

ARAŞTIRMA MAKALESİ

RESEARCH ARTICLE

İzmir Körfezi'nin fiziksel oşinografisine genel bakış

An overview on İzmir Bay physical oceanography

Canan Eronat

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 35340, İnciraltı, İzmir
canan.ozturk@deu.edu.tr

Received date: 17.08.2016

Accepted date: 31.10.2016

How to cite this paper:

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

Öz: İzmir Körfezi'nde Fiziksel Oşinografi çalışmaları 1988 yılından bu yana düzenli olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada kış ve yaz mevsimlerini temsil eden Şubat ve Temmuz 2011 verileri incelenmiştir. Deniz suyu fiziksel değişkenlerinden sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk dağılımları bakımından, Körfez'de kış döneminde dikeyde homojen bir su kolonu bulunurken yaz döneminde iki tabakalı bir yapı vardır. Yüzey ve alt tabaka arasındaki sıcaklık farkı 10°C'yi, termoklin derinliği 20 m'yi bulmuştur. Körfezdeki mevcut su tipleri olan Ege Denizi suyu (ASW), İzmir Körfezi Suyu (IBW) ve İzmir İç Körfez Suyu (IBIW)'nun yanısıra 2011 yılı T-S diyagramında 39 psu tuzluluk değerine yaklaşan kavis ile Levantin ara tabaka suyu (LIW) da tespit edilmiştir. İzmir Körfezinde kış mevsiminde kuzey ve güneydoğu, yaz mevsiminde kuzey rüzgarı hakimdir. Baskın rüzgar yönleri dikkate alınarak yapılan KILLWORTH Ocean General Circulation Model (OGCM) ile mevsimsel akıntı desenleri bulunmuştur. Döngüler bakımından, kuzey ile güneydoğu rüzgarı karşılaştırılırsa, oluşan tüm hareketliliklerin yönlerinin değiştiği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: İzmir Körfezi, deniz suyu fiziksel özellikleri, akıntı sistemi

Abstract: Physical Oceanography studies in İzmir Bay have been regularly carried out since 1988. In this study, February and July 2011 data which representing the winter and summer seasons were analyzed. In terms of the physical variables -sea water temperature, salinity and density distribution, a homogeneous vertical water column was found during the winter period in the Bay, and a two-layer structure in the summer period. Temperature difference between the surface and the bottom is 10°C, and the thermocline depth reaches to 20 m. Types of water existing in the Bay are Aegean Sea Water (ASW), İzmir Bay Water (IBW), İzmir Inner Bay Water (IBIW) and Levantine Intermediate Water (LIW) with salinity 39 psu detected in 2011 T-S diagram. In the İzmir Bay, the prevailing wind directions are north and southeast in winter, and north in summer. By using KILLWORTH Ocean General Circulation Model (OGCM) with the prevailing wind directions, the seasonal flow patterns have been found. After comparison the model results in case of southeast and in case of north wind, it is found that the direction of evolving recirculation patterns change sign in the Bay.

Keywords: İzmir Bay, physical properties of sea water, current system

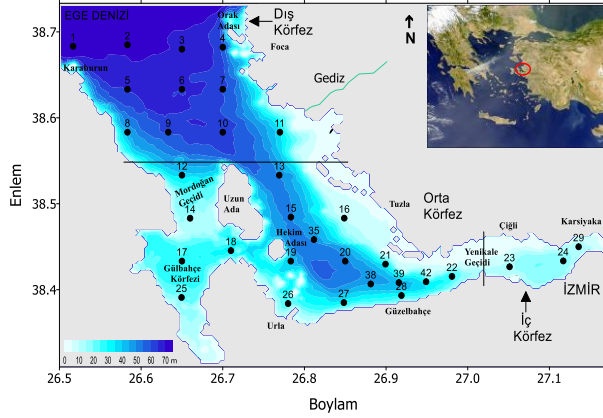
GİRİŞ

İzmir Körfezi, Anadolu yarımadasının batı sahilinde yer almakta olup kuzey sınırından Ege Denizi'ne bağlanmaktadır (Şekil 1). "L" şeklindeki körfezin batı bölümü 20 km genişliğinde, 40 km uzunluğunda, güney bölümü ise 5-7 km genişliğinde ve 24 km uzunluğundadır. Körfez yüzey alanı ~ 670 km²'dir. İzmir körfezi, oldukça yoğun nüfuslu bir yerleşimle çevrelenmiş olduğu için hızla büyüyen kirlilik problemi nedeniyle yıllar boyunca ilgi odağı olmuştur. İzmir Körfezini bu durumdan kurtarmak için yerel yönetim tarafından yapılan İzmir Büyük Kanal Projesinin faaliyete geçmesiyle meydana gelen iyileşme süreçleri ve mevcut durumu, İzmir Körfezi'nde 1988 yılından bu yana R/V K.Piri Reis ile düzenli olarak sürdürülen deniz çalışmaları ile de çok yönlü araştırılmaktadır.

İzmir Körfezi, fiziksel karakteristikleri temel alınarak üç bölgede incelenmektedir: Dış Körfez, Orta Körfez ve İç Körfez (Şekil 1). Dış Körfez'in Ege Denizi'ne yakın kısmının derinliği 70 m'dir. Bu derinlik iç körfeze doğru 10 m'ye düşmektedir.

İzmir Körfezi'nin batı kıyısı ile Uzunada arasında bulunan Mordoğan Geçidi'nin eşik derinliği sadece 14 m'dir. Bir diğer önemli geçit, İç Körfez ile Orta Körfez arasında bulunan Yenikale Geçidi'dir. Yenikale Geçidi'nin iki tarafı arasında suyun fiziksel ve kimyasal karakteristikleri değişkendir.

İzmir Körfezi kış mevsiminde zayıf tabakalaşma ve yaz mevsiminde güçlü tabakalaşma ile sınıflandırılmıştır. Nisan ve Ekim ise yaz ve kış ayları arasında geçiş aylarıdır (Sayın vd., 2006). Sıcaklık değerleri kış mevsiminde Dış Körfez'den İç Körfez'e doğru azalırken, yaz mevsiminde bunun tam tersidir (Sayın, 2003). İzmir Körfezi'nde üç su kütlesi vardır (Sayın vd., 2006). Bunlardan ikisi, Ege Denizi Suyu (Aegean Sea Water, ASW) ve İzmir İç Körfez Suyu (İzmir Bay Inner Water, IBIW), net olarak ayırt edilebilen su tipleridir. Üçüncüsü olan İzmir Körfezi Suyu (İzmir Bay Water, IBW) ise bu iki su kütlesi arasında oluşmuş ve bazı yöresel etkiler altındadır.



Şekil 1. İzmir Körfezi batimetrisi, bölümleri ve ölçüm istasyonlarının konumu

Figure 1. İzmir Bay bathymetry, sections and location of research stations

Körfez'de genel akıntı siklonik karakterdedir. Ege Denizi'nden Körfeze giren su özellikle kış aylarında Mordoğan Geçidi'nden geçerek Gülbahçeye ve güney kıyıları takip ederek İç Körfez'e yönelir. Körfezin doğu kıyısı boyunca ilerleyen akıntılar Foça açıklarından alt akıntı olarak Körfezi terk eder (Sayın, 2003; Sayın vd., 2006). Bu akıntılar genellikle rüzgar ve termohalin kuvvetlerin güdümünde oluşmaktadır (Pazı, 2000).

Çok soğuk geçen kış dönemlerinde derin su konveksiyon sürecinin bir sonucu olarak oluşan yoğun Ege Denizi suları, özellikle 1993 yılında Grit Boğazlarındaki siller üzerinden Akdeniz'e akmıştır. Akdeniz'e akan Ege Denizi dip suyuna karşılık, su bütçesini dengelemek üzere, Akdeniz yüzey suları (Levant Yüzey ve Orta Tabaka Suları) daha yoğun bir şekilde Doğu Ege Denizi kıyıları boyunca Ege Denizi'ne girmiştir. 90'lı yıllar boyunca EMT (Doğu Akdeniz Transiyenti) diye adlandırılan bu olayla birlikte Akdeniz'den gelen sular Ege Denizi'ni iki defa dolduracak miktarda olup kuzey Ege'ye kadar olan büyük bir bölgenin su özelliklerini etkilemiştir. Akdeniz'in sıcak ve tuzlu suları İzmir Körfezi'nde de zaman zaman görülürler. Bu sular, Ege Denizi'nde olduğu gibi soğuk geçen Kış dönemlerindeki konveksiyon süreçleri ile birlikte İzmir Körfezi'nde yoğunluk seviyelerinin yükselmesine neden olur. İzmir Körfezi yoğunluk seviyelerindeki bu değişim, daha büyük ölçekte Akdeniz ve Ege Denizinde olan önemli süreçlerden biri olan EMT'yi göstermesi açısından önemlidir. Körfezde bulunan su özelliklerinin zamansal değişimini araştırmış olan Eronat (2011) ve Eronat ve Sayın (2014) Ege Denizi için önemli fiziksel süreçlerden biri olan yoğun su oluşumunda İzmir Körfezinin yerini vurgulamıştır.

Bu çalışmada İzmir Körfezi Fiziksel Oşinografi'si yaz ve kış mevsimi için ayrıntılı olarak araştırılmış, deniz suyu fiziksel parametrelerinden sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk dağılımları irdelenerek, mevsimsel tabakalaşma ve mevcut su tipleri saptanmıştır. Ayrıca baskın rüzgar yönleri dikkate alınarak matematik model ile İzmir Körfezi'nin genel akıntı sistemi açıklanmıştır.

MATERYAL VE METOT

İzmir Körfezi Fiziksel Oşinografi çalışmaları kapsamında, D.E.Ü. Deniz Bilimleri Teknolojisi Enstitüsü'ne bağlı K.Piri Reis araştırma gemisinde bulunan SBE 911plus CTD ve Seacat 19 Plus sistemleri ile tüm istasyonlarda fiziksel değişkenler ölçülmekte ve suyun fiziksel özellikleri araştırılmaktadır (Şekil 1). Seacat 19 Plus sistemi özellikle kıyı istasyonlarında kullanılmaktadır. Sensörlerin kalibrasyonu her yıl üretici firmaya gönderilerek yaptırılmaktadır. CTD sistemi birincil olarak su basıncı, sıcaklık ve elektrik iletkenliğini ölçmektedir (Tablo 1), ayrıca üzerine takılan ek sensörler yardımıyla ışık geçirgenliği, pH ve sudaki çözünmüş oksijen miktarı gibi verileri de ölçülebilmektedir. Ayrıca bu sistem kendi programları ile derinlik, tuzluluk, yoğunluk, potansiyel sıcaklık, potansiyel yoğunluk, sesin denizdeki hızı gibi diğer fiziksel verileri de hesaplayabilmektedir.

Tablo 1. CTD Sea-Bird SBE 9/11 sistemi sensör özellikleri

Table 1. CTD Sea-Bird SBE 9/11 system sensor properties

Veriler	Ölçüm aralığı	Doğruluk	Çözünürlük
Basınç	0 - 3000 psi	% 0.015 tam skala	% 0.001 tam skala
Sıcaklık	-5 - +35°C	±0.001°C	0.0002°C
Elektrik Geçirgenliği	0 - 7 S/m	±0.0003 S/m	0.00004 S/m

Bu çalışmada fiziksel değişkenlerin deniz yüzeyi dağılımlarını incelemek için yüzey eşdeğer eğrileri çizilmiş, su kolonu içerisindeki derinlik boyunca değişimleri incelemek için ise dikey profiller ve kesitler kullanılmıştır. Fiziksel verilerin hangi değerler arasında yoğunlaştığı Histogram çizilerek belirlenmiş ve Körfezde bulunan su tiplerini tespit edebilmek için T-S Diagramlarından faydalanılmıştır.

Kıyısız bölgelerde kıyı akıntılarının oluşmasında en önemli etkenin rüzgar olması nedeniyle İzmir Körfezi için rüzgar verilerinin işlenmesine önem verilmiştir. Rüzgar verileri Çiğli Meteoroloji İstasyonundan elde edilmektedir. Rüzgar verilerinin analizi rüzgar şiddeti ve yönünün değişiminin gösterilmesi ile yapılmış, baskın rüzgar yönü ve şiddeti de rüzgar gülleri çizilerek bulunmuştur.

İzmir Körfezi genel akıntı desenini belirlemek için yapılan modelleme çalışmaları kapsamında 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 mekana 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, mekanda 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. Baskın rüzgâr yönünün kullanıldığı çalışmalarda rüzgâr güdümlü akıntı desenleri elde edilmektedir. Model parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Model parametreleri
Table 2. Model parameters

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

BULGULAR

İzmir Körfezi su özellikleri

İzmir Körfezi'nin hidrografisinin belirlenmesinde önemli faktörler şunlardır (Sayın, 2003);

- Deniz atmosfer etkileşimi,
- Ege Denizi ile olan su alış veriş,
- Deniz seviyesindeki değişimler,
- Rüzgâr kuvveti,
- Kış konveksiyon süreci,
- Yoğun buharlaşma,
- Gediz Nehri ve insan kaynaklı tatlı su girdileri.

Fiziksel Oşinografik parametrelerin dağılımı (sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değerleri) mevsimlere ve bölgelere göre değişkendir. Bu yüzden İzmir Körfezinde bulunan suyun karakteristiğini bulmak için mekânda ve zamanda yüksek çözünürlüklü çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, kış ve yaz mevsimlerini temsilen Şubat 2011 ve Temmuz 2011 verileri kullanılmıştır.

Kış döneminde, Körfez'de dikeyde homojen bir su kolonu bulunurken yaz döneminde tabakalı bir yapı vardır (Şekil 2 ve 3). Kış ayında fiziksel değişkenlerin tüm su kolonu boyunca homojen dağılım göstermelerinin başlıca sebebi kış konveksiyonu ve rüzgârın su kolonu boyunca suyu karıştırma

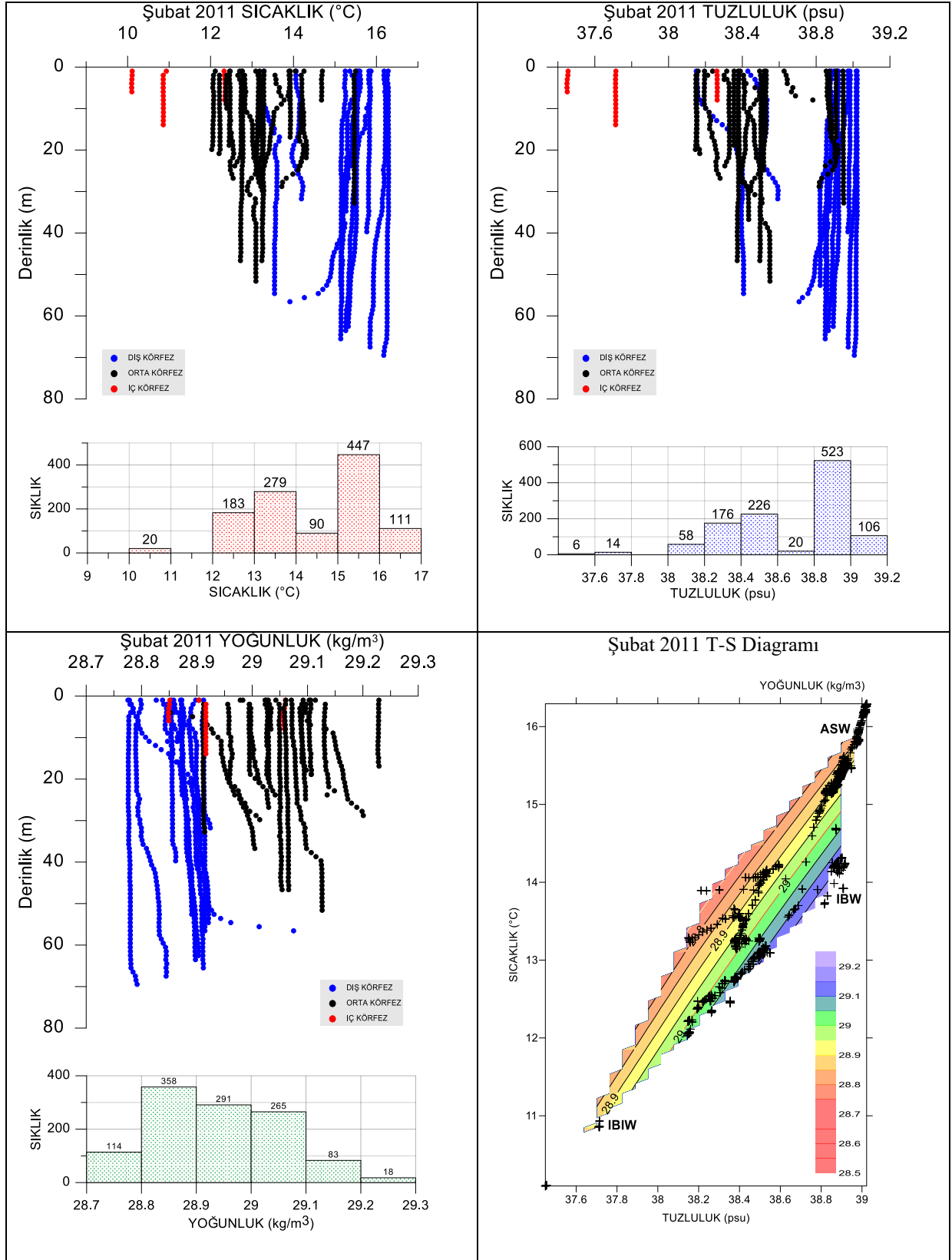
etkisidir. Dikey dağılım grafiklerine bakıldığında sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin 3 grupta toplandığı görülmektedir (Şekil 2).

Yüksek sıcaklık ve tuzluluk değerleri (>15 °C, >38.8 psu) Dış Körfez suyunu, düşük sıcaklık ve tuzluluk değerleri (<12 °C, <38 psu) İç Körfez suyunu temsil etmektedir. Orta Körfez suyu (12 -14.5 °C, 38.1-38.6 psu) İzmir Körfezine ait dinamikler sonucu oluşan özgün bir su tipidir. Bu suyun yoğunluğunun fazla olması, Dış Körfez suyundan soğuk, İç körfez suyundan tuzlu olmasındandır. Gediz Nehri ve tuz üretim alanı olan Tuzla bölgenin yüzey suyunu etkilemektedir.

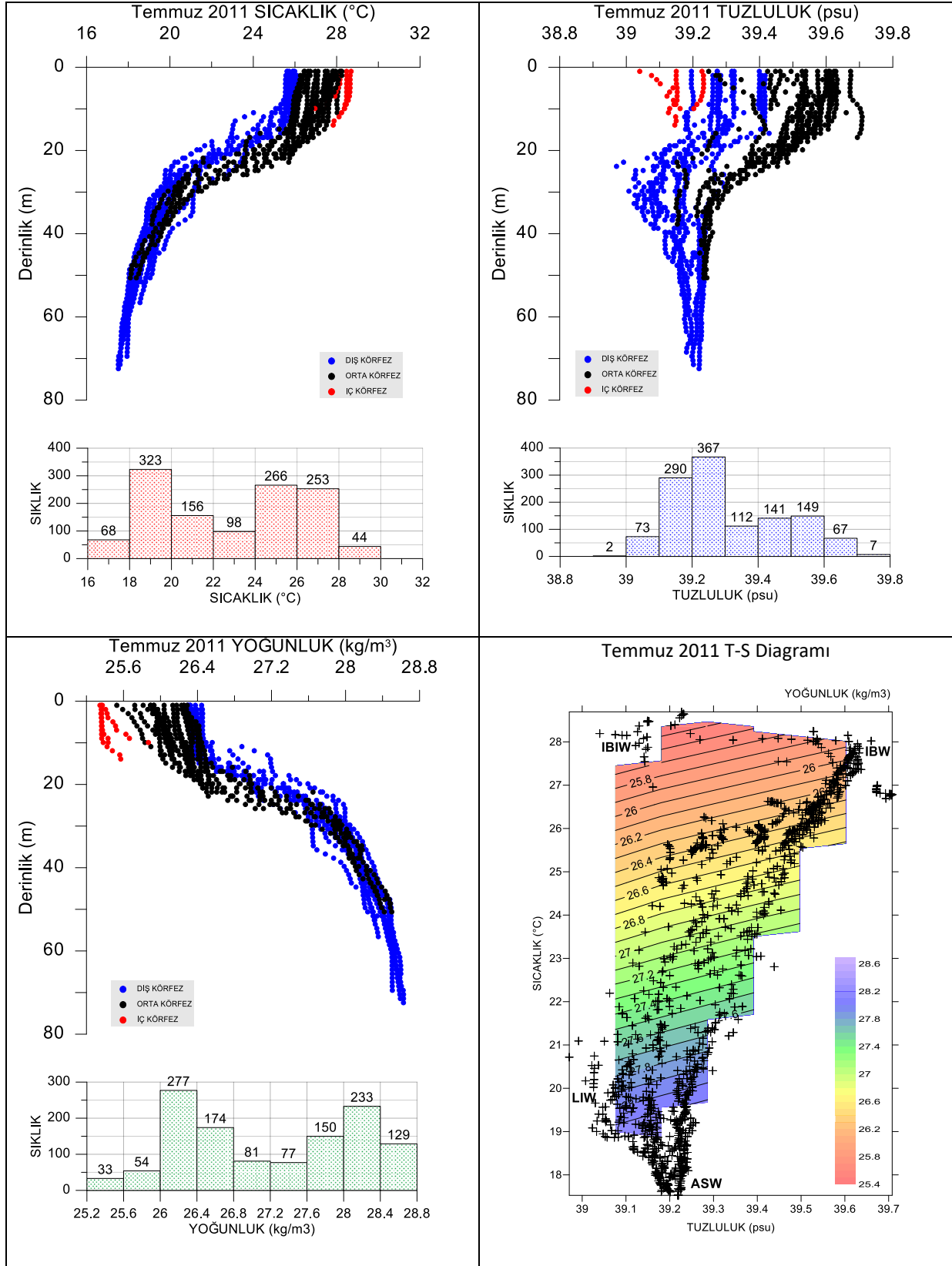
Kış mevsiminde Körfez'deki T-S diagramı Şekil 2'de incelendiğinde, Dış Körfez'de bulunan ASW'nin sıcaklık ve tuzluluk bakımından en sıcak ve en tuzlu olduğu, İç Körfez'de bulunan IBIW'nin ise ASW'nin aksine en soğuk ve en az tuzlu olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsiminde güney doğudan esen baskın rüzgâr nedeni ile Orta Körfezde yukarıya taşınım (upwelling) hareketi oluşmaktadır. IBW'yi diğer su tiplerinden ayıran en önemli özelliği, Orta Körfezdeki bu yukarıya taşınım süreci sonucunda yoğunluğunun daha da artmış olmasıdır.

Fiziksel parametrelerin yaz mevsimi dikey ve histogram dağılımına bakıldığında (Şekil 3), bölgeler arası farklılıklar görülmekle birlikte, daha çok üst (25-28 °, 39-39.7 psu, 25.2-26.4 kg/m³) ve alt (18-19 °, 39.2-39.3 psu, 28-28.8 kg/m³) suyun değerleri şeklinde iki farklı gruplaşma dikkat çekmektedir. Yüzey ve alt tabaka arasındaki sıcaklık farkı 10°C'yi, termoklin (sıcaklığın aniden değiştiği tabaka) derinliği 20 m'yi bulmuştur. İki tabakalı su oluşumunda buharlaşmanın rolü de büyüktür. Buharlaşmayla birlikte üst su tuzluluğu artmış, ağırlaşan yüzey su kütlesi aşağı derinliklere doğru çökmeye başlamıştır. Bu çökme alt ve üst suyun yoğunluklarının birbirlerine eşitlendiği derinliğe kadar devam eder. Haloklin derinliği (tuzluluğun aniden değiştiği tabaka) ve piknoklin derinliği (yoğunluğun aniden değiştiği tabaka) termoklin derinliği ile benzerlik gösterir. Dikey tuzluluk dağılımda 30 m civarında görülen düşük tuzluluk değerine (39 psu) sahip suyun, Akdenizden gelen Levantin ara tabaka suyu (LIW)'nin devamı olduğu tespit edilmiştir.

Yaz mevsiminde Körfez'deki T-S diagramı Şekil 3'de incelendiğinde, İç Körfezin derinliğinin az, su girdisinin fazla olmasından dolayı IBIW yüksek sıcaklık, düşük tuzluluk ve yoğunluk değerlerine sahiptir. Yaz mevsiminde kuzeyden esen baskın rüzgâr nedeni ile Orta Körfezde aşağıya taşınım süreci (downwelling) oluşmaktadır. Bu süreç sırasında civardaki sıcak yüzey suları orta körfezde toplanır, buharlaşma nedeniyle tuzluğu artan IBW su tipi yaz mevsiminde sıcak, tuzlu ve dolayısıyla az yoğundur. Dış Körfez'de bulunan ASW düşük sıcaklığa sahip olması nedeni ile yaz mevsimindeki en yoğun su tipidir. Akdenizden gelen Levantin ara tabaka suyu (LIW) 39 psu tuzluluk değerine yaklaşan kavis ile T-S diagramında görülmektedir. Sıcaklık değerinin beklenenden yüksek (19 °C) olması ise; Akdeniz'den İzmir körfezine kadar, Ege Denizi batı kıyıları boyunca değişime uğrayarak ilerlemesi şeklinde açıklanabilir.



Şekil 2. İzmir Körfezi'nde Şubat 2011 sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk profilleri ve T-S diagramı
Figure 2. Temperature, salinity and density profiles and T-S diagram of İzmir Bay at February 2011



Şekil 3. İzmir Körfezi'nde Temmuz 2011 sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk profilleri ve T-S diagramı
Figure 3. Temperature, salinity and density profiles and T-S diagram of İzmir Bay at July 2011

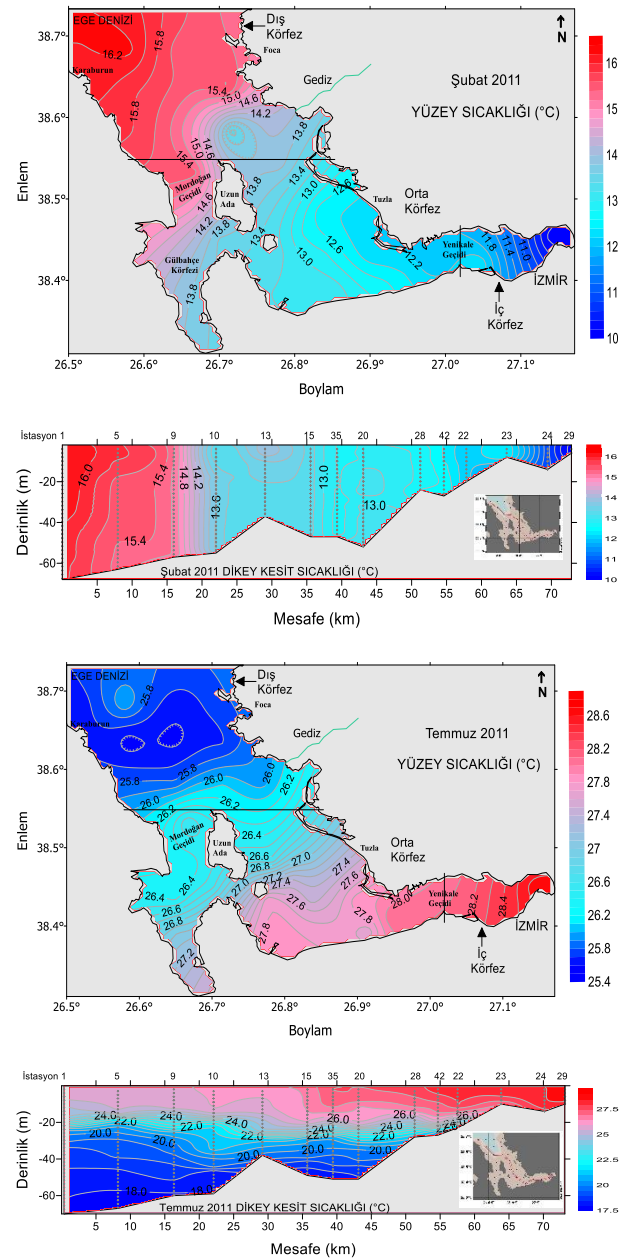
İzmir Körfezi'nde bölgeler arasındaki farklılığı tanımlayabilmek için, fiziksel değişkenlerin yatay ve dikey kesit eş değer eğrileri çizilmiştir (Şekil 4, 5 ve 6). Genel olarak İzmir Körfezi'nde kış mevsiminde tabakalaşma yatay olup yaz mevsiminde hem yatay ve hem de dikey su tabakalaşması görülmektedir. Karaların ısı alma kapasitesinin denizlere göre farklı olması ve İç Körfez'in daha sığ olması, İç Körfez'in kış döneminde Ege Denizi'ne göre daha soğuk, yazın ise daha sıcak bir su kütlesine sahip olmasına nedendir (Şekil 4). İç Körfez hem yaz hem de kış mevsiminde diğer bölgelerden farklı olarak daha fazla bir tabakalaşma gösterir. Kış döneminde tuz bakımından daha zengin olan Ege Denizi suyunun İzmir Körfezi'ne girdiği bölge olan Dış Körfezde yüksek tuzluluk değerleri görülmektedir (Şekil 5). Yaz döneminde ise bunun tam tersi sığ bölgeler buharlaşma sonucunda yüksek tuzluluk ihtiva ederler. Ölçümlerin yapıldığı hem yaz hem de kış döneminde İç Körfez genel Körfez dağılımına uygun olacak şekilde Körfez'in diğer bölgelerine kıyasla tuzluluklar bakımından fakirdir. İç Körfezdeki Liman bölgesine akan insan kaynaklı ve doğal tatlı su girdileri tuzluluğun azalmasında önemli rol oynar. Kış döneminde su sıcaklığı düşük olmasına rağmen İç körfezdeki düşük tuzluluk değerleri, suyun yoğunluğunun da düşük olmasına nedendir (Şekil 6). Buna karşılık Dış Körfezdeki yoğunluğu belirleyen baskın değişken sıcaklıktır. Kış mevsiminde bölgedeki düşük sıcaklık nedeni ile yoğunluk değerleri yüksek, yaz mevsiminde bölgedeki yüksek sıcaklık nedeni ile yoğunluk değerleri düşüktür.

Orta Körfezde (özellikle 15, 35 ve 20 numaralı istasyonlarda) yukarıya taşınım (upwelling) hareketini gösteren soğuk, tuzlu ve yoğun su (13°C , 38.5 psu, 29.1 kg/m^3) kış mevsimi dikey kesit grafiklerinde belirgindir (Şekil 4, 5 ve 6). Yaz mevsiminde ise aynı bölgede aşağı taşınım (downwelling) hareketini gösteren sıcak, tuzlu ve az yoğun su (26.5°C , 39.5 psu, 6.2 kg/m^3) bulunmaktadır. Yaz mevsimi dikey kesit tuzluluk dağılımda, Dış körfezde (özellikle 1, 5 ve 9 numaralı istasyonlarda) düşük tuzluluk değerine (39-39.1 psu) sahip suyun 20-40 m arasından körfeze girip ilerlediği görülebilir. Bu, Akdenizden gelen Levantin ara tabaka suyu (LIW)'nın devamıdır.

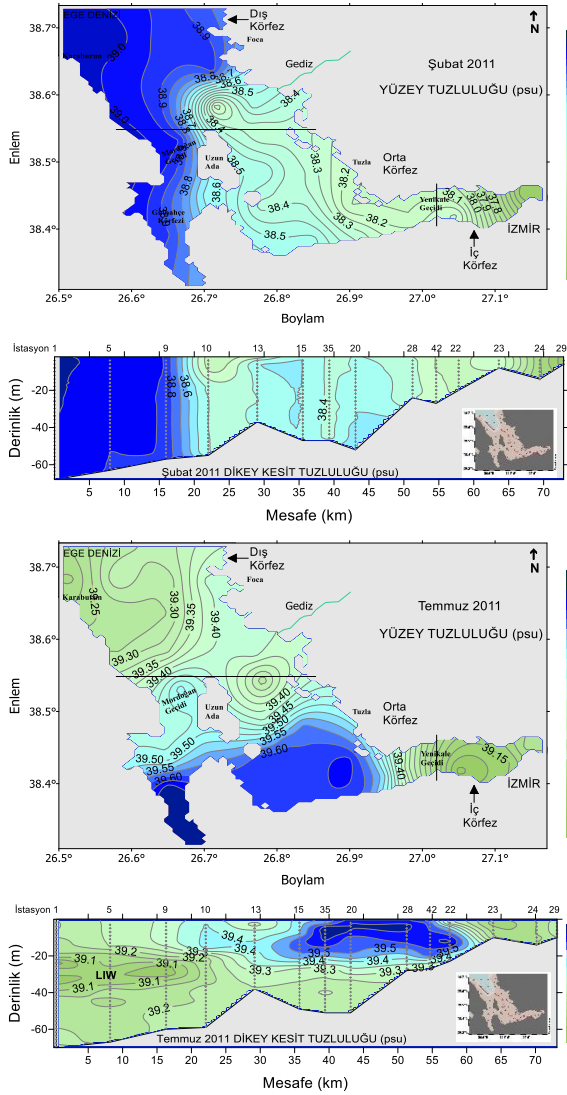
İzmir Körfezi akıntıları

Körfezi etkileyen faktörlerden rüzgar, su seviyesi farkı ve tabakalaşma, su hareketliliği bakımından önemlidir. Rüzgarın zayıf olduğu durumlarda, Körfez'de termohalin dediğimiz sadece sıcaklık ve tuzluluk dolayısı ile yoğunluk farkından meydana gelmiş akıntılar oluşur (Sayın, 2003; Sayın vd., 2006). İzmir körfezinde yoğunluk değerleri baskın olarak sıcaklığın etkisinde olan büyüklüklerdir. Kış mevsimi, Ege Denizi suyunun İzmir Körfezi suyuyla göre daha sıcak olması, daha az yoğun olması anlamına gelmektedir. İki basen arasındaki bu yoğunluk farkı bütün su kolunu boyunca korur ve su kolunu bir bütün olarak hareket eder. Yaz mevsiminde durum farklıdır, Ege Denizi üst tabaka suyu İzmir Körfezi üst tabaka suyundan soğuk olmasından dolayı daha yoğundur. Buna karşılık İzmir Körfezi alt tabaka suyu Ege Denizi alt tabaka suyuna göre daha yoğundur. İzmir Körfezi alt tabaka suyunda yoğunluğu

etkileyen, buharlaşmanın etkisi ile tuzluluğun artmış olmasıdır. Açıklanan bu termohalin yapı Körfezin genel akıntı sistemini belirlemektedir. Buna göre yaz mevsiminde üst tabakadaki yoğun Ege Denizi suyu Körfez'e doğru hareketlenirken alt tabakadaki Körfez suyu Ege Denizi'ne doğru yönelir. Kış mevsiminde bir bütün olarak hareket eden su kolunu Karaburun açıklarından Körfeze girdikten sonra siklonik karakterde tüm baseni dolaşarak Foça açıklarından Körfezi terk eder. Rüzgarın zayıf olduğu durumlarda oluşan bu genel sirkülasyon desenleri, rüzgarın belli bir yönden uzun zaman esmesi durumunda rüzgar güdümli bir akıntıya dönüşür.



Şekil 4. İzmir Körfezi yüzey ve dikey kesit sıcaklığı dağılımı
Figure 4. Distribution of surface and vertical cross-sectional temperature of İzmir Bay

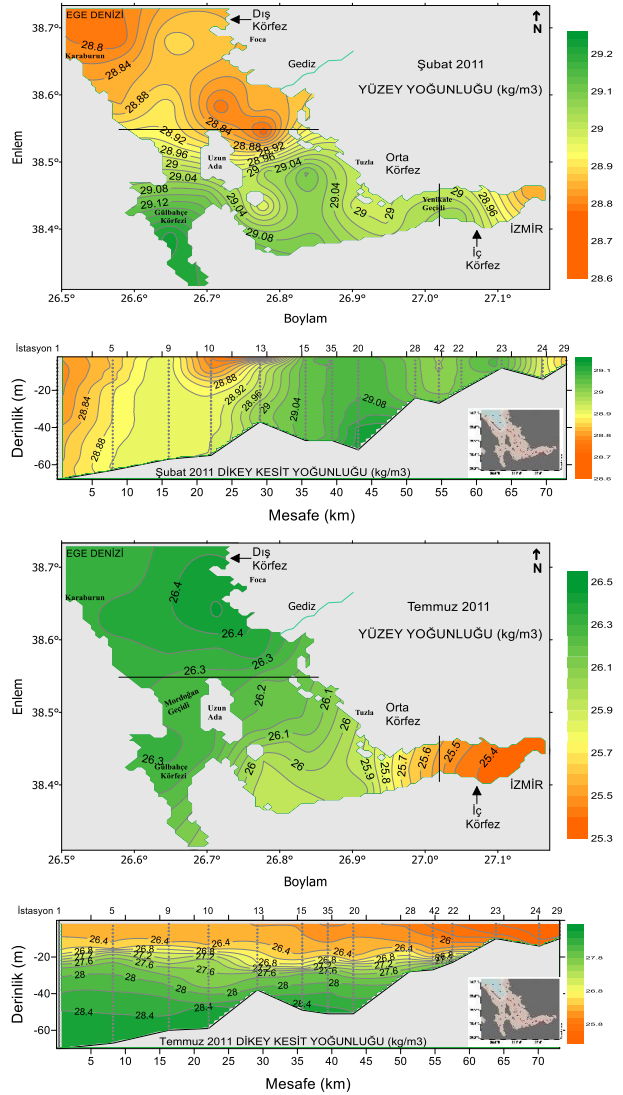


Şekil 5. İzmir Körfezi yüzey ve dikey kesit tuzluluğu dağılımı
Figure 5. Surface and vertical section salinity distribution of İzmir Bay

İzmir Körfezi için Çiğli Meteoroloji İstasyonu 1993-2003 yılları arası rüzgâr verilerine bakıldığında baskın rüzgâr yönünün kuzeyli rüzgârlar olduğu görülür (Şekil 7). Ortalama rüzgâr hızı ~3 m/s'dir. Mevsimsel analize göre de kış mevsiminde kuzey ve güneydoğu, yaz mevsiminde kuzey rüzgârı hakimdir.

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

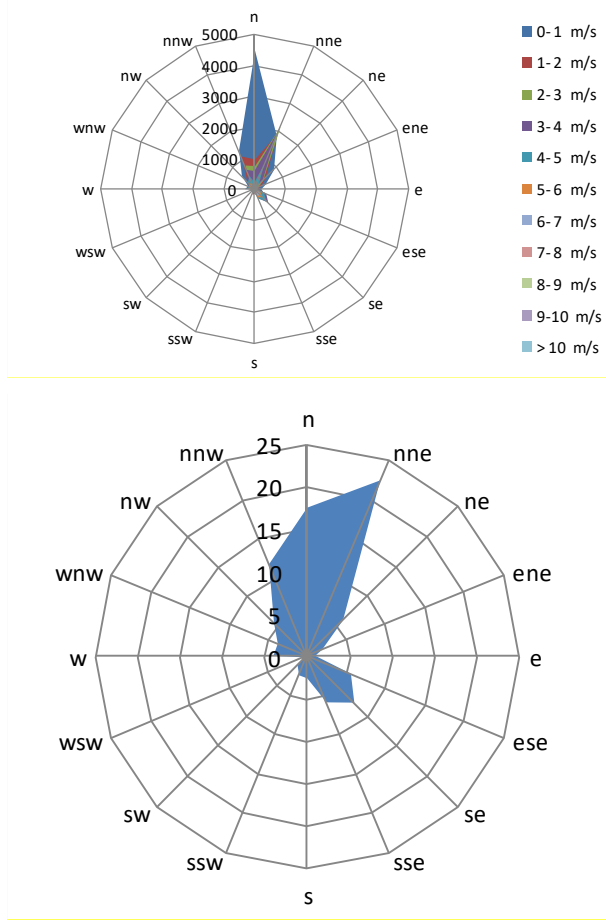
Model çalışmasında tabakalaşma önemli olmasına rağmen, rüzgârın kuvvetli olduğu zamanlarda yaz ve kış tabakalaşmasının önemi azalmaktadır. Körfezin tüm bölgeleri esen rüzgârın etkisinde kalır.



Şekil 6. İzmir Körfezi yüzey ve dikey kesit yoğunluğu dağılımı
Figure 6. Distribution of surface and vertical section density of İzmir Bay

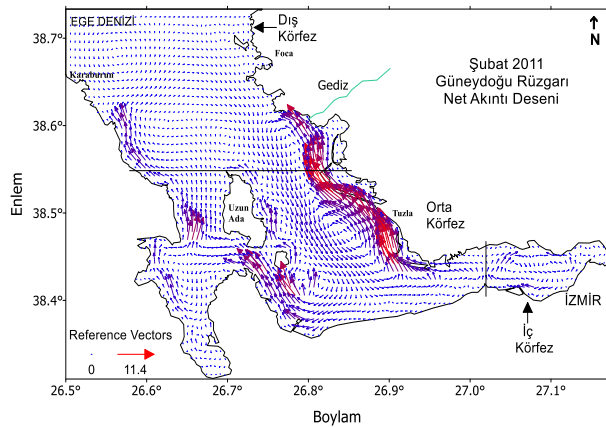
Körfezde genellikle kuzeyli rüzgârlar eser. Baskın kuzey ve kışın sık sık görülen şiddetli güneydoğu rüzgârlarının etkisindeki akıntılar, sirkülasyon modeli yardımıyla ortaya konmuştur.

Güneydoğu rüzgârı ile çalıştırılmış kış mevsimi model sonucunda akıntılar doğu ve batı kıyılarında rüzgârın etkisiyle kuzeye doğru yönelmiştir (Şekil 8). Bu iki akıntıyı kompanse edecek şekilde Körfezin ortasında Körfez içine doğru su akışı olmaktadır. Uzunada'nın doğusundaki kuzeye doğru olan kuvvetli kıyı akıntısı nedeniyle, Körfez'in ortasındaki siklonik döngü zayıftır. Siklonik hareketler dipten besin elementlerini yukarıya taşıyabileceği gibi aynı zamanda askıda katı maddeleri de yukarıya doğru hareketlendirirler. Bundan dolayı Güneydoğu rüzgârı etkisindeki Körfez suyu daha bulanık görünür. İç körfezde dipol ve dış körfezde antisiklonik döngü görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 7. Çiğli Meteoroloji İstasyonundan alınan saatlik rüzgar verileri (1993-2003) kullanılarak çizilen rüzgar gülü (üst), rüzgar yönü % dağılımı (alt)

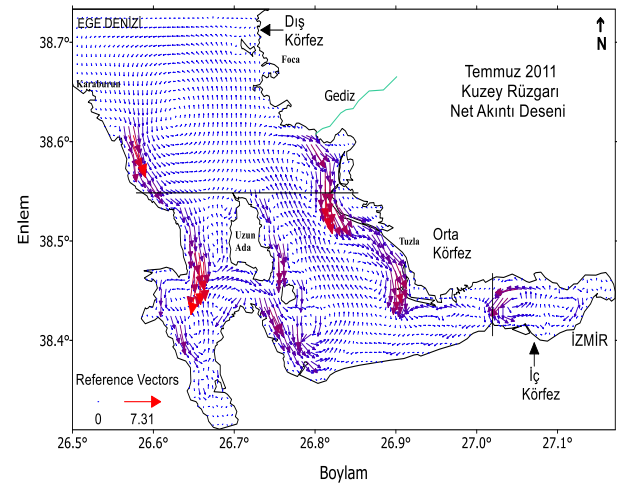
Figure 7. Wind rose (top), wind direction % distribution (bottom) plotted using hourly wind data (1993-2003) taken from Çiğli Meteorological Station



Şekil 8. Güneydoğu rüzgarı etkisindeki İzmir Körfezi sirkülasyon yapısı (Oklar su kolonu boyunca net akıntıyı göstermektedir)

Figure 8. The circulation structure of İzmir Bay affected by the Southeast wind (Arrows show clear current along the water column)

Yaz mevsimi model sonucunda, kuzeyden esen rüzgar Körfez'in her iki kıyısına (doğu ve batı) paralel olacak şekilde derinliğin az olduğu suları rüzgarın estiği yöne doğru hareketlendirir (Şekil 9). Kıyılardaki güneye doğru gelişen bu akıntıların hızları yüksektir. Akıntılarla Körfez'e dolan sular su bütçesini sağlayabilmek için Körfez'in orta yerinden kuzeye doğru kompanse akıntısının doğmasına neden olur. Döngüler güneydoğu rüzgarına göre karşılaştırılırsa, kuzey rüzgarı ile birlikte oluşan tüm hareketliliklerin yönleri değiştiği görülür. Buna göre kuzey rüzgarı ile birlikte orta körfezde antisiklonik, iç körfezde yönü değişmiş dipol ve dış körfezde siklonik döngü görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Kuzey rüzgarı etkisindeki İzmir Körfezi sirkülasyon yapısı (Oklar su kolonu boyunca net akıntıyı göstermektedir)

Figure 9. The circulation structure of İzmir Bay affected by the Northern wind (Arrows show clear current along the water column)

SONUÇ

Bu çalışmada, İzmir Körfezi'nde 1988 yılından bu yana düzenli olarak yapılan seferlerden kış ve yaz mevsimlerini temsil edecek şekilde, Şubat ve Temmuz 2011 Fiziksel Oşinografi verileri (sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk) incelenmiştir. Körfez'de Kış döneminde kış konveksiyonu nedeni ile dikeyde homojen bir su kolonu bulunurken, yaz döneminde mevsimsel tabakalaşma etkisi ile iki tabakalı bir yapı vardır. Yüzey ve alt tabaka arasındaki sıcaklık farkı 10°C'yi, termoklin derinliği 20 m'yi bulmuştur.

İzmir Körfezi'nde tüm mevsimlerde yatay su tabakalaşması görülmektedir. Kış döneminde Dış Körfezde yüksek tuzluluk ve düşük sıcaklık nedeni ile yoğunluk değerleri yüksek, yaz mevsiminde bölgedeki yüksek sıcaklık nedeni ile yoğunluk değerleri düşüktür. İç Körfez ise her mevsim tabakalaşma gösterirken Körfezin diğer bölgelerine kıyasla tuzluluklar bakımından fakirdir. Orta Körfezde kışın yukarıya taşınım (upwelling) hareketi ile birlikte soğuk, tuzlu ve yoğun su, yaz mevsiminde ise aynı bölgede aşağı taşınım (downwelling) hareketi sonucu sıcak, tuzlu ve az yoğun su bulunmaktadır.

Körfezdeki mevcut su tipleri olan Ege Denizi suyu (ASW), İzmir Körfezi Suyu (IBW) ve İzmir İç Körfez Suyu (IBIW)'dir. Kış mevsiminde, Dış Körfez'de bulunan ASW'nin sıcaklık ve tuzluluk bakımından en sıcak ve en tuzlu olduğu, İç Körfez'de bulunan IBIW'nin ise ASW'nin aksine en soğuk ve en az tuzlu olduğu tespit edilmiştir. Orta Körfezde bulunan IBW'yi diğer su tiplerinden ayıran en önemli özelliği yoğunluğunun yüksek olmasıdır. İç Körfezin derinliğinin az olmasından dolayı, yaz mevsiminde IBIW yüksek sıcaklık, düşük tuzluluk ve yoğunluk değerlerine sahiptir. Dış Körfez'de bulunan ASW düşük sıcaklığa sahip olması nedeni ile yaz mevsimindeki en yoğun su tipidir. Bunların yanısıra 39 psu tuzluluk değeri ile Levantin ara tabaka suyu (LIW) da İzmir Körfezinde tespit edilmiştir.

Çiğli Meteoroloji İstasyonu 1993-2003 yılları arası rüzgâr verilerine göre, İzmir Körfezinde kış mevsiminde kuzey ve güneydoğu, yaz mevsiminde kuzey rüzgârı hakimdir. Ortalama rüzgâr hızı ~3 m/s'dir. Rüzgârın zayıf olduğu durumlarda sadece sıcaklık ve tuzluluk dolayısı ile yoğunluk farkından meydana gelmiş termohalin dediğimiz akıntılar, Körfez'de rüzgârın belli bir yönden uzun zaman esmesi durumunda rüzgâr güdümlü bir akıntıya dönüşür. Bu yüzden baskın rüzgâr yönleri dikkate alınarak yapılan matematiksel model ile mevsimsel akıntı desenleri bulunmuştur.

Güneydoğu rüzgârı ile çalıştırılmış kış mevsimi model sonucunda, akıntılar doğu ve batı kıyılarında rüzgârın etkisiyle

kuzeye doğru yönelmiştir. Buna karşılık bu iki akıntıyı kompanse edecek şekilde Körfez içine doğru su akışı olmaktadır. Körfez'in ortasındaki siklonik döngü zayıftır, İç körfezde dipol ve dış körfezde antisiklonik döngü görülmektedir.

Yaz mevsimi model sonucuna göre ise, kuzeyden esen rüzgâr nedeni ile kıyılardaki güneye doğru gelişen yüksek hızlı akıntı, Körfez'in orta yerinden kuzeye doğru kompanse akıntısının doğmasına neden olur. Kuzey rüzgârı ile birlikte orta körfezde antisiklonik, iç körfezde yönü değişmiş dipol ve dış körfezde siklonik döngü görülmektedir. Döngüler bakımından, kuzey ile güneydoğu rüzgârı rüzgârı karşılaştırılırsa, oluşan tüm hareketliliklerin yönlerinin değiştiği görülür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü K. Piri Reis araştırma gemisi ile İzmir Büyükşehir Belediyesi-İZSU tarafından desteklenen "İzmir Körfezi Denizel Ortamında Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik ve Mikrobiyolojik Etki ve Sonuçlarının İzlenmesi" projesi kapsamında toplanmış verilerden faydalanılarak yapılmıştır. Seferlere katılan, emeği geçen herkese ve özellikle desteğini esirgemeyen Erdem SAYIN'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- Eronat, C. (2011). Hydrography of the bays along the eastern coast of the Aegean Sea. Dokuz Eylül Üniversitesi, Ph. D. Thesis, 132p.
- Eronat, C. & 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 Journal of Earth Sciences*, 23:53–66. doi: [10.3906/yer-1307-4](https://doi.org/10.3906/yer-1307-4)
- Haney, R. L. (1971). Surface thermal boundary condition for ocean circulation models. *Journal of Physical Oceanography*, 1: 241–248. doi: [10.1175/1520-0485\(1971\)001<0241:STBCFO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1971)001<0241:STBCFO>2.0.CO;2)
- Pazı, I. (2000). The Current System and Its Effect on the Pollution in İzmir Bay. M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye
- Sayın, E. (2003). Physical Features of the İzmir Bay. *Continental Shelf Research*, 23: 957–970. doi: [10.1016/S0278-4343\(03\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(03)00083-9)
- Sayın, E., Pazı, İ. & Eronat, C. (2006). Investigation of Water Masses in İzmir Bay, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15: 343–372.
- Stevens, D.P. (1990). On open boundary conditions for three dimensional primitive equation ocean circulation models. *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, 51, 103–133. doi: [10.1080/03091929008219853](https://doi.org/10.1080/03091929008219853)
- Orlanski, I. (1976). A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *Journal of Computational Physics*, 21:251–269. doi: [10.1016/0021-9991\(76\)90023-1](https://doi.org/10.1016/0021-9991(76)90023-1)