakıldığından yukarıda elde ettiğimiz 12-23 günlük dalgalar belirgin olarak gözükmemekte ve bu dalgaların sonbahar-kış ayların da oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.3 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon deniz seviyelerinden elde edilmiş wavelet grafikleri

Yukarıdaki analizlere dayanarak Karadeniz’de 12-23 günlük düşük frekanslı dalgaların belirgin olduğunu söyleyebiliriz. Dünya’da yapılan çalışmalara baktığımızda (Tablo 3.1) benzer periyottaki dalgaların CTW lere işaret ettiğiniz görürüz. Buradan, Karadeniz’de CTW lerin 12-13 günlük periyotlarda oluştuğunu ve bu dalgaların özellikle sonbahar-kış aylarında gözlemlendiği sonucuna varabiliriz.

Tablo 3.1 Dünyada benzer periyotta görülen CTW örnekleri

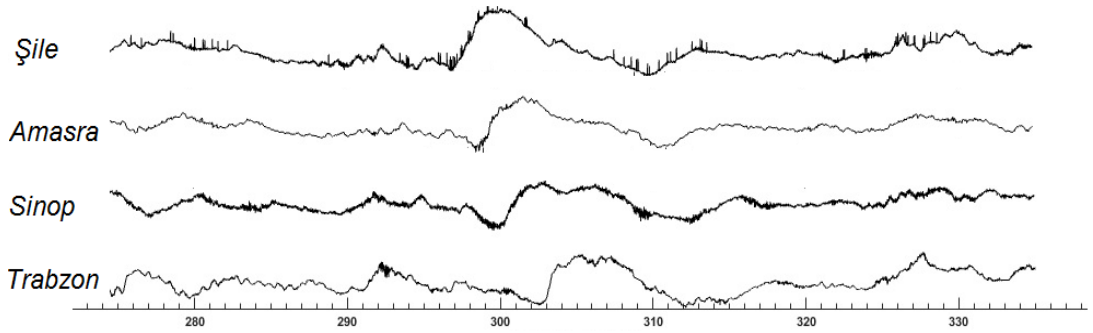
<i>Zaman</i>	<i>Periyot</i>	<i>Konum</i>	<i>Referans</i>
2003	13-14 Gün arası	Santa Barbara Kanalı	Beckenbach [2003]
1990	11-16 Gün arası	Yeni Zelanda	Stanton[1990]
2010	10-14 Gün arası	Doğu Avusturalya Kıyıları	Maiwa [2010]
1990	8-14 Gün arası	Güney Africa	Brink [1990]
2017	10-14 Gün arası	Güney Karadeniz	Bu çalışma

3.2 Deniz Seviyesi Zaman Serilerinden CTW Tespiti

Yukarıda genel anlamda yapmış olduğumuz analizlere dayanarak CTW olabileceğini tahmin ettiğimiz 12-13 günlük deniz seviyesi değişimlerini detaylı olarak inceleyerek bu dalgaların CTW olup olmadıklarını belirlemek için her bir dalga oluşumu ve kıyı boyunca yayılımını seçilmiş örnekler le incelendi. Bu örneklerin analizleri aşağıda verilmiştir.

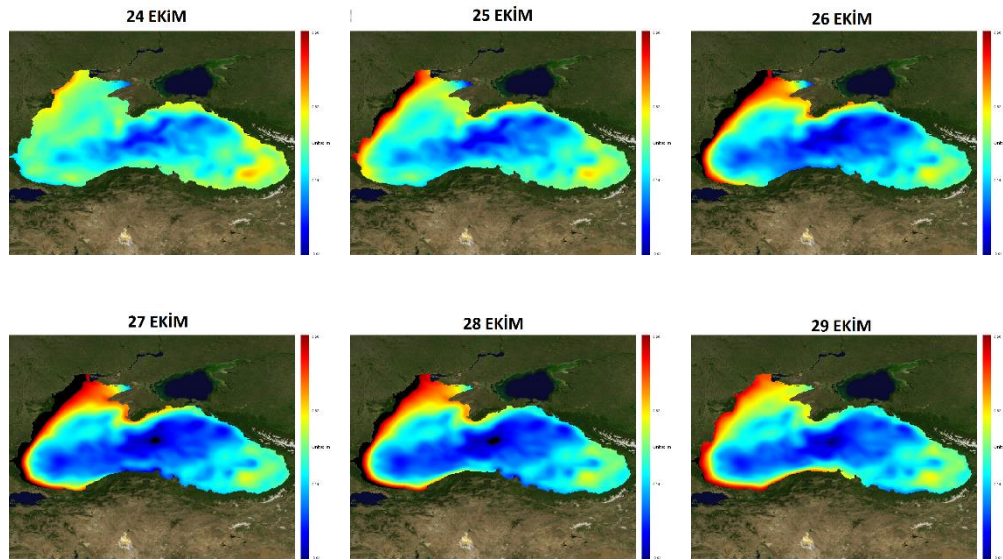
2014 Ekim-Kasım Gözlemleri

Wavelet analizlerinden belirlediğimiz 2014 yılı ekim sonu ve kasım dönemine ait deniz seviyesinin zamana göre değişimi Şekil 3.4 de verilmiştir. Şile’de 26 Ekim 2014 gözlemlenen dalga tepesi, 28 Ekim de Amasra’da, 30 Ekim’de Sinop’ta ve 1 Kasım da Trabzon da gözlenmiştir. Bu durumda Batıdan doğuya doğru bir dalganın ilerlediğini ve yaklaşık 5-6 gün içerisinde Şile’den Trabzon’a ulaştığını söyleyebiliriz. Tüm istasyonlarda önce deniz seviyesinde düşüş yaşanmış daha sonra deniz seviyesinde 20 – 40 cm arası değişim gözlenmiştir. Deniz seviyesinin minimum yapmasından sonra 3 gün içerisinde deniz seviye tepe değerine ulaşmaktadır. Bu 3 günlük süre bütün istasyonlar için aynıdır. Deniz seviyesinde olan en büyük yükselme 35 cm ile Şile istasyonu, en düşük 20 cm ile Trabzon istasyonunda olmuştur. İlerleyen bu dalganın iki çukuru arasındaki zaman yine tüm istasyonlar için 12 Deniz seviyesindeki yükselmeler tüm istasyonlarda yaklaşık 12 gün kadardır.



Şekil 3.4 2014 Eylül ve Ekim arasındaki Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon istasyonlarına ait deniz seviye ölçümleri

Model tarafından üretilen deniz seviyesi sonuçları Şekil 3.5 incelendiğinde, yukarıda deniz seviyesi istasyonlarından belirlediğimiz dalganın, Karadeniz’de kıyı boyunca dolaştığı net bir şekilde görülmektedir. 24 Ekim günü Karadeniz’in batı kıyılarındaki su 26 Ekim günü Türk karasularına ulaşmış ve sonra tüm Karadeniz’i kıyı sağında kalacak şekilde dolaşmıştır. Model sonuçları ile yukarıda deniz seviye ölçümlerine dayanan analizler birbirini desteklemektedir.

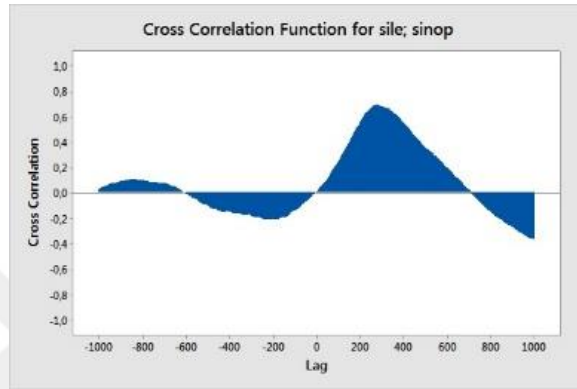


Şekil 3.5 2014 Eylül ve Ekim My Ocean üzerinden alınan model verilerine ait deniz seviye ölçümleri

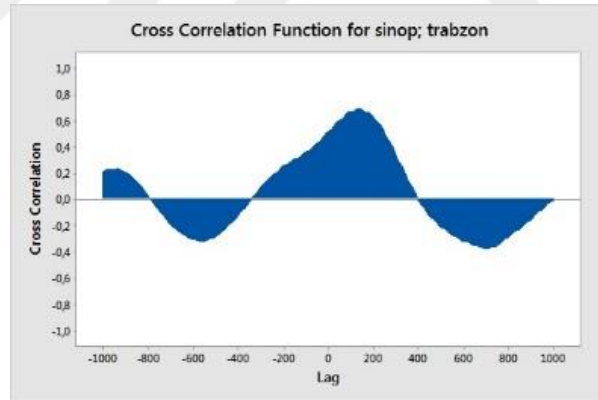
İstasyonlar arası çapraz korelasyon yaparak bu dalganın hızını hesap etmek mümkündür. 2014 Ekim ve Kasım aylarında, deniz seviye istasyonları arasındaki

zaman kayması incelenmiş ve sonuçları Şekil 3.6 ortaya konmuştur. Şile –Sinop arasında maksimum korelasyonun yaklaşık 250. lag da, Sinop-Trabzon arasını yaklaşık 200 lagda, Şile Sinop arasını ise yaklaşık olarak 450 lagda olduğu ortaya konulmuştur. Böylece istasyonlar arasında hızın sabit olduğu gösterilmiş ve ortalama hız değeri bulunmuştur.

(a)

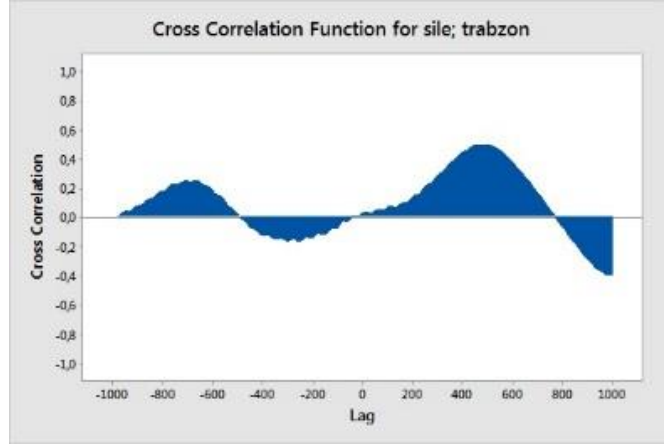


(b)



Şekil 3.6 2014 Ekim ve Kasım aylarında hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri

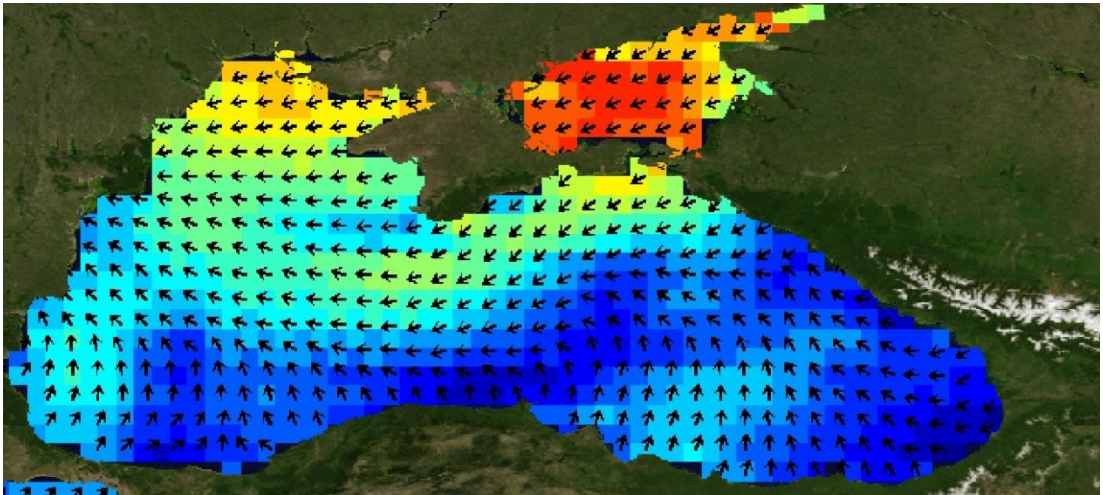
(c)



Şekil 3.6 devamı

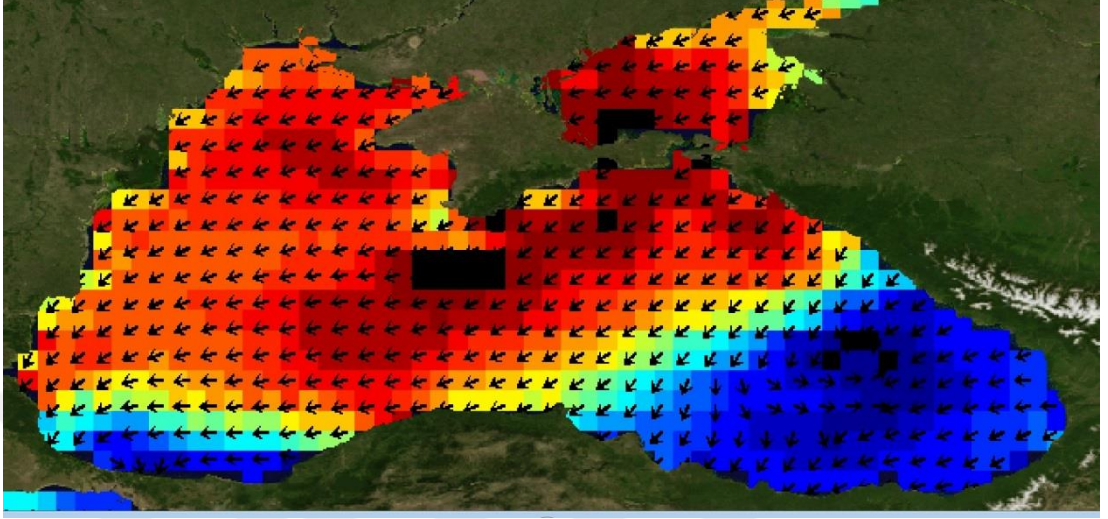
Yukarıda varlığı gösterilmiş olan CTW in oluşum mekanizmasını ve oluştuğu bölgeyi tespit edebilmek için rüzgâr verileri incelenmiştir (Şekil 3.7). Batı Karadeniz’de 25 Ekim’de kıyıya paralel güçlü rüzgâr esmeye başlamış ve bu rüzgâr 26’sıda sürmüştür. Bu esen rüzgâr açık deniz sularını kıyıya yığmıştır. 26’sından sonra bu rüzgâr etkisini kaybetmiştir. Kıyıda yığılan bu sular rüzgârın etkisini kaybetmesiyle salınım yapmaya başlamış ve CTW’i oluşturmuştur.

Ekim 24 (a)

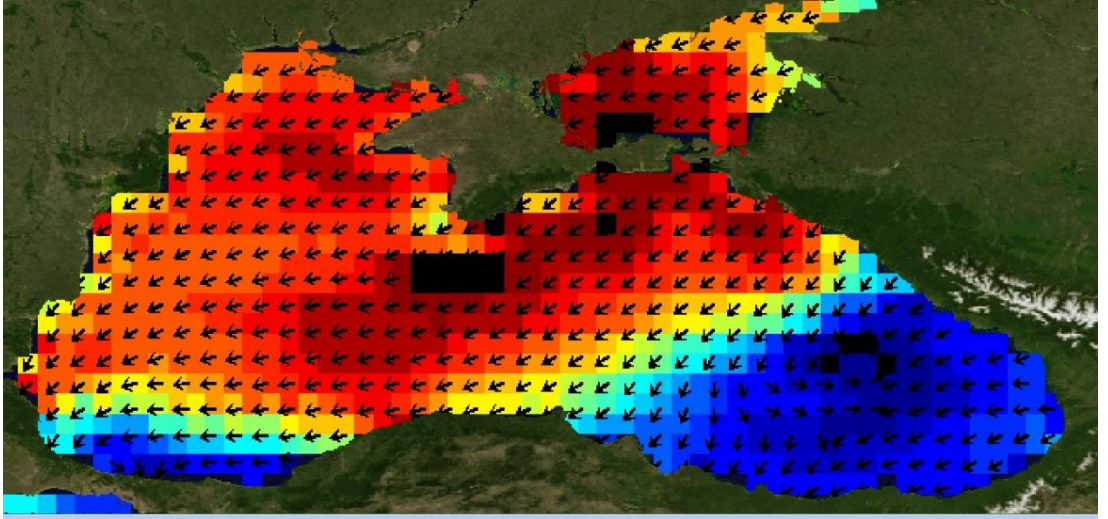


Şekil 3.7 Ekim 24 (a) Ekim 25 (b) Ekim 26 (c) Ekim 27 (d) ait rüzgar dağılımı

Ekim 25(b)

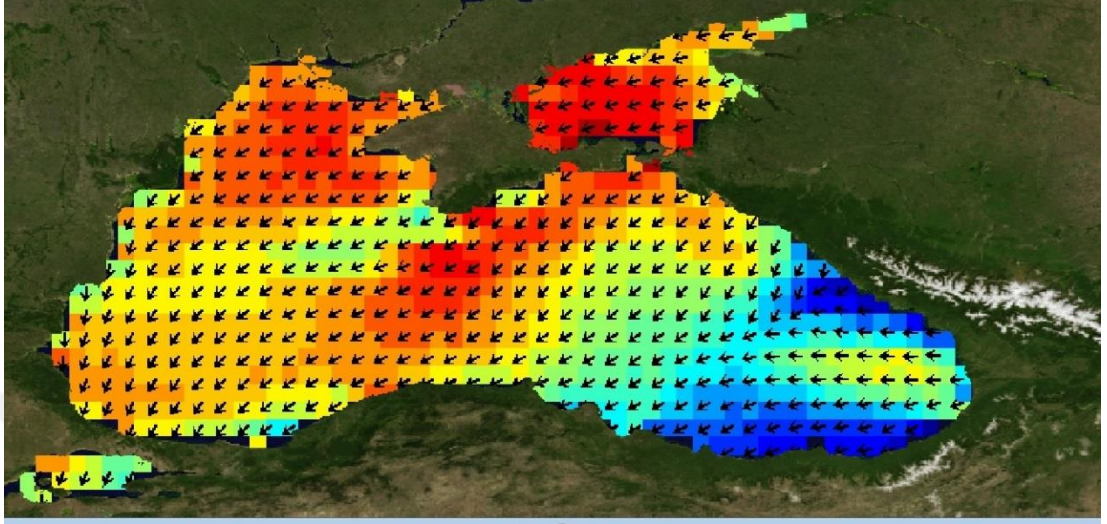


Ekim 26 (c)



Şekil 3.7 devamı

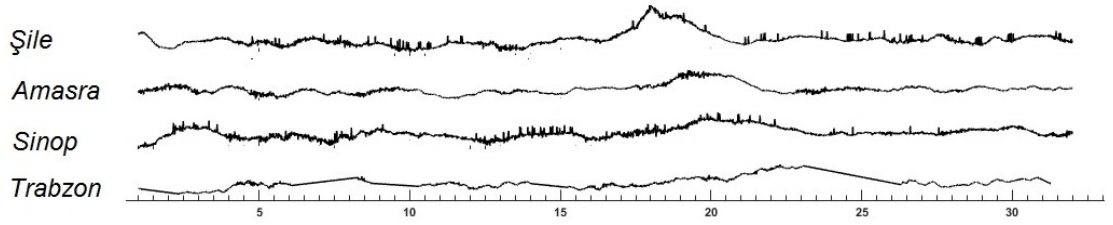
Ekim 27 (d)



Şekil 3.7 devamı

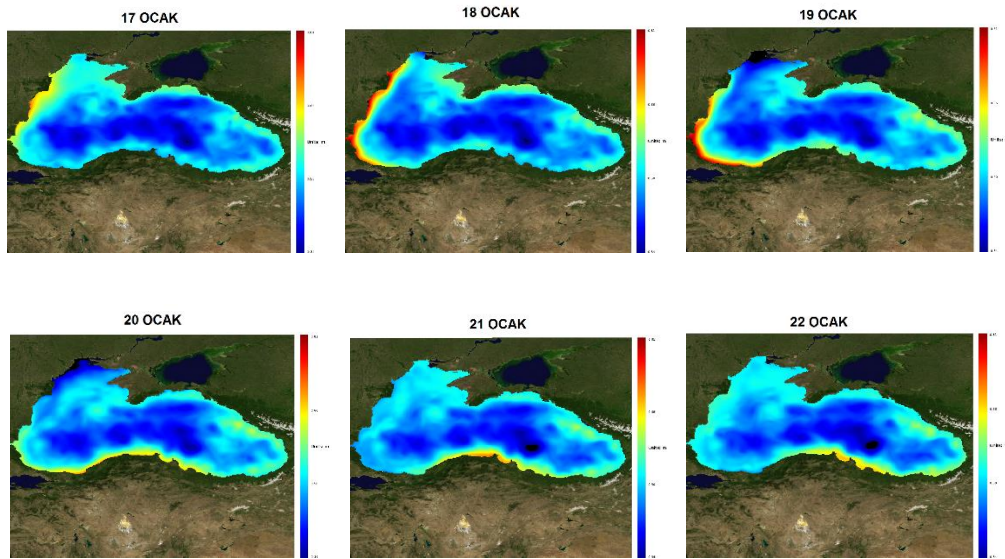
2016 Ocak gözlemleri

Karadeniz’de CTW oluşumuna bir başka örnek te Ocak 2016 da gözlemlenmiştir. Karadeniz’deki 4 istasyona ait deniz seviyesi zaman serileri Ocak 2016 için Şekil 3.8 de verilmiştir. Şile de 18 Ocak 12:00 da gözlenen deniz seviyesi yükselmesi, 19 Ocak ta Amasra’da, 20 Ocak ta Sinop ta ve 23 Ocak ta Trabzonda gözlemlenmiştir. Bu durumda Şile’de 18 Ocakta gözlemlenen dalga tepesi 5 gün içerisinde Trabzon’a ulaşmaktadır. Yine, bir önceki örnek durumda olduğu gibi, tüm istasyonlarda önce deniz seviyesinde düşüş yaşanmış daha sonra deniz seviyesinde 20–40 cm arası değişim gözlenmiştir. Deniz seviyesinin minimum yapmasından sonra 2 gün içerisinde deniz seviye tepe değerime ulaşmaktadır. Bu 2 günlük süre bütün istasyonlar için aynıdır. Deniz seviyesinde olan en büyük yükselme 40 cm ile Şile istasyonu, en düşük 20 cm ile Trabzon istasyonunda olmuştur. İlerleyen bu dalganın iki çukuru arasındaki zaman yine tüm istasyonlar için deniz seviyesindeki yükselmeler tüm istasyonlarda yaklaşık 12 gün kadardır.



Şekil 3.8 2016 Ocak ayında ki Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon istasyonlarına ait deniz seviye ölçümleri

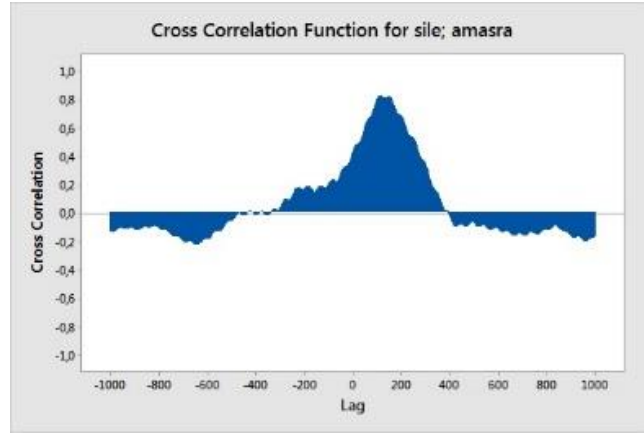
Model tarafından üretilen deniz seviyesi sonuçları (Şekil 3.9) incelendiğinde, yukarıda deniz seviyesi istasyonlarından belirlediğimiz dalganın, Karadeniz’de kıyı boyunca dolaştığı net bir şekilde görülmektedir. 15 Ocak günü Karadeniz’in batı kıyılarındaki biriken su 19 Ocak günü Türk karasularına ulaşmış ve sonra tüm Karadeniz’i kıyı sağında kalacak şekilde dolaşmıştır. Model sonuçları ile yukarıda deniz seviye ölçümlerine dayanan analizler birbirini desteklemektedir.



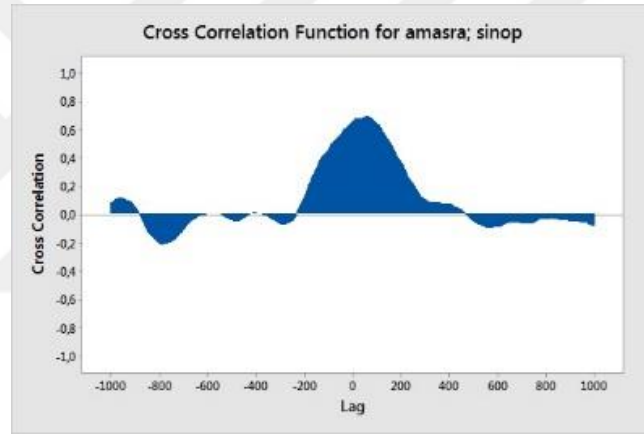
Şekil 3.9 2016 Ocak My Ocean üzerinden alınan model verilerine ait deniz seviye ölçümleri

İstasyonlar arası çapraz korelasyon yaparak bu dalganın hızını hesap etmek mümkündür. 2016 Ocak, deniz seviye istasyonları arasındaki zaman kayması incelenmiş ve sonuçları Şekil 3.10 ortaya konmuştur. Şile –Sinop arasında maksimum korelasyonun yaklaşık 250. lag da, Sinop-Trabzon arasını yaklaşık 200. lagda, Şile Sinop arasını ise yaklaşık olarak 450. lagda olduğu ortaya konulmuştur. Böylece istasyonlar arasında hızın sabit olduğu gösterilmiş ve ortalama hız değeri bulunmuştur.

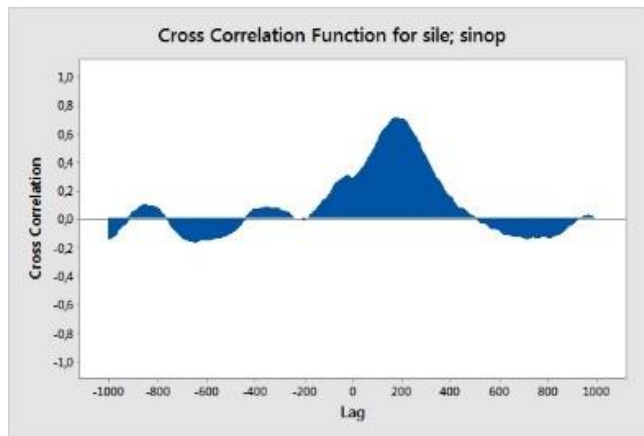
(a)



(b)



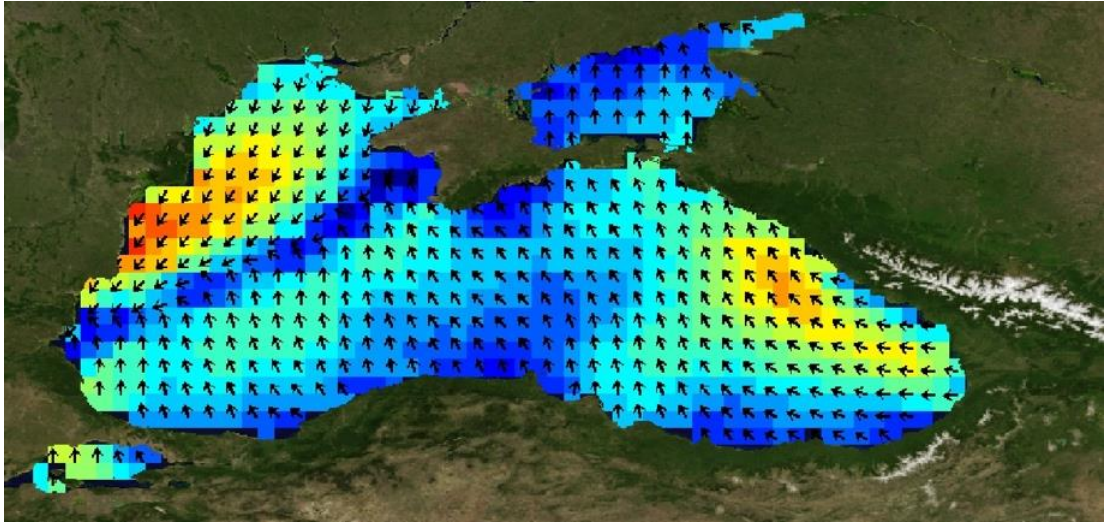
(c)



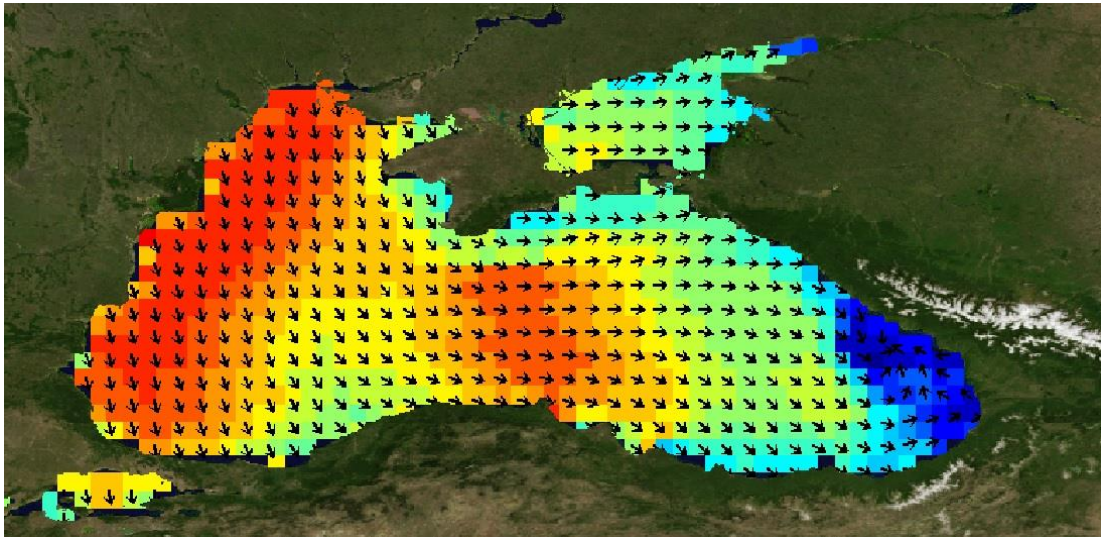
Şekil 3.10 2014 Eylül ve Ekim aylarında hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri

Yukarıda varlığı gösterilmiş olan CTW in oluşum mekanizmasını ve oluştuğu bölgeyi tespit edebilmek için rüzgâr verileri incelenmiştir (Şekil 3.11). Batı Karadeniz’de 17 Ocak’ta kıyıya paralel güçlü rüzgâr esmeye başlamış ve bu rüzgâr 18 sine kadar sürmüştür. Bu esen rüzgâr açık deniz sularını kıyıya yığmıştır. 20 sinden sonra bu rüzgâr etkisini kaybetmiştir. Kıyıda yığılan bu sular rüzgârın etkisini kaybetmesiyle salınım yapmaya başlamış ve CTW i oluşturmuştur.

Ocak 17(a)

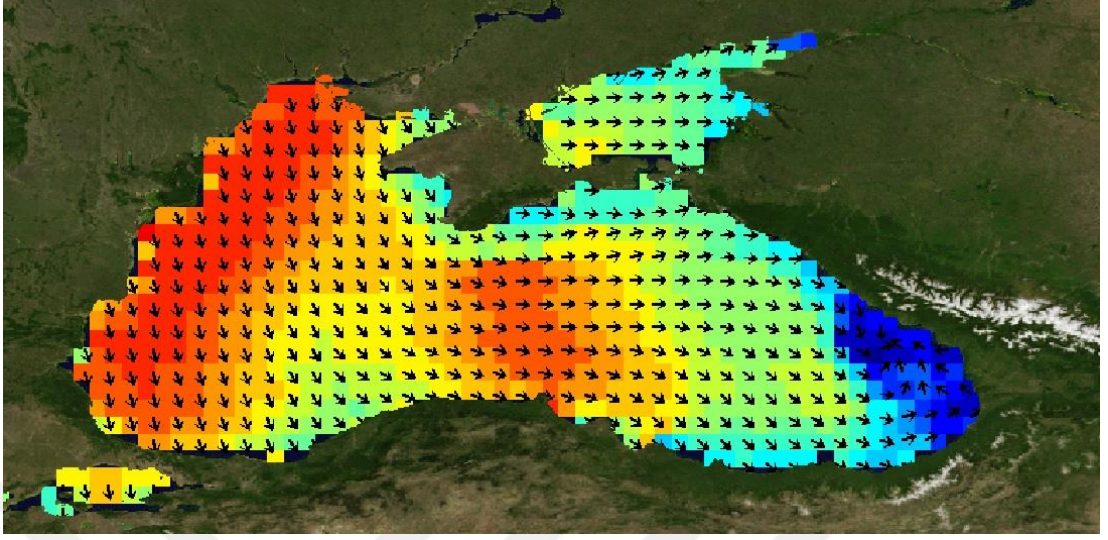


Ocak 18 (b)

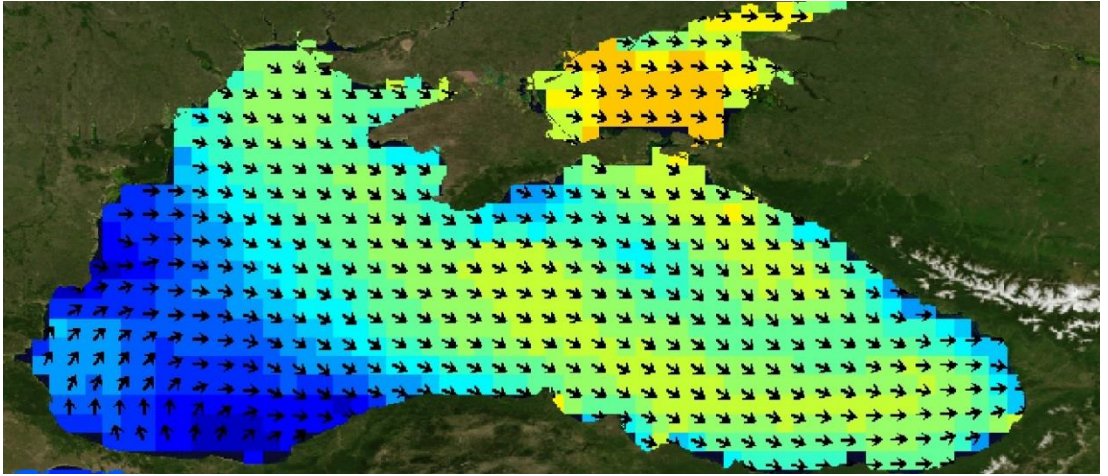


Şekil 3.11 Ocak 17 (a) Ocak 18 (b) Ocak 19 (c) Ocak 20 (d) ait rüzgâr dağılımı

Ocak 19 (c)



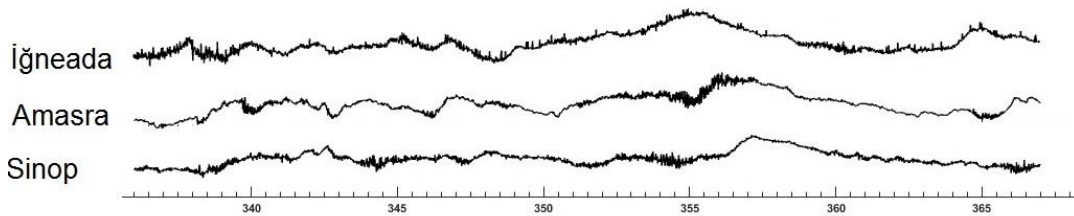
Ocak 20 (d)



Şekil 3.11 devamı

2012 Aralık gözlemleri

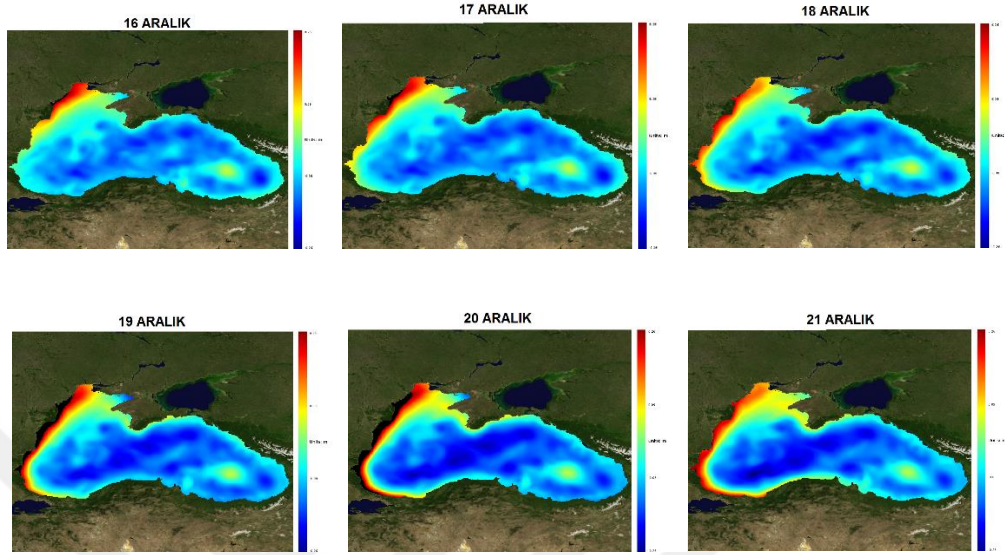
Karadeniz’de CTW lerin varlığını ve oluşum mekanizmalarını gösteren bir başka örnek durum da Aralık 2012 de gözlenmiştir. Aralık 2012 boyunca, deniz seviyelerinin, İğneada, Amasra ve Sinop istasyonlarında zamana göre değişimi Şekil 3.12 de verilmiştir. Şile ve Trabzon istasyonlarında bu döneme ait veri bulunmadığından bu örnek durum için kullanılamamıştır. İğneada’da 20 Aralık 2012 gözlemlenen dalga tepesi, 22 Aralıkta de Amasra’da ve 23 Aralıkta’da Sinop’ta gözlenmiştir. Bu durumda Batıdan doğuya doğru bir dalganın ilerlediğini ve yaklaşık 3 gün içerisinde İğneada’dan Sinop’a ulaştığını söyleyebiliriz. Tüm istasyonlarda önce deniz seviyesinde düşüş yaşanmış daha sonra deniz seviyesinin 20–35 cm arası arttığı gözlenmiştir. Ancak 2014 Ekim de çok belirgin olan dalga çukuru bu örnek durumda çok belirgin değildir. Bu da Deniz seviyesinin yükselmesine neden olan su yığılmasının daha yavaş bir dönüşün olmasında ötürüdür. Deniz seviyesinin minimum yapmasından sonra maksimuma ulaşması 7 günde meydana gelmektedir. Deniz seviyesinde olan en büyük yükselme 35 cm ile İğneada istasyonu, en düşük 20 cm ile Sinop istasyonunda olmuştur. İlerleyen bu dalganın iki çukuru arasındaki zaman yine tüm istasyonlar için Deniz seviyesindeki yükselmeler tüm istasyonlarda yaklaşık 12 gün kadardır.



Şekil 3.12 Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon deniz seviye ölçümleri

Aralık 2012 örnek durumu için, model tarafından üretilen deniz seviyesi sonuçları (Şekil 3.13) incelendiğinde, yukarıda deniz seviyesi istasyonlarından belirlediğimiz dalganın, Karadeniz’de kıyı boyunca dolaştığı net bir şekilde görülmektedir. 16 Aralık günü Karadeniz’in batı kıyılarında biriken su 19 Aralık günü Türk karasularına ulaşmış ve sonra tüm Karadeniz’i kıyı sağında kalacak şekilde dolaşmıştır. Model

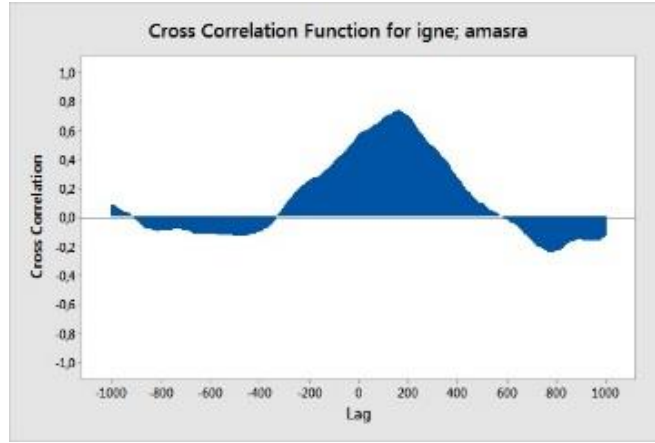
sonuçları ile yukarıda deniz seviye ölçümlerine dayanan analizler birbirini desteklemektedir



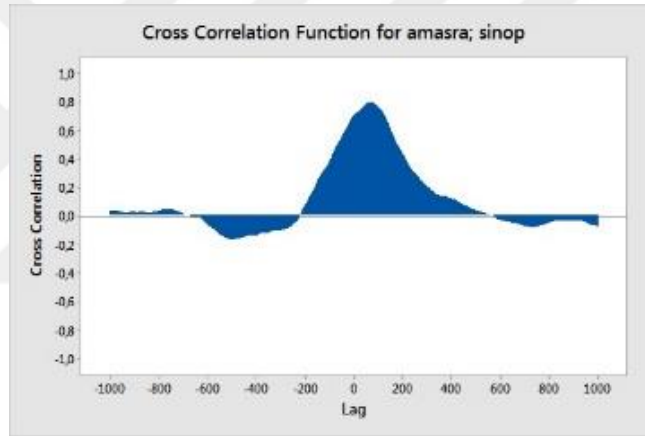
Şekil 3.13 2012 Aralık My Ocean üzerinden alınan deniz seviye ölçümleri

İstasyonlar arası çapraz korelasyon yaparak bu dalganın hızını hesap etmek mümkündür. 2012 Aralık, deniz seviye istasyonları arasındaki zaman kayması incelenmiş ve sonuçları Şekil 3.2.14 ortaya konmuştur. İğneada-Amasra arasında maksimum korelasyonun yaklaşık 150. lag da, Amasra-Sinop arasını yaklaşık 100 lagda, İğneada-Sinop arasını ise yaklaşık olarak 250. lagda olduğu ortaya konulmuştur. Böylece istasyonlar arasında hızın sabit olduğu gösterilmiş ve ortalama hız değeri bulunmuştur.

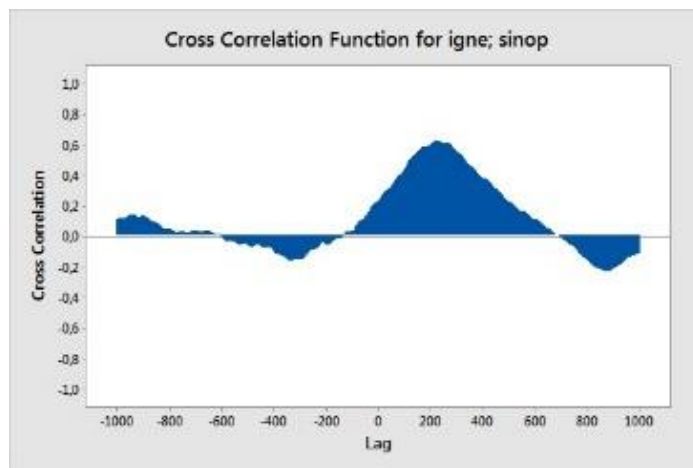
(a)



(b)



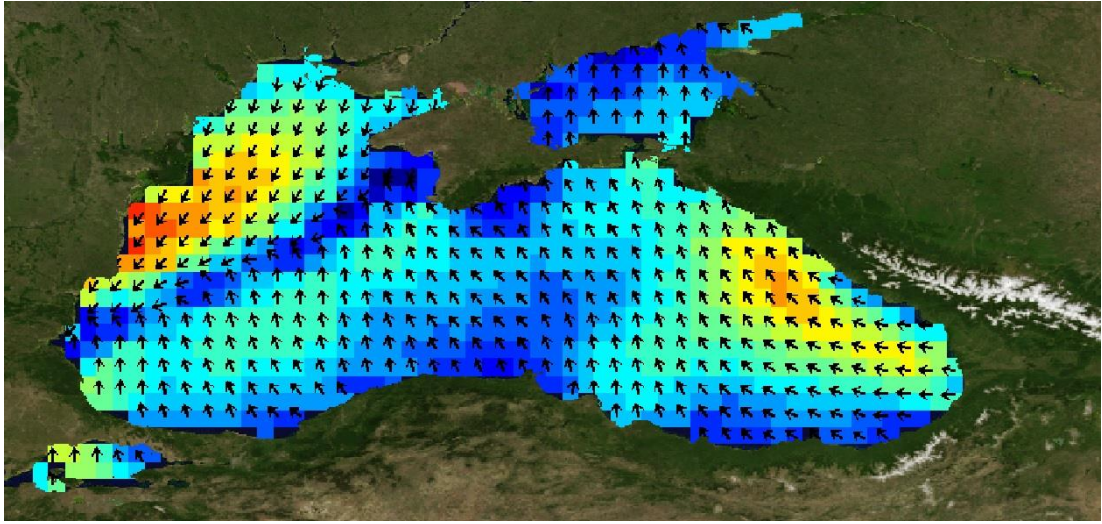
(c)



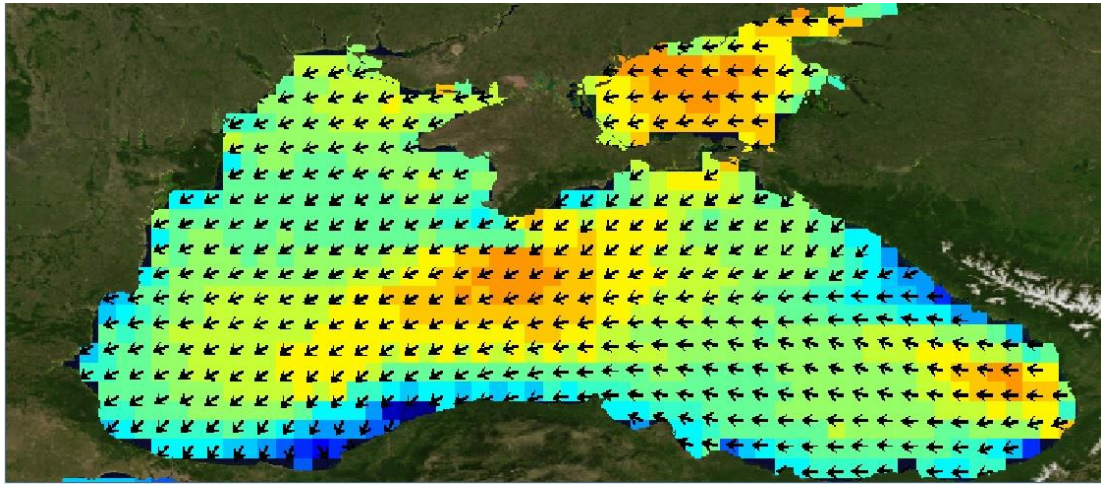
Şekil 3.14 2012 Ocak hız hesaplaması için kullanılan çapraz korelasyon grafikleri

Yukarıda varlığı gösterilmiş olan CTW in oluşum mekanizmasını ve oluştuğu bölgeyi tespit edebilmek için rüzgâr verileri incelenmiştir (Şekil 3.15). Batı Karadeniz’de 17 Aralık’ta kıyıya paralel güçlü rüzgâr esmeye başlamış ve bu rüzgâr 19 sına kadar sürmüştür. Bu esen rüzgâr açık deniz sularını kıyıya yığmıştır. 19 undan sonra bu rüzgâr etkisini kaybetmiştir. Kıyıda yığılan bu sular rüzgârın etkisini kaybetmesiyle salınım yapmaya başlamış ve CTW’i oluşturmuştur.

Aralık 17 (a)

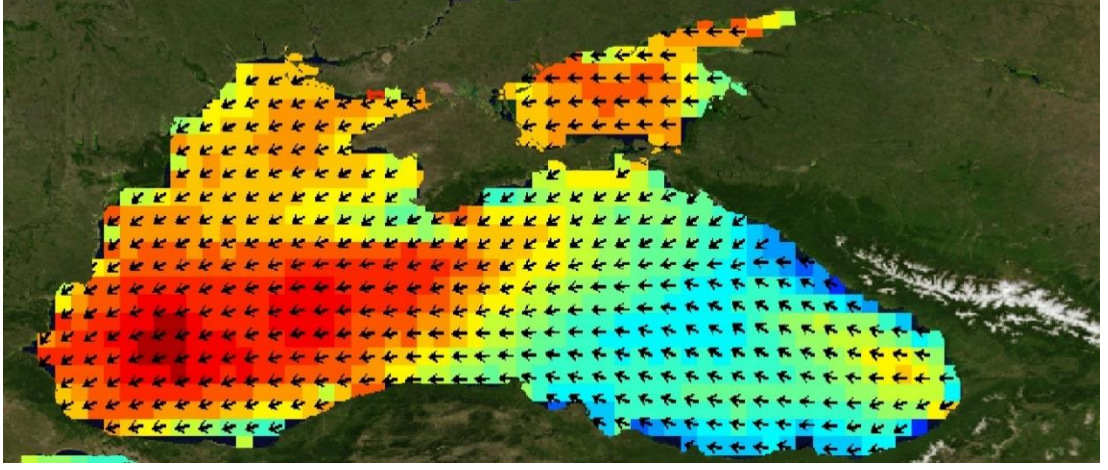


Aralık 18 (b)

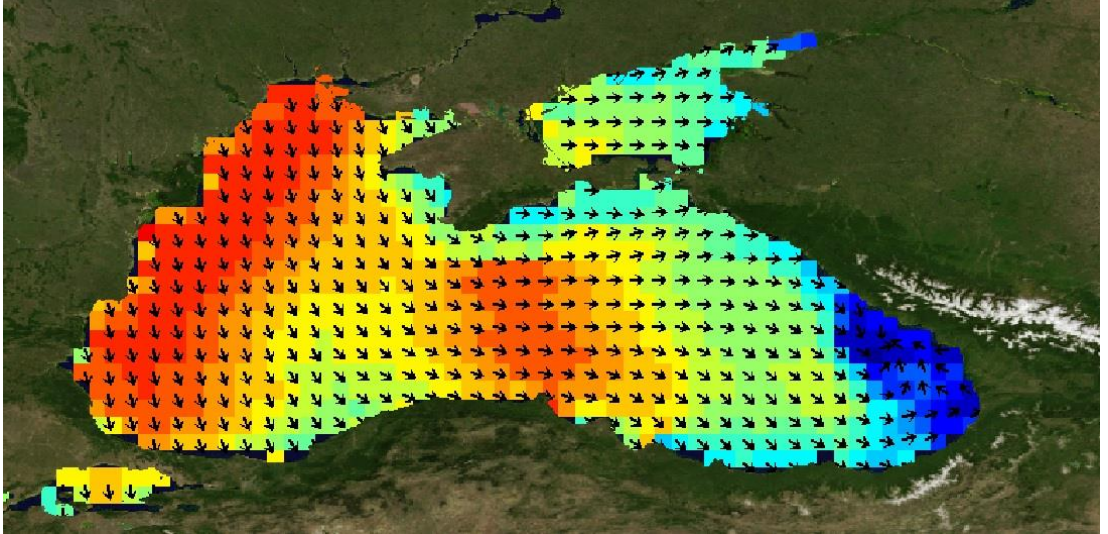


Şekil 3.15 Aralık 17 (a) Aralık 18 (b) Aralık 19 (c) Aralık 20 (d) ait rüzgâr dağılımı

Aralık 19 (c)



Aralık 20 (d)



Şekil 3.15 devamı

Dalga Hızların hesaplanması

Yukarıda verilen örnek durumlarda gösterildiği gibi İğneada'da gözlemlenen deniz seviyesi yükselmesi Türkiye kıyısı boyunca zaman kayması ile diğer istasyonlar da gözlemlenmiştir. Her bir durum çalışması için zaman kaymasının ne olduğu çapraz korelasyon ile verilmiştir. İstasyonlar arasındaki mesafeyi de Google Earth'den ölçerek oluşan dalganın, ilerleme hızını hesaplamamız mümkündür. Bu yöntemle, hesaplanan ortalama hızlar Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu hızlar, ayrıca, zaman serilerinde dalga tepeleri referans alınarak da hesaplanmış ve aynı sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 3.2 CTW'lerin Faz hızları

İstasyonlar	Mesafe(km)	Dalga Faz Hızı (m/s)		
		2012 aralık	2014 ekim	2016 ocak
<i>igneada-istanbul</i>	110	2,6	-	2,6
<i>sile -amasra</i>	280	2,6	2,3	2,6
<i>amasra-sinop</i>	230	2,6	2,3	2,6
<i>sinop-trabzon</i>	500	-	2,3	2,6

BÖLÜM DÖRT

TARTIŞMA

Bu çalışmada Karadeniz’de kıyı istasyonlarında ölçülen deniz seviyesi verilerini kullanarak CTW lerin varlığı ve model sonuçları ile rüzgâr verileri ile beraberde CTW ların oluşum nedenlerini inceledik. Yapılan gözlemler ve analizler bize göstermiştir ki, Karadeniz kıyılarında saat yönü tersi yönünde dolaşan kıyasal kelvin dalgaların varlığı söz konusudur. Bu oluşan dalgaların hızları 2,3 m/s ile 2,7 m/s ve periyotları 10-14 gün arasında değişmektedir.

Yaz aylarına baktığımızda, kış aylarına göre daha az değişimin olduğu ve frekans döngülerin zayıf kaldıkları görülmektedir. Rüzgâr verilerini incelediğimizde CTW oluşumu yaratacak kıyıya paralel esen rüzgârların, yaz aylarında az ve zayıf olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden Karadeniz’de teorik olarak CTW oluşumu için yaz ayların uygun olmadığını düşünüyoruz.

Kış aylarına baktığımızda, İğneada istasyonunda başlayarak Trabzon istasyonları arasında değişimin fazla ve frekans döngülerin ise kuvvetli oldukları görülmektedir. Rüzgâr verileri incelediğimizde oldukça kuvvetli rüzgârların ve fırtınaların varlığından söz edebiliriz. Özellikle Kuzeydoğun esen poyraz rüzgarların çok şiddetli olması CTW oluşumu için gerekli mekanizmayı yaratmaktadır. Şiddetli esen Poyrazın Karadeniz’de kıyıya paralel olduğu bölge ise, ülke sınırlarımızın dışında Ukrayna, Romanya ve Bulgaristan Kıyıları olduğu bilinmektedir. Bu ise ülke sınırlarımız istasyonlarında gözlemlediğimiz CTW lerin olduğu bölgedir. Anlaşıldığı üzere hava sisteminin soğuk ve kuvvetli olması, hava sisteminin CTW yaratması için en uygun mevsimin kış olduğunu göstermektedir.

Yapılan spektral analizlerin sonuçlarına göre, bütün deniz seviyesi gözlem istasyonlarında (Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon) istasyonunda 12-14 günlük periyotlarda döngüler tespit edilmiştir.

Çapraz korelasyon ile yapılan zaman kayması (lag) analizlerinde, dalgalar Şile ve Trabzon istasyonları arasında ortalama 4-6 gün arasında tamamlamakta, yaklaşık olarak 200km/gün hız ile yol almaktadır. CTW hızları kıyı genişliği ve eğimini bağlı

olduğundan, özellikle Şile–Amasra arasında eğimin fazla oluşu ve kıta sahanlığının darlığı nedeniyle bu bölgede CTW daha da hızlandığı görülmektedir.

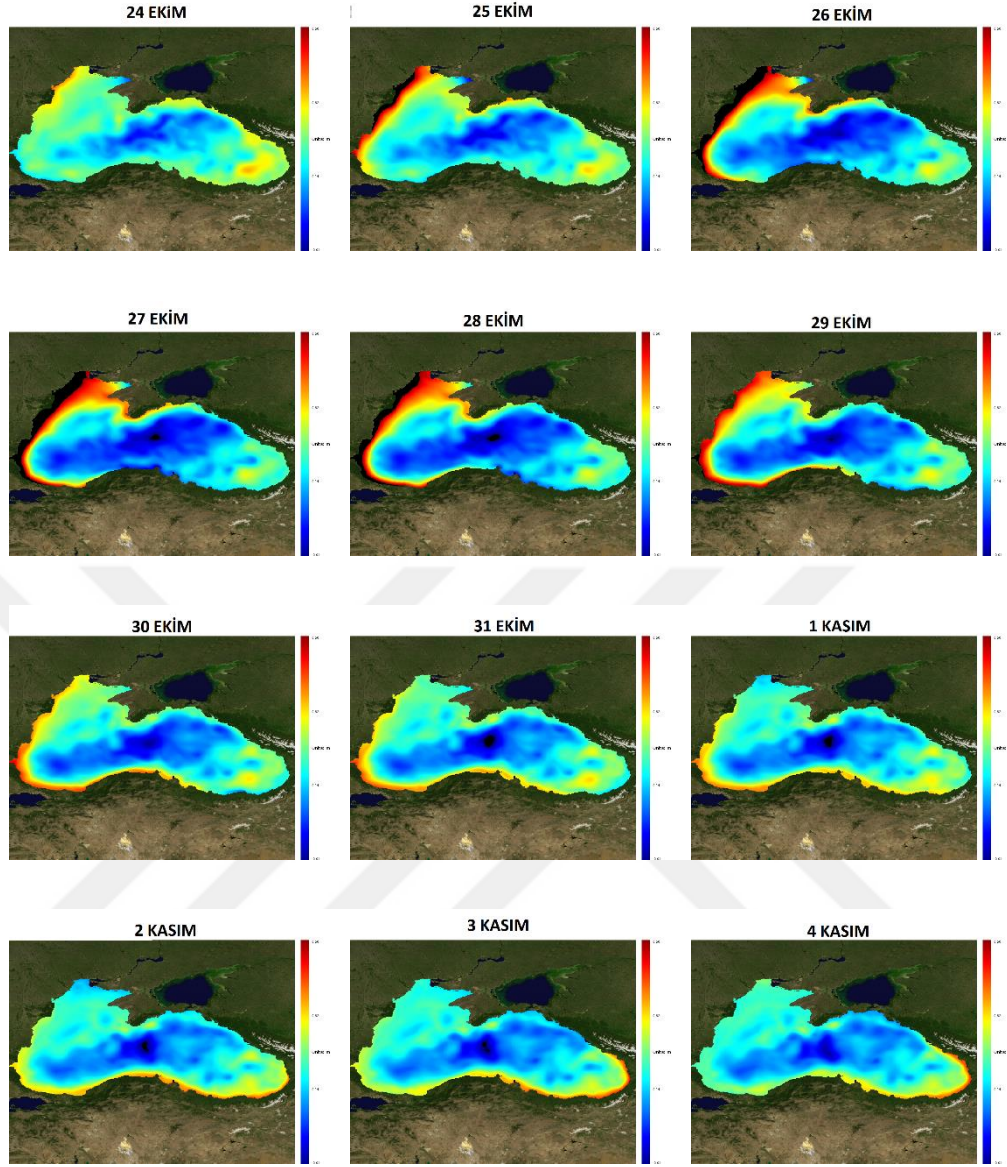
Karadeniz’de CTW ların ilerleme hızlar ve periyotları ile ilgili bulduğumuz bu sonuçları dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırmak için, Tablo 4.1 de diğer bölgelerde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu tablodan da görüleceği üzere genel de CTW ların ilerleme hızları 2-4 m/s arasında değişmektedir ve bu da bizim elde ettiğimiz sonuçlarla uyumludur.

Tablo 4.1 Farklı çalışmalarda bulunan örnekler

<i>Zaman</i>	<i>Hız</i>	<i>Konum</i>	<i>Referans</i>
2002	2,7 m/s	Meksika Batı Kıyıları	Zamudio[2002]
1982	2-3 m/s	Peru Kıyıları	Romea[1982]
2010	2,1 - 3,6 m/s	Avusturalya kıyıları	Maiwa[2010]
2000	1,7 - 3 m/s	Japonya Kıyıları	Kitade[2000]
2017	2,3 - 2,7 m/s	Güney Karadeniz	Bu çalışma

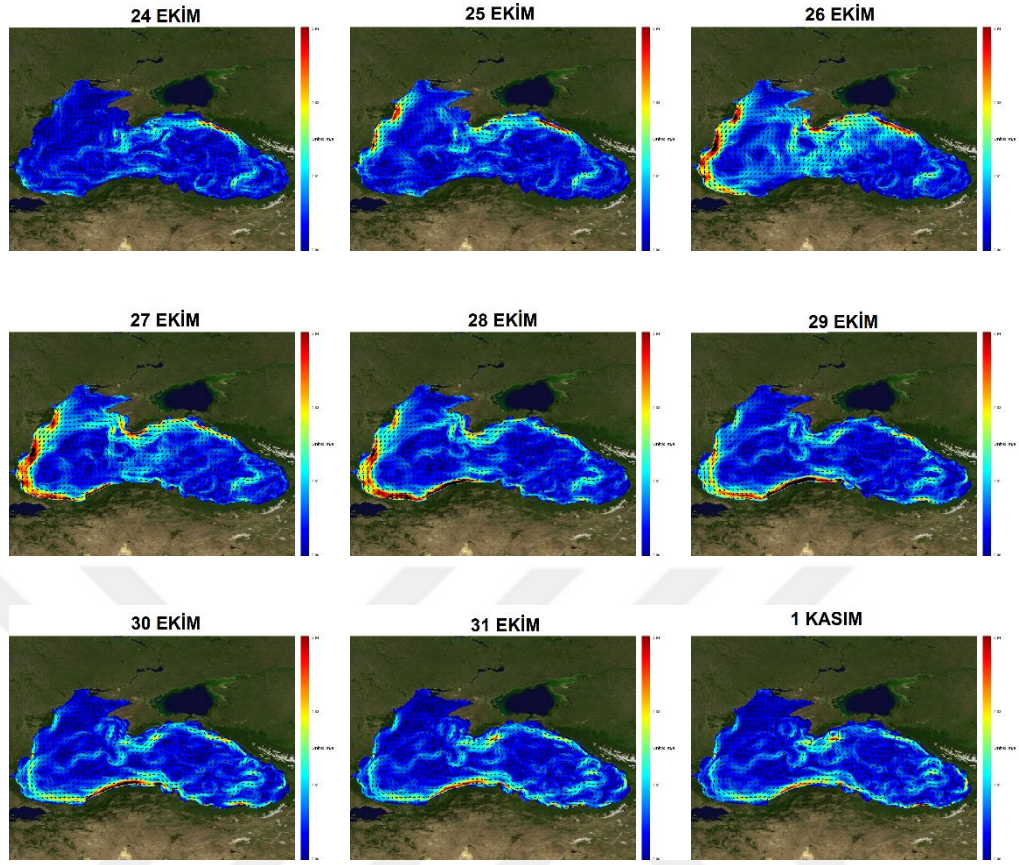
Daha önce kıyılarımızda CTW varlığına dair herhangi bir yayının olmaması bu çalışmanın önemini artırmaktadır. Karadeniz de yapılan birçok tartışmaya rağmen, Karadeniz oşinografisi için büyük önem arz eden soğuk ara suların (CIW) ve Sınır akıntısı (Rım Current) oluşum mekanizmaları net açıklayan bir teori ortaya konulamamıştır. Bu çalışmada varlıklarını tespit ettiğimiz CTW lerin bu iki olayın oluşum nedenlerini açıklamaya yardımcı olacağını düşünüyoruz. Karadeniz’de uzun mesafeler alabilen CTW lerin, Karadeniz’in kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerinde etkisi olacaktır.

Copernicus (Marine environment monitoring service) üzerinden alınan Karadeniz deniz yüzey seviyesi modellerini incelendiğinde; batı Karadeniz kıyılarında başlayan su yığılması doğu yönünde kıyı boyunca ilerlemeye başlamıştır. Dolaşan suyun Türkiye kıyılarında 20-30 cm lik yüksekliğe neden olduğu model üzerinden anlaşılmaktadır. Model verileri ile TUDES üzerinden alınan veriler ile karşılaştırıldığında model ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu model bize dalganın tüm Karadeniz’de yayılımı konusunda bilgi vermektedir. Oluşan dalganın özelliklerini kaybetmen tüm Karadeniz’i dolaştığı görülmektedir.



Şekil 4.1 2014 Eylül ve Ekim My Ocean üzerinden alınan model verilerine ait deniz seviye ölçümleri

Şekil 4.1 deki deniz seviyesi ile aynı günlerde elde edilen akıntı model sonuçları Şekil 4.2 de verilmiştir. Akıntı modeli sonuçları incelendiğinde, dalga oluşumu takiben yaklaşık 1 m/s lik yüzey akıntısı meydana gelmiş kıyı boyunca ilerlemiştir. Buradan, Karadeniz kıyı akıntısının (Rim current) oluşum mekanizmalarında birinin oluşan CTW ler olduğu söylenebilir.



Şekil 4.2 Eylül ve Ekim My Ocean model verilerine ait akıntı ölçümleri

KAYNAKLAR

- Adams, J., & Buchwald, V. (1969). The Generation of Continental Shelf Waves. *J.Fluid Mechanics*, 35, 815-826
- Brink, K. H. (1982). A comparison of long coastal trapped wave theory with observations off Peru, *J. Phys. Oceanography*, 12, 897-913.
- Brink, K. H. (1991). Coastal-trapped waves and wind-driven currents over the continental shelf, *Annu. Rev. Fluid Mechanics*, 23, 389-412.
- Brink, K. H. (2006). Coastal-trapped waves with finite bottom friction, *Dyn. Atmos.Oceans*, 41, 172–190.
- Brody, L. (1980). Regional Forecasting Aids for Mediterran Basin, Handbook for Forecasters in the Mediterranean, *Naval Evironmental Prediction Research Facility, Monterey*, 80, 178
- Emery, W. J., & Thomson, R. E. (2004). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Elseivier, New York
- Flores, R. (2014). Evidence of inertially generated coastal-trapped waves in the eastern tropical Pacific *Journal Of Geophysical Research Oceans*, 84, 3121-3133
- Gill, A. E. (1982). *Atmosphere-ocean dynamics*, London
- Gill, A. E, & Schumann, H. (1974). The generation of long shelf waves by the wind, *J. Phys. Oceanography*, 4, 83–90
- Grinsted, A, & Moorel, J. C. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series *Nonlinear Processes in Geophysics* 11, 561–566
- Ivanov, V. A., & Yankovsky, A. E. (1993). Local Dynamics experiment in the shelf zone Southern Crimean coast, *Okenologiya*, 33, 49-56

- Kıtade, Y. (2000). Coastal-Trapped Waves with Several-Day Period Caused by Wind along the Southeast Coast of Honshu, Japan *Journal of Oceanography*, 56, 727-744
- LeBlond, P. H. , & Mysak, L. A. (1978). *Waves in the Ocean*, Elsevier Oceanography Series, New York
- Mysak, L. A. (1967). On the theory of continental shelf waves, *J. Mar. Res.*, 25, 205-227
- Mysak, L. A. (1980). Recent Advances in Shelf Wave Dynamics. *Rev. of Geophys.*, 18, 211-241
- Oğuz, T. (1993). Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea *Deep Sea Research: Oceanographic Research Papers*, 8, 1597-1612
- Oğuz T., & Beşiktepe S. (1999). Observations on The Rim Current Structure, CIW formation and trasport in western Black Sea. *Deep Sea Res*, 10, 1733-1751
- Özsoy, E, & Ünlüata, Ü. (1997). Oceanography of black Sea *A Review of Some Recent Results, Erarth Sci. Rev*, 42, 231-272
- Özsoy, E., & Beşiktepe, Ş. (1995). Sources Of Double Diffuse Convection and Impacts on Mixing in the Black Sea, *American Geophysical Union*, 15, 261-274
- Reiter, E. (1975). Handbook for Forecasters in Mediterian, Weather Phenomea of the Mediterian Basin, *Environmental Prediction Research Facility*, 80, 5-75
- Rivas, D. (2017). Wind-driven coastal-trapped waves off southern Tamaulipas and northern Veracruz, western Gulf of Mexico, during winter 2012–2013 *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-10
- Ross, D., (1974) Bathymetry and Microtopography of Black Sea, *The Black Sea – Geology, Chemistry, And Biology*, 20, 1-10
- Tomczak, M. (1998). *Shelf and Coastal Oceanography*. 9 Kasım 1998
<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/ShelfCoast/index.html>

Trembanis, A., & Nebel, S.(2011). Bedforms, coastal-trapped waves, and scour process observations from the continental shelf of the northern Black Sea
Geological Society of America, 10, 472-473

