



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

KARADENİZ'DE GERÇEK ZAMANLI DOLAŞIM VE SOĞUK ARA
ULARININ OLUŞUMUNUN SAYISAL MODELLERLE İNCELENMESİ

2002-177

YDABGA6-186

(1954031)

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences
Researches Grant Group



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

KARADENİZ'DE GERÇEK ZAMANLI DOLAŞIM VE SOĞUK ARA
SULARININ OLUŞUMUNUN SAYISAL MODELLERLE İNCELENMESİ

2002-177
YDABGAG-186
(1954031)

Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve
Çevre Araştırma Grubu

Earth Marine Atmospheric Sciences and
Environmental Researches Grant Group

**KARADENİZ'DE GERÇEK ZAMANLI DOLAŞIM VE SOĞUK ARA SULARININ
OLUŞUMUNUN SAYISAL MODELLERLE İNCELENMESİ**

PROJE NO: YDABÇAG-186 G

DOÇ.DR. ŞÜKRÜ T. BEŞİKTEPE

**MAYIS 2002
ERDEMLİ-İÇEL**

Önsöz

Model çalışmaları ile gözlemleri birleştirmek denizlerin şimdiki durumunu doğru bir şekilde tanımlamak ve gelecek durumunu öngörmek için gereklidir. Bu durum aynı hava tahminlerinde olduğu gibi, geliştirildiği takdirde çok kapsamlı pratik ve askeri amaçlar için kullanılabilen uygulama alanları bulunmaktadır. Günlük hayattaki kullanım alanlarından başlıcası petrol ve atık kirliliğinin yapacağı etki alanının önceden öngörülerek ona göre temizlenme tedbirlerinin alınmasıdır. Askeri amaçlı olarak deniz içindeki deniaaltıları saklanma yerleri olarak bilinen cephe sistemlerinin önceden bilinerek düşman denizaltılarının yerlerinin tesbiti veya kendi denizaltılarımızın saklanabileceği en iyi konumların tesbitidir.

Günümüz deniz tahmin sistemlerindeki ilerlemeler denizlerde doğru ve etkin tahmin yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. Böyle sistemler, gözlemlerin ve dinamiğin matematiksel modellere ölçümlerin özümsemesiyle şimdiki ve gelecekteki durumu belirlerler. Bu çalışmada iki ayrı model Karadeniz'e de uygulanmış ve orta ölçekli akıntı sisteminin dinamiğinin anlaşılabilmesi için kullanılmıştır.

Bu proje kapsamında 1 adet yüksek lisans tezi tamamlanmıştır (Aksu, 1995). Ayrıca proje sonuçlarının bir kısmında uluslararası atıf endeksine giren bir dergide yayımlanmıştır (Beşiktepe ve diğ., 2001). Proje sonuçları 3 ayrı toplantıda da tebliğ olarak sunulmuştur.

TÜBİTAK'unca desteklenen YDABÇAG-186/G nolu bu proje ile Karadeniz tahmin sistemi oluşturulmasına yönelik çalışmaların temeli atılmıştır. TÜBİTAK'ın hem bu çalışmaya hemde daha sonra bu çalışmanın devam ettirilmesi için verdiği destekten ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. Giriş	1
2. Ön Bilgi	2
3. Metod	9
4. Sonuçlar	13
5. Özet ve Tartışma	35

Tablo ve şekil listeleri

Şekil 1. Karadeniz'in konumu ve taban yapısı.

Şekil 2. Üst tabaka genel dolaşımının geçmişte ve yakın zamanda yapılan çalışmaların bir sentezine dayalı ana görünümü. Kesikli çizgiler genel dolaşımın yarı-sürekli yapılarını temsil eder (Oğuz ve diğ., 1993a).

Şekil 3. Batı ve güneybatı Karadeniz'de 9-26 Haziran 1980 döneminde, turbüent hareketlerin gösteren bir dizi CZCS kanal 3 (550 nm) görüntüleri. (Sur ve diğ., 1994).

Şekil 4. Harvard Okyanus Sisteminin şematik gösterimi

Şekil 5. Jeostrofik yüzey akıntılarının Eylül 1991 deki dağılımı

Şekil 6. 100 m. deki dinamik yükseklik anomalilerinin Eylül 1991 deki dağılımı

Şekil 7. MOM kullanılarak düzenlenen diyagnostik model sonucunda elde edilen yüzey akıntıları

Şekil 8. MOM kullanılarak düzenlenen prognostic modelin rüzgarın etkisi olmadan sonbahar 1991 için benzeştirdiği yüzey akıntılarının 1 ay boyunca değişimi (5., 9., 13., 17., 21., 25., 28. günler)

Şekil 9. MOM kullanılarak düzenlenen prognostic modelin rüzgarın etkisi varken sonbahar 1991 için benzeştirdiği yüzey akıntılarının 1 ay boyunca değişimi (5., 9., 13., 17., 21., 25., 28. günler)

Şekil 10. HOPS modelini Karadeniz'de başlatmak için kullanılan Temmuz 1992 yüzey sıcaklık ve tuzluluk dağılımı

Şekil 11. 17-20 Temmuz 1992 arasında Karadeniz'de rüzgar kuvvetinin dağılımı. Bu veri Sivastopol MSIA/URHI tarafından üretilmiştir.

Şekil 12. 10. deki akıntı ve tuzluluğun 20, 25, 30,35,40,45. günlerdeki dağılımı

Şekil 13. Kuzey – batı Karadeniz de yüzey akıntısının modelin 51. gününde dağılımı

Şekil 14. Anadolu kıyısındaki yüzey akıntılarının modelin 25. günündeki dağılımı

Abstract

The Black Sea possesses various physical, chemical and biological oceanographic features which make it distinctively different from other oceans and is the prime example of a large anoxic, saline basin overlying a shallower layer of brackish but oxic and productive water.

Because of the existence of a variety of processes with multi-interactive scales, the Black Sea is an excellent test arena for models. Due to its unique characteristics involving water-salt balances, nearly complete enclosure and limited size it is an ideal basin for studying long-term effects of anthropogenic, synoptic and climatic variability as well as for investigating the shelf open open sea interaction.

The present research interest is to understand the dynamics of the Black Sea circulation using global circulation model. Two model is applied to simulate circulation and hydrography of the Black Sea. The first model is the Modular Ocean Model developed at Geophysical Fluid Dynamics Laboratory of Princeton University and based on Bryan-Cox Model. The second model is the Harvard Ocean Prediction System.

Black Sea, currents, wind driven circulation and mixing, cold intermediate water, convection.

ÖZET

Karadeniz'in sahip olduğu değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik oşinografik özellikler onu diğer denizlerden farklı kılar ve üretken ve sığ tatlı su tabakası altında yer alan büyük anoksik tuzlu tabakalaşma için tek örnektir.

Farklı ölçeklerdeki değişik işlemlerin varlığı Karadeniz'i modeller için mükemmel bir test alanı yapar. Su-tuz dengesi, hemen hemen kapalı olması ve sınırlı büyüklüğü gibi özel karakteristikleri nedeniyle kıyı açık deniz etkileşimi araştırmaları için olduğu kadar karasal, orta ölçekli ve klimatolojik değişimlerin uzun süreli etkilerini de incelemek için ideal bir basendir.

Bu proje ile global dolaşım modeli yardımıyla Karadeniz' in akıntı dinamiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Karadeniz'in hidrografisi ve akıntılarını benzeştirmek için iki model uygulanmıştır. Birinci model Princeton Üniversitesi Geofiziksel Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarında geliştirilen ve Bryan-Cox modeline dayanan Modular Okyanus Modelidir. İkinci model ise Harvard Okyanus Tahmin Sistemidir.

1.Giriş

Karadeniz'in gerçek zamanlı dolaşımının model yardımıyla incelenmesini amaçlayan bu proje ülkemizde yürütülmekte olan deniz çalışmalarından elde edilen bulgularla sayısal modelleri birleştirerek oluşan dinamiksel olayları anlamak ve deniz durumu tahmini için kapasite yaratılmasına yardımcı olması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Model çalışmaları ile gözlemleri birleştirmek denizlerin şimdiki durumunu doğru bir şekilde tanımlamak ve gelecek durumunu öngörmek (predict) için gereklidir. Gözlemler dinamik tahmin modelini başlatmak için kullanılır ve daha sonraki gözlemlerde sürekli olarak modele özüm sendirilerek tahminin zaman içerisinde ilerletilmesi sağlanır. Deniz gözlemleri genelde zor ve pahalıdır. Model sonuçları ile gözlemlerin yönlendirilmesi ve tahmin yapılan bütün alan yerine tahmini etkileyen sinoptik dinamiksel faaliyetlerin gözendiği alt alanların örneklenmesi bu zorluğu ortadan kaldırabilir.

Günümüz deniz tahmin sistemlerindeki ilerlemeler denizlerde doğru ve etkin tahmin yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. Böyle sistemler, gözlemlerin ve dinamiğin matematiksel modellere ölçümlerin özüm senmesiyle şimdiki ve gelecekteki durumu belirlerler

Bir bölgede oluşturulacak olan tahmin kapasitesi bölgesel olayları ve kurulacak tahmin sisteminin tasarlandığı uygulamanın özelliklerini göz önünde bulundurmalıdır. Sistemin hassasiyetinin ve gerçekleştirme kriterleri belirlenmelidir. Böyle bir sistemin kurulması üç aşamada gerçekleştirilir [Robinson *et al.*, 1996a]. Birinci aşama tanımlayıcı veya soruşturma aşamasıdır. Bu aşamada bölgede oluşan olayların ölçekleri, dönüşümler ve etkileşimler tanımlanır ve model bu bilgilere dayanılarak kurulur ve ilgili dinamiği içerdiği tasdik edilir (validate). İkinci aşama dinamiksel aşama olarak adlandırılır.

Dinamiksel modelin uygulandığı bölge için kalibre edildiği aşamadır. Bu aşamada bölgede oluşan olayları modelin ne kadar temsil edebildiği ve sayısal çözümlerin ne kadar doğru olduğu test edilir. Bu kalibrasyon çalışmalarında bölgede daha önce yapılmış çalışmalar ve

toplanmış olan bulgular toplanır. Üçüncü aşama ise öngörü aşaması olup, modelin gerçek zamanlı olarak tahminleri, yüksek kalitede ve modele uygun olarak toplanan bulgulara dayanarak yapmasıdır.

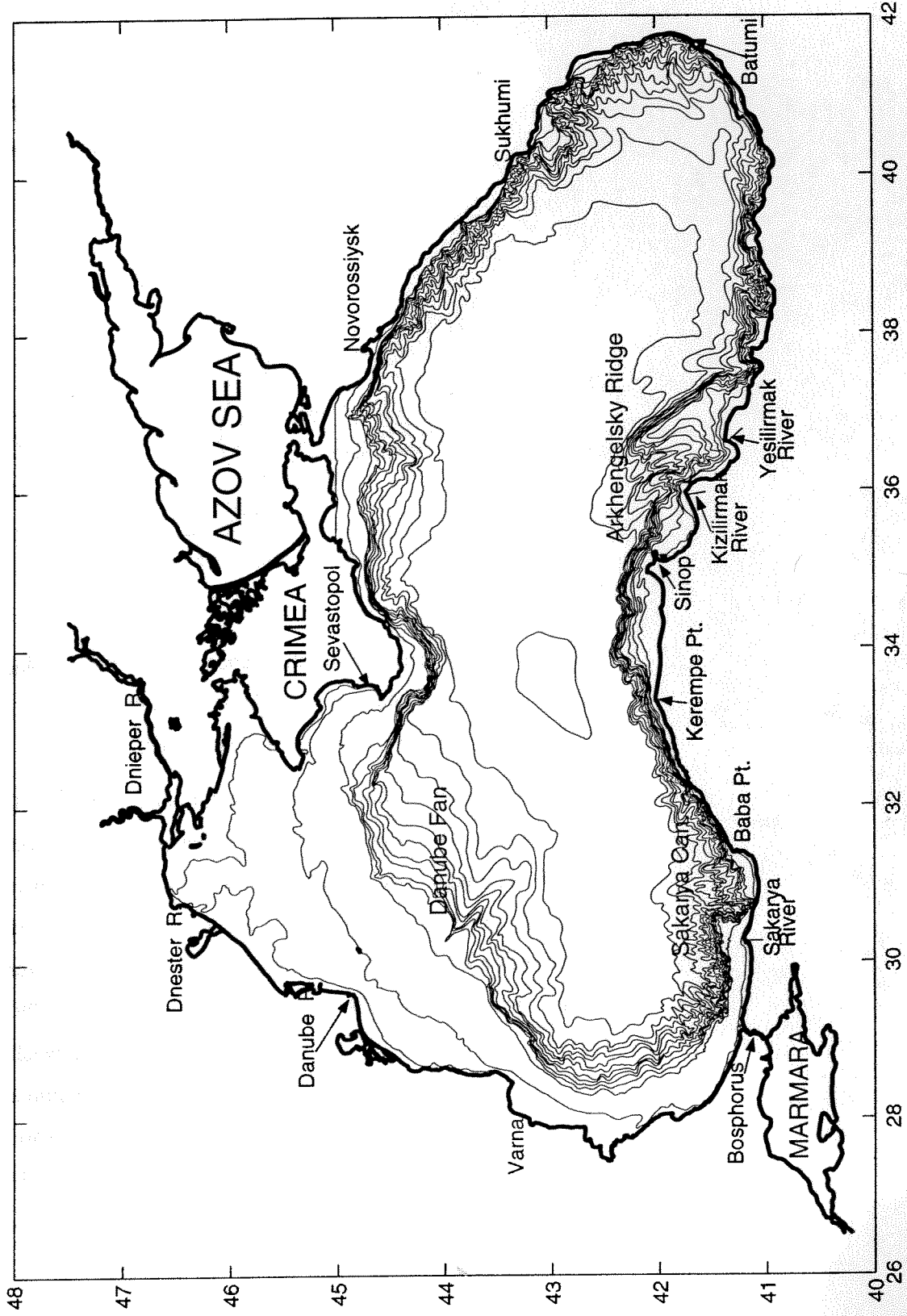
Bu proje çalışması yukarıda açıklanan adımlardan ilk ikisinin Karadeniz için gerçekleştirilmesini içermektedir.

2. Ön Bilgi

Karadeniz'in derin düz tabanı (Şekil 1'deki derinliği 2000 m'den fazla olan abyss bölge) toplam alanın % 60'ından fazlasını kaplar. En derin yer yaklaşık 2300m civarındadır, ortalama derinlik ise 1240m olarak hesaplanmıştır. Abisal düzlük, yine düz olan kıta sahanlığı bölgesinden, eğimi göreceli olarak daha az olan Tuna ve Kerch konileri dışındaki bölgelerde dik bir kıta eğimi ile ayrılmıştır. Derinliği 200m'den az olan kıta sahanlığı bölgesi ise toplam alanın % 25'ini oluşturur. Geniş kuzeybatı kıta sahanlığı (ortalama derinlik ~50 m) ~100m derinliğe kadar Kırım yarımadası ile Karadeniz'in batı kıyısı arasında yer alır ve batı ve güneybatı kıyıları boyunca güneye uzanır. Süreklilik gösteren bu düz kıta sahanlığının eni güneye doğru azalır ve derinliğin 100m den birden 1500m ye arttığı Sakarya Kanyonu'nda aniden sonlanır. Karadeniz'in geri kalan bölümünde kıta sahanlığı, kanyon ve dik kıyısal eğimlerle birbirinden ayrılan, ve Anadolu, Kafkasya ve Kerch kıyılarında kısa uzantılarında nadiren 20km genişliğe ulaşır. Anadolu ve Kafkasya kıyıları boyunca, kıyısal eğimde yer alan bir çok kanyona ek olarak, derinliği 400m'yi aşan Arhangelsky sırtı gibi bariz derin yapılar da Karadeniz çevresinin topoğrafyasını karmaşıktırır.

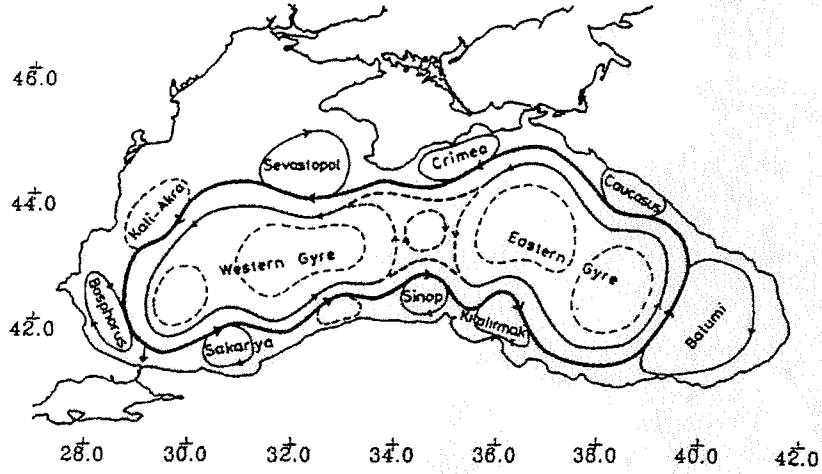
2.1 Karadeniz akıntı sistemi

Basen ölçeğinde ahenkli bir siklonik sınır akıntısı (Önceki Sovyet literatüründe 'Ana Karadeniz Akıntısı' ve Oğuz ve diğ., 1992 ve 1993a'da Sırt Akıntısı: 'Rim Current' şeklinde isimlendirilen) Karadeniz genelindeki dolaşımın ana özelliğidir (Şekil 2). Temel dolaşım sıklıkla, siklonik merkezi kısmı işgal eden kısmi (ikili veya üçlü) hücreleri, perifer boyunca bir dizi antisiklonik eddy'leri ve basenin en doğu köşesinde yer alan yarı-süreklili bir



Şekil 1. Karadeniz'in konumu ve taban yapısı.

antisiklonik dolaşımı (Batumi eddy'si) kuşatır. İki hücreli genel siklonik dolaşım ilk olarak Knipovich (1932) ve Neumann (1942) tarafından tanımlanmış ve dolaşım tanımına daha sonradan değişkenlik konusunda birtakım ilaveler yapılmıştır (Filippov, 1968; Boguslavskiy ve diğ., 1976; Blatov ve diğ., 1984; Eremeev ve diğ., 1992; Trukchev ve Demin, 1992). Klimatolojiye dayalı daha önceki bu çalışmaların ortak eksikliği, sinoptik olmamaları ve örneklemelerin, akıntıların nispeten daha büyük ölçeklerde tanımlanmasını engelleyecek şekilde kaba çözünürlükle yapılmalarıdır.

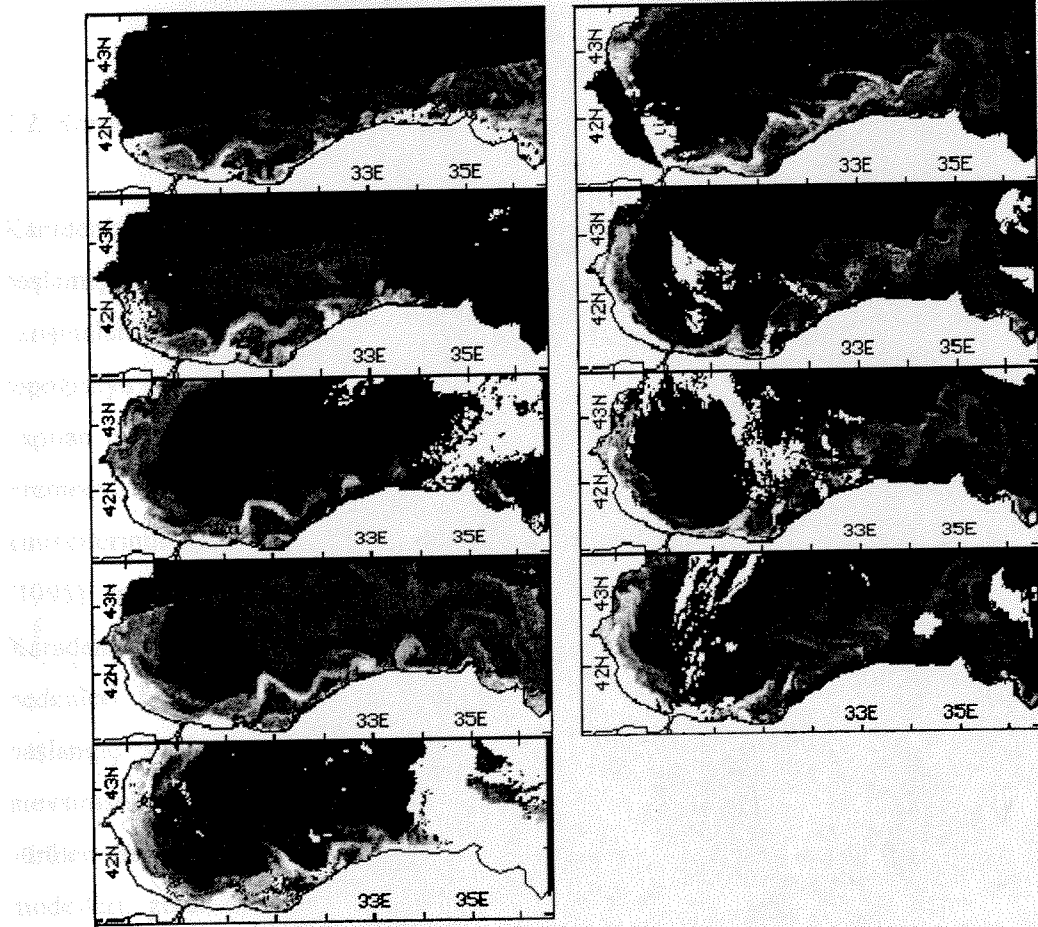


Şekil 2. Üst tabaka genel dolaşımının geçmişte ve yakın zamanda yapılan çalışmaların bir sentezine dayalı ana görünümü. Kesikli çizgiler genel dolaşımın yarı-sürekli yapılarını temsil eder (Oğuz ve diğ., 1993a).

Dolaşım hakkında bugün sahip olduğumuz bilgiler çok yakın zamanda gerçekleştirilen ve tüm baseni kapsayan hemen hemen sinoptik bir dizi oşinografik incelemelerin sonuçlarından elde edilmişlerdir. Bu incelemeler esnasında ve diğer zamanlarda alınan uydu verilerinin analizleri de bu ayrıntılı tanımlamayı geniş ölçüde zenginleştirmiştir. R/V Bilim'in Anadolu kıyıları boyunca 1987-1989 yıllarına ait ayrıntılı ve geniş kapsamlı ilk dizi çalışmaları (Oğuz ve diğ., 1991) ile Eylül 1990'da gerçekleştirilen Sovyet-Türk ortak deneylerinin koordineli ölçümlerine ait ilk veri seti (Oğuz ve diğ., 1993a) şu an elimizde bulunan ve daha önceki tanımlamalardan büyük ölçüde daha karmaşık olan şablonu ortaya çıkarmıştır. İstanbul Boğazının batısında, Sinop'un doğusunda ve Kırım Yarımadasının her iki tarafında, Sırt Akıntısının kıyı tarafına düşecek şekilde çeşitli antisiklonik eddy'ler gözlenmiştir. En dikkat çekici görünüm Basenin güneydoğu köşesindeki yarı-sürekli Batumi antisiklonik girdabıdır.

Daha önceki literatürde yer alan doğu ve batı baseni ikili girdabın varlığı doğrulanamamış, onun yerine Sırt Akıntısı tarafından kuşatılmış orta bölgede bir dizi merkezlerin varlığı tespit edilmiştir. Sırt Akıntısı Kırım'ın doğusunda Kafkas kıyıları yakınlarında iç kısımlara doğru büyük bir yolculuğa çıkar. Eylül 1991 (Oğuz ve diğ., 1993b) ve Temmuz 1992 (Oğuz ve diğ., 1993c) tarihlerindeki koordineli incelemeler sırasında ve halihazırda sürdürülen koordineli seferler esnasında buna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sırt Akıntısı yaklaşık 50km'lik tipik bir ene sahiptir ve ~100-200km'lik bir uzunluk ölçeğinde menderesli bir yapı gösterir. Şekil 2'deki sentetik üst okyanus dolaşımı, perifer üzerinde sırt akıntısı ile kıyıdaki dalgalanmalar arasında bir dizi yarı-kararlı antisiklonik eddy'ler olduğunu ortaya koyar. Bu mendereslenen akıntılar geçici, iletilen yapılaşmalar gibi kalıcı yapılardan ibarettir.

Güneybatı kıyıları boyunca, kararsız yapılar geniş bir uzay ve zaman ölçeğinde yaratılırlar. Sakarya Kanyonunda kıta sahanlığının aniden sonlanması ve taban eğimindeki değişimlerle batı Anadolu kıyıları (Baba, Kerempe ve İnce Burunlar) boyunca kıyı çizgisinin yönelimi aynı kıyı boyunca geçici orta-ölçek aktiviteleri başlatmakta önemlidirler (Sur ve diğ., 1994, 1996). Bu kararsız yapı örnekleri Şekil 3'de bir dizi görüntüler şeklinde sunulmuştur. Bu olayda sırt akıntı kararsızlıklarının dalga şablonu yayılım hızı yaklaşık 10-15 km/gün kadardır. Hareketin, başlangıçta kıtasal eğime yapıştığını ve erken yaz dönemindeki başlangıcından yaklaşık 1 ay kadar sonra ayrı bir turbülent cet şeklinde gelişirken çoklu bir iplikli yapıyı ve küçük orta-ölçek turbülent yapıları saçıp dağıtarak genliğini büyütme çalıştığını belirtmek gerekir.



Şekil 3. Batı ve güneybatı Karadeniz’de 9-26 Haziran 1980 döneminde, turbüent hareketlerin gelişimini ve bu hareketlere bağlı olarak birincil üretkenliğin yayılımını gösteren bir dizi CZCS kanal 3 (550 nm) görüntüleri. Açık tonlu bölgeler, temelde coccolithophore’lardan ibaret fitoplanktonlardan olan yansımaları temsil eder (Sur ve diğ., 1994).

2.2. Karadeniz akıntı sisteminin modelleme çalışmaları

Karadeniz'in dolaşımının modellenmesi konusunda yapılan çalışmalar 70 lerin ortalarında başlamıştır. İlk model çalışmaları Sarkisyan'ın diagnostik modelleme yaklaşımına dayanan çalışmalardır (Gamsakhurdiya ve Sarkisyan, 1976; Moskalenko, 1976). Bu model çalışmaları topoğrafya ve yüzerlilik etkilerini incelemiştir. Yakın zamanlarda yarı diagnostik modeller ile yapılan çalışmalarla orta ölçekli dolaşım özellikleri belirlenmiştir (Stanev ve diğ., 1988; Ereemeev, 1993; Demyshev, 1992). Bu çalışmalar genellikle rüzgar ve yüzerlilik kuvvetlerinin dolaşım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yakın zamanda, Oğuz ve diğ. (1995) tarafından yapılan modelleme çalışmasında da yüksek çözünürlük kullanılarak Karadeniz'in dolaşımına neden olan kuvvetler incelenmiş ve küçük döngülerin oluşum nedenleri belirlenmiştir. Ancak bu çalışmaların ortak özelliği, klimatolojik ortalama başlangıç şartları ile başlayıp uzun dönemli ortalama atmosferik girdileri kullanarak mevsimsel döngüleri inceleme amacı ile sınırlı olmalarıdır. Gerçek bulgular ile başlatılan ve sürülen modelleme çalışmaları Karadeniz için bulunmamaktadır. Dünyada'da bu tür okyanus modelleri, gerek atmosferik ve hidrografik bulguların yetersiz olması, gerekse modellerin geleceği öngörme becerilerinin ve sürelerinin sınırlı olması nedeniyle, oldukça az sayı da uygulamadan oluşmaktadır.

Siklonik Karadeniz dolaşımının oluşum nedeni, bölgede hakim siklonik rüzgar sisteminin (rüzgar geriliminin pozitif kıvrımı) sonucu olduğu ilk modelle çalışmalarında ortaya atılmıştır. (Neumann, 1942; Moskalenko, 1976; Dzhioevve Sarkisyan, 1976; Stanev ve diğ., 1988; Rachev ve diğ., 1991; Ereemeev ve diğ., 1992; Demyshev, 1992; Trukhchev ve Demin, 1992; Klimok ve Mokeshev, 1993). Öte yandan, Marchuk ve diğ. (1975) ve Stanev (1990) tarafından yapılan nümerik çalışmaların sonuçları, uniform olmayan yüzey akıları tarafından yaratılan mevsimsel bir termohalin dolaşımın meydana geldiğini ve bu dolaşımın, rüzgarların neden olduğu dolaşım tarafından desteklenerek onunla kıyaslanabilir büyüklükte yüzey akıntıları yarattığını ortaya koymuştur.

Özellikle Karadeniz'in batısında bulunan büyük akarsulardan dolayı kıyıda oluşan az yoğun bölgenin dolaşım üzerinde etkisinin önemli olabileceği düşünülse de bu konudaki çalışmalar

sınırlıdır. Kuzeybatı kıta sahanlığı ile İstanbul Boğazı yakınları yanal kaynakların ve konveksiyonun Karadeniz dolaşımını modifiye ettiği iki büyük alandır (Stanev, 1990). İlk bölgede tatlısu girdisi ile kış konveksiyonu, ikinci bölgede ise yoğun Akdeniz sularının zorla araya sokulması, ortalama dolaşım pahasına eddy kinetik enerjisinde artışa neden olan vorticity kaynak fonksiyonları gibi davranır. Benzer şekilde, Bulgakov ve diğ. (1993) ve Korotaev (1997) nehirlerden yanal yüzer akıların zorlamalarının ve akarsu girdilerinin, kıyısal bölgede kuşatılmış bir siklonik yüzey dolaşımı yaratabileceğini göstermiştir. Ek olarak, yüzey atmosferik akıların da dolaşımı sürmekte önemli olduğu bulunmuştur (Stanev, 1990).

Gözlemler, sırt akıntılarının yerinin ve buna karşı gelen yoğunluk cephesinin genelde kıtasal eğim bölgesi ile çakıştığını göstermiştir ve dolayısı ile eğim akıntılarının topografya tarafından kontrol edildiğini beklemek doğaldır. Diğer yandan, periferik bölgede tipik olarak 100-150m derinliklerde yer alan piknoklin derinliği de aynı zamanda özellikle geniş batı kıta sahanlığı boyunca kıta sahanlığı kırılması derinliği ile çakışır. Bu nedenle, orijinal olarak Gamsakhurdiya ve Sarkisyan (1976) tarafından önerildiği gibi, baroclinicity ve tabandaki kabarıklığın birleşik etkisi ('jebar etkisi')nin Karadeniz dolaşımı için çok önemli olduğu sonucu çıkarılabilir. Stanev (1990), Karadeniz'deki bu etkinin, güçlü tabakalaşmanın dikey dolaşım üzerindeki engelleyici etkisi nedeniyle bastırılabilirliğini ileri sürmüştür. Bu tür birbiri ile çelişen yorumlamalara rağmen mevcut nümerik modellerin çözünürlüğünün yetersiz oluşu ve fiziksel parametreleştirilmenin farklı yapılması, Karadeniz'de JEBAR etkisinin rolü üzerinde daha kesin tahminler yapılmasını imkansız kılar.

Çözünürlüğü yüksek, türbulansın kapandığı ve aktif termodinamikli bir model (Oğuz ve diğ., 1995), Karadeniz genel dolaşımına topografyanın, rüzgar geriliminin ve yanal yüzer akıların birinci dereceden katkıda bulunduğunu göstermiştir. Mevsimsel zorlama ile (Oğuz ve Rizzoli, 1996) zorlayıcı mekanizmaların bağıl rolleri hakkındaki temel sonuçlar aynı kalmıştır. Mevsimsel bir çevrimin ilavesiyle bazı görünümler daha iyi çözümlenmiş ve basenin perifer bölgesi boyunca, topografyanın ve yanal yüzer kaynakların, orta-ölçek aktiviteyi desteklemekte oynadığı rol doğrulanmıştır.

3. Metod

Karadeniz akıntı sistemi modelleme çalışmalarında üç boyutlu 'primitive equation' modelleri kullanılmıştır. Bu modeller hiç bir yaklaşımda bulunmadan hareket denklemini sonlu farklar yöntemi ile çözer. Bu modeller bu nedenle oldukça karmaşık olup fazla bilgisayar zamanı gerektirir. Fakat bütün fiziğide içerdiğinden en doğru sonuçların alınabileceği modellerdir.

İlkel Eşitlikler Modeli

Denizlerdeki su hareketleri için ilkel eşitlikler hidrostatik yaklaşım altında momentumum korunumunu denklemleridir. Hidrostatik yaklaşım sonucu Coriolis ivmelenmesinin sadece düşey bileşeni denklemlerde kalır ve $f=2\Omega\sin(\theta)$ dir. Burada Ω dünyanın dönüş hızı, θ enlem açıdır. Hemen hemen sıkıştırılmayan sıvılar için (Boussinesq) yoğunluk, $\rho(T,S,p)$, sıcaklık, tuzluluk ve basıncın fonksiyonudur ve düşey gravitasyonel yüzerlik ivmesi hariç her yerde sabit ρ_0 olarak alınır. Özellikle, kütle korunumu nondivergent süreklilik eşitliği ile ifade edilir. Kartezyen kordinatlarda x,y,z doğu, kuzey ve yukarıya artı ve bunlara karşılık gelen hızlar u,v,w olsun. Buradan momentum, kütle, sıcaklık ve tuzluluğun korunumu aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv \frac{1}{\rho_0} + \frac{\partial p}{\partial x} = F_1 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu \frac{1}{\rho_0} + \frac{\partial p}{\partial y} = F_2 \quad (1b)$$

$$\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (1c)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1d)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = F_T \quad (1e)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = F_S \quad (1f)$$

Burada F_i giridaltı dönüşümler ifade eder. Bu dirid altı dönüşümlerin nasıl ele alınacağı hala tam olarak çözülememiş olup farklı modelleme çalışmalarında farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Genellikle düşey dönüşümler basitçe sabit eddy katsayısı olarak alınır. Fakat değişken eddy katsayısının kullanıldığı model çalışmaları da vardır (Beşiktepe ve diğ., 1993). Aşağıda kullandığımız modelleri açıklarken bu girid altı dönüşümlerin modellenmesine daha detaylı olarak değineceğiz.

Akıntı alanı taşınım akım fonksiyonundan türetilmiş düşey olarak integre edilmiş barotropic mod ile içsel baroklinik mod olarak ikiye ayrılarak sınırlı sonlar yöntemiyle çözülür.

Bugün dünyada beşten fazla yaygın olarak kullanılan okyanus modeli bulunmaktadır. Bu proje kapsamında iki ayrı yaklaşım iki ayrı model kullanılarak izlenmiştir. Bu iki model hakkında bilgi aşağıda verilmiştir. Her iki modelde Kirk(1969)'ün yaptığı çalışmalara dayanılarak hazırlanmıştır ve ilkel eşitliklerin sınırlı sonlar yöntemi ile çözümlenmiştir.

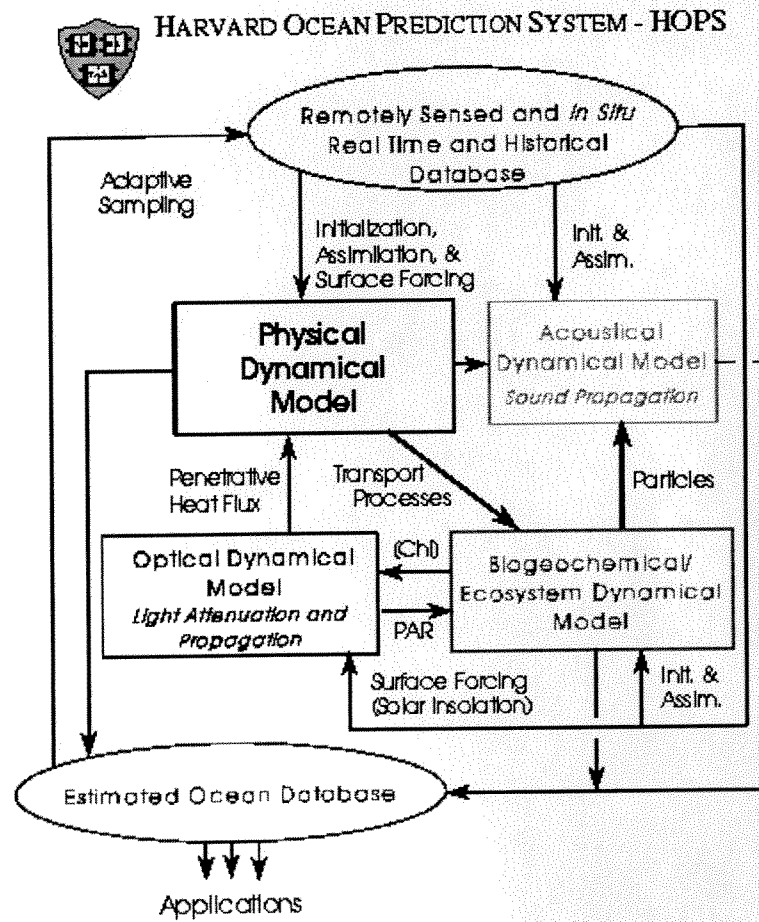
Moduler Okyanus Modeli

Bugün oşinografide kullanılan modeller arasında Princeton Üniversitesinde geliştirilen Moduler Okyanus Modeli (MOM) en yaygın kullanılanlardan biridir. MOM yularında verilen deniz ilkel eşitliklerinin sınırlı sonlu yöntemlerle çözüm bir modeldir. Dışsal yerçekimi dalgalarını filtre edebilmek için eğilmez kapak (rigid lid) yakalaşımı kullanılmıştır.

Grid altı dönüşümler için Bryan (1969) tarafından ortaya eddy viscosity/diffusivity hipotezi ortaya atılmıştır. Bu hipotez grid altı dönüşümlerin daha büyük ölçekli hareketlere etkisinin eddy karışımı katsayısıyla ifade edilebileceğini ve bunun büyüklüğünde moleküler difüzyon değerlerinden çok daha büyük olduğunu belirtir. Bu hipotez itilafıdır ve türbülans konusu çözülemediği sürece tartışılacaktır. Bununla beraber, sayısal çözümlerin sağlamlığı tesis edebilmek için gereklidir.

Harvard Okyanus Modeli

Harvard Okyanus Tahmin Sistemi (HOPS) deniz tahmin çalışmaları için geliştirilmiş olan bilgisayar tabanlı bir modeller yumağıdır. Şekil 4 de şematik yapısı sunulan bu sistem denizin dinamik, ekolojik, akustik yapısını tahmin etmeye yönelik modeller ve bu modellere veri aktarımını sağlayan asimilasyon taslağından oluşmaktadır.



Şekil 4. Harvard Okyanus Sisteminin şematik gösterimi

Bu resimde görüleceği gibi sistem Gözlem sistemi ve Veri Tabanı, Fiziksel Dinamik Model, Akustiksel Dinamik Model, Optiksel Dinamiksel Model, Ekosistem Modeli modüllerinden oluşmaktadır. Bu modüllerin herbirisi birbirleriyle etkileşimlidir.

Böyle bir sistem ilgilenilen bölgede daha önceden toplanmış bulgulardan oluşan başlangıç koşulları verilerek başlatılır ve güncel atmosfer kuvvetleri ile sürülür. Gözlem sisteminden ölçüm sonuçları gedikçe dinamik modele veri özümleme yöntemi ile verilir. Model çalışmaları ile gözlemleri birleştirmek denizlerin şimdiki durumunu doğru bir şekilde tanımlamak ve gelecek durumunu öngörmek (predict) için gereklidir. Gözlemler dinamik tahmin modelini başlatmak için kullanılır ve daha sonraki gözlemlerde sürekli olarak modele özümse edilerek tahminin zaman içerisinde ilerletilmesi sağlanır. Model sonuçları ile gözlemlerin yönlendirilmesi ve tahmin yapılan bütün alan yerine tahmini etkileyen sinoptik dinamiksel faaliyetlerin gözendiği alt alanlar örneklenmesi ekonomik ve uygulanabilir bir yaklaşım sağlar.

Dinamik model ilkel eşitsizlerin sayısal olarak çözüldüğü moduldür ve Modüler Okyanus Modelinin geliştirilmiş halidir. Özellikle taban topoğrafyasının daha iyi bir şekilde modele dahil edilmesi, yatay yayılımın Shapiro filtresi ile yapılması, dikey karışım için method geliştirilmesi bu modeli özellikle Karadeniz için ideal hale getirmektedir. Keskin topografik değişimler düşey koordinatarda sigma dönüşümü yapılmasıyla detaylı olarak hesaba katılmaktadır.

Yatay dönüşümler için p derecesinde, q kere, r zaman adımında uygulanan Shapiro filtresi kullanılır. Bir örnekle açıklamak gerekirse,

$$F_1 = F_{pqr} + \partial/\partial z (A_1 \partial/\partial z)$$

burada A_1 eddy ağdalığıdır (viscosity).

Filtre ziyadesiyle ölçek duyarlı olarak seçilebilir ve böylece doğrusal olmayan orta ölçekli hareketler görülen jeostrofik türbülansın enstrophy-cascade dönüşümü nedeniyle yaratılan küçük ölçekleri ortadan kaldırır. Ayrıca tamamen sonlu farklar yönteminin doğasından dolayı ortaya çıkan iki grid noktası dalgasında tamamıyla ortadan kaldırılırken ilgilenilen ölçeklerdeki hareketler korunabilir.

Bu model 9km yatay çözünürlük ve 28 düşey tabakada Karadeniz'e uygulanmıştır. Bu model daha önceki modele nazaran 10 kere daha hassas grid özelliğine sahiptir Böylece Karadeniz'in modellenmesi için gerekli hassasiyete ulaşılmıştır.

4. Sonuçlar

4.1 Modüler Okyanus Modeli

Modüler Okyanus Modeli'nin Karadeniz' uygulanabilmesi için gerekli düzenlemeler aşağıda verilmiştir.

İzleklerin ve momentumun yatayda karışımı sabit alınmıştır. Keza düşey karışım da sabit eddy katsayıları kullanılmıştır.

Model Geometrisi

Bu model z koordinatlarındadır. Bununla beraber grid büyüklükleri düşeyde düzgün dağılmıyacak şekilde alınmıştır. Bu tür konfigürasyonun avantajı fazla değişimin olduğu bölgelerde daha hassas bir model oluşturulabilmesidir. Model giridi 61x29x6 büyüklüğündedir ve yatay özünürlüğü 15 km dir. Model tabakalarının derinlikleri 0m, 25m, 104m, 267m, 592m, 1025m lerdir.

Düzgün dağılmıyan deniz ölçümlerini model girid noktaları üzerindeki değerlerini bulabilmek için spline interpolation kullanılmıştır.

Model sonuçları

Model çalışmaları iki ana grupta toplanabilir

1. Diyagnostik deneyler: dinamik olarak ayarlanmaış başlangıç hızlarını elde etmek
2. Prognostik deneyler: Diyagnostik model çalışmalarında elde edilen hızlar başlangıç koşulları olarak kullanılır.

Bizim yaklaşımımız diyagnostik ve prognostik modellerin peşi sıra kullanılmasıdır. Buda sıcaklık ve tuzluluk alanlarını gözlemlerden elde etmek ve diyagnostik modelden de başlangıç hızlarını elde ederek prognostic modeli başlatmaktır. Bu yaklaşım prognostic modelled spin-up elde etmeyi çabuklaştırdığından güçlü bilgisayarlar olmadığında geçeli bir yöntemdir. Bu yaklaşımla dizayn etmiş olduğumuz model deneylerinin sonuçlarını aşağıda sunmaktayız.

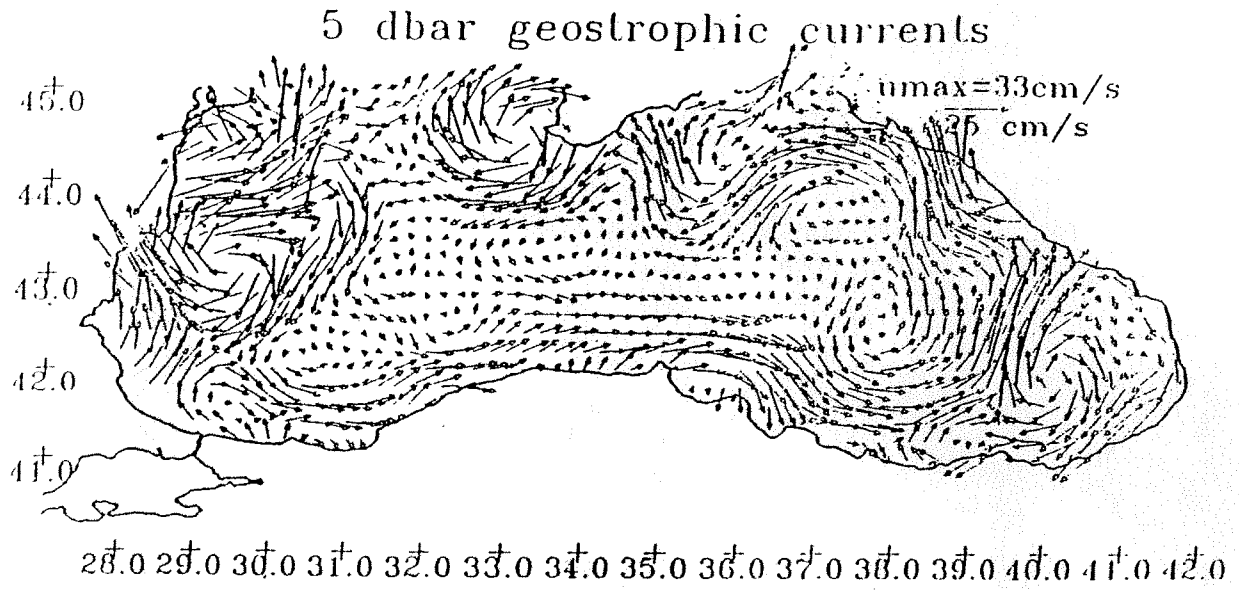
Model Başlangıç Koşulları

Model deneyleri yapabilmek için başlangıç koşulları ODTÜ-DBE ve Karadeniz'i çevreleyen diğer ülkelerde katılımıyla gerçekleştirilen uluslararası deniz ölçümlerinden elde edilen sıcaklık ve tuzluluk verilerinden oluşturulmuştur. Bu seferlerden Eylül 1991 de gerçekleştirilen bu projenin amacına en uygun olanlar olarak belirlenmiş ve bu verilerden Karadeniz dolaşım ve su kütlelerinin özellikleri incelenmiştir. Karadeniz'in genel dolaşım özelliklerini ve bu veri setlerinin yapısını göstermesi bakımından jeostrofik akıntılarının yüzeydeki dağılımı ile dinamik yüksekli anomalisinin 100 dbar daki dağılımı Şekil 5 ve 6 da verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi Karadeniz'in akıntı sistemi bütün baseni saat dönüşünün tersi yönünde dolaşan bir çevre akıntısı ile tanımlanır. Bu çevre akıntısı dalgali bir yapı sergiler ve nehir girdilerinden ötürü az tuzlu olan kıyı sularını daha fazla tuzlu olan içsel sulardan ayırır. Bu iki su kütlelerinin etkileşimi küçük girdaplar ile olur.

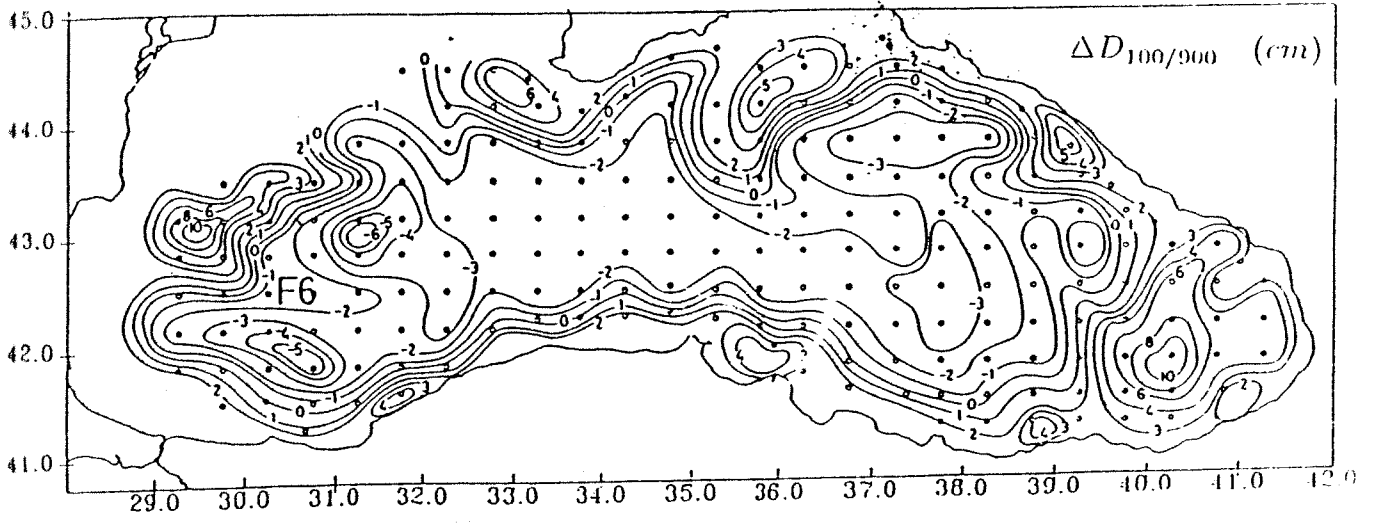
İlkel Esitlikler Modelinin Karadeniz'e Uygulanmasında Modelin başlatılması için gerekli sıcaklık ve tuzluluk değerleri yukarıda bahsedilen deniz ölçümlerinden elde edilmekle beraber, başlangıç akıntı hızları için direk ölçümler bulunmamaktadır. Modelin başlangıç hızlarını bulmak için aşağıdaki yöntem izlenmiştir.

Model başlangıç hızlarının elde edilmesi

Modeli başlatmak için gerekli olan başlangıç hızları yukarıda metodu verilen Diyagnostik deneyler ile elde edilmiştir. Bunun için model sıfır başlangıç hızları ve ölçümlerden elde edilen sıcaklık ve tuzluluk değerleri ile başlatılmıştır. Model zamana göre çalıştırılırken sıcaklık ve tuzluluğun değişimi sabit tutulmuş ve böylece modelin sadece hızın bileşenlerini



Şekil 5. Jeostrofik yüzey akıntılarının Eylül 1991 deki dağılımı



Şekil 6. 100 m. deki dinamik yükseklik anomalilerinin Eylül 1991 deki dağılımı

hesaplaması sağlanmıştır. Bir ay model integrasyonu sonucunda sistemin toplam enerjisinin dengeli duruma gelmesi nedeniyle integrasyona son verilmiştir. Bu deney sonucunda elde edilen başlangıç yüzey akıntı hızları Şekil 7 de verilmiştir.

Prognostik model deneyleri

Yukarıdaki diyagnostik model deneylerinden elde edilen akıntı hızları ve ölçümlerden gelen sıcaklık ve tuzluluk değerleri modelin hincasting çalışmaları için başlatılmasında kullanılmıştır. Bu yukarıda tanımlanan prognostic modeldir. Bu model atmosferik kuvvetlerin uygulanmadığı ve uygulandığı şartlarda çalıştırılmıştır.

Atmosferik Kuvvetlerin olmadığı durum

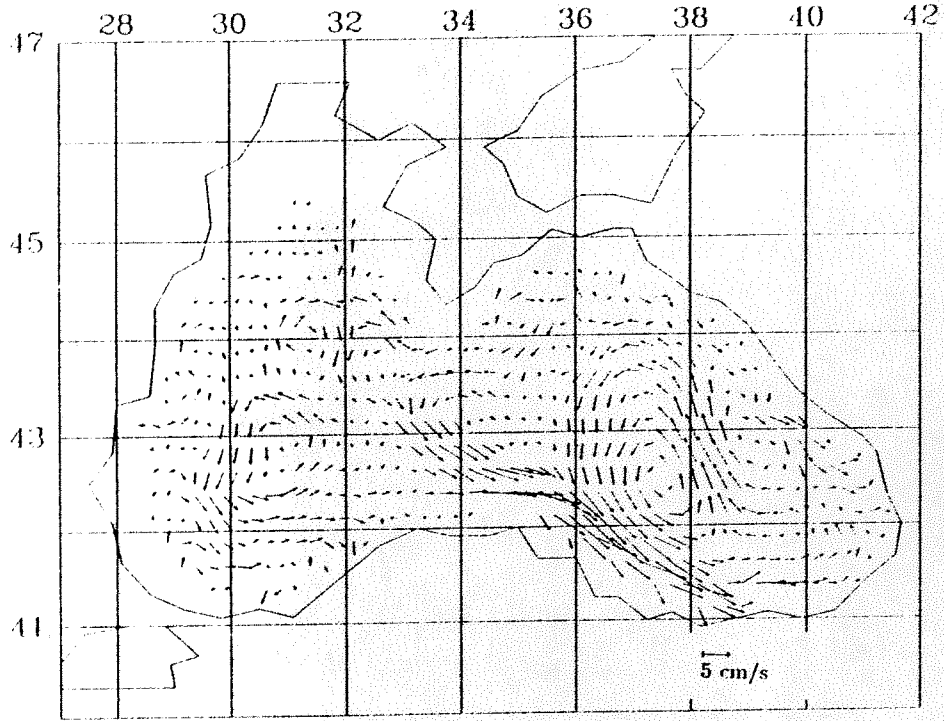
Model yukarıdaki başlangıç şartları ile başlatıldıktan sonra 1 ay süreli olarak akıntılar benzeştirilmiştir. Şekil 8 dörder gün arayla bir ay için Karadeniz akıntısının zaman içerisindeki değişimini göstermektedir. Beşinci günde, modelin öngördüğü akıntılar Karadeniz akıntı sisteminin ana özelliklerini taşımaktadır (Şekil 2 'ye bak). Akıntı Türkiye kıyılarında daha güçlü olmak ve Karadeniz doğusunda yeralan Batum döngüsü belirgin hale gelmektedir. Modelin 13. ve 17. günlerinde İstanbul Boğazının batısındaki döngüde belirgin bir hal almıştır. Karadeniz'in yüzeyindeki bu akıntı yapısı 292 metredeki 4. model tabakasına kadar aynı yapıda ve tabii ki zayıflayarak devam etmektedir. Fakat 5. tabakaya karşılık gelen 592m. de başlangıçtan itibaren farklı bir durum gözlenir. Bu tabakada Karadeniz'in genelinde akıntılar zayıf ve düzensiz bir yapı sergilesede İstanbul Boğazı civarında Karadeniz sırt akıntısının tersi yönde bir akıntının varlığı gözlenmektedir. Bu akıntının varlığı son zamanlarda yapılan teorik ve gözlemsel çalışmalarla ortaya atılmış fakat tam bir sonuca henüz ulaşamamıştır.

Atmosferik kuvvetlerle sürülen model çalışmaları

Bu deneyde model bir önceki deneyin aynı başlangıç koşulları ile başlatılmış, ilave olarak rüzgar şiddetide uygulanmıştır. Rüzgar verileri Sofya Üniversitesi Meteoroloji ve Jeofizik Bölümü tarafından Bulgar ve Rus kaynaklı verilere göre hazırlanan kılmatolojik değerlerdir.

horizontal velocity vectors (cm/s)

m d y = 1 9 0 0 h m s : 0 4 3 1

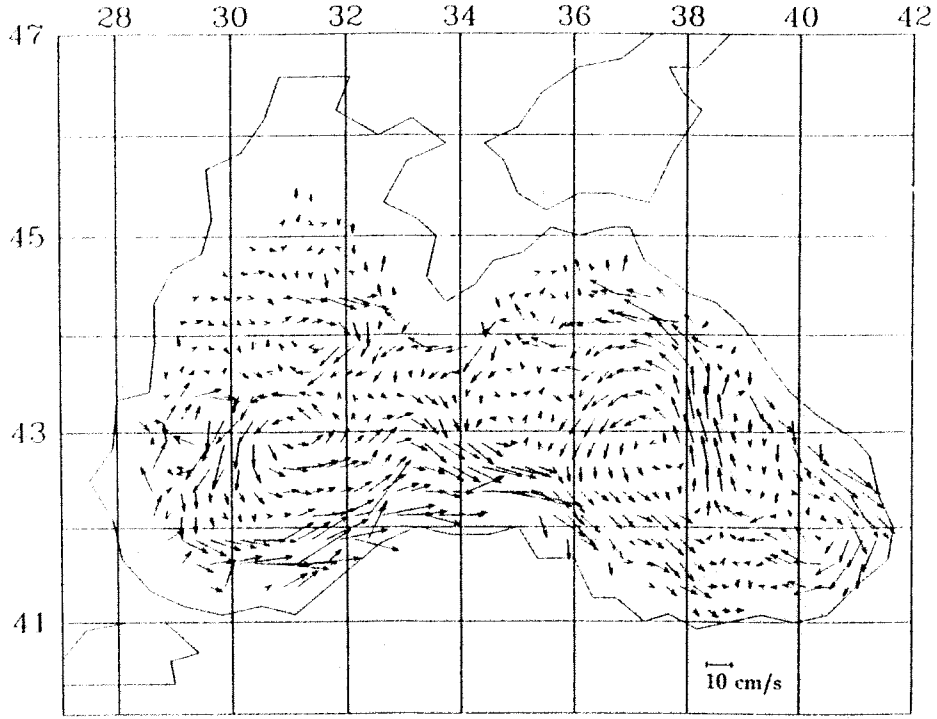


Min = 1.9433E-01 Max = 1.9433E+01

Şekil 7. MOM kullanılarak düzenlenen diyagnostik model sonucunda elde edilen yüzey akıntıları

horizontal velocity vectors (cm/s)

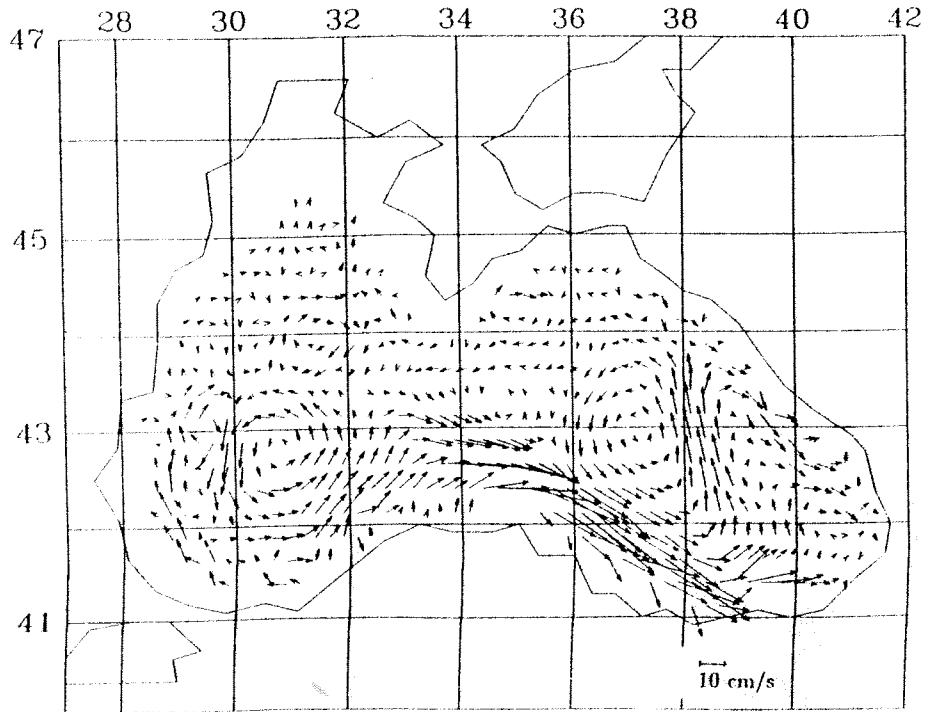
m/d/y= 1/ 5/ 0, h: m: s: 0 0: 58



Min = 2.2175E-01 Max = 2.2175E+01

horizontal velocity vectors (cm/s)

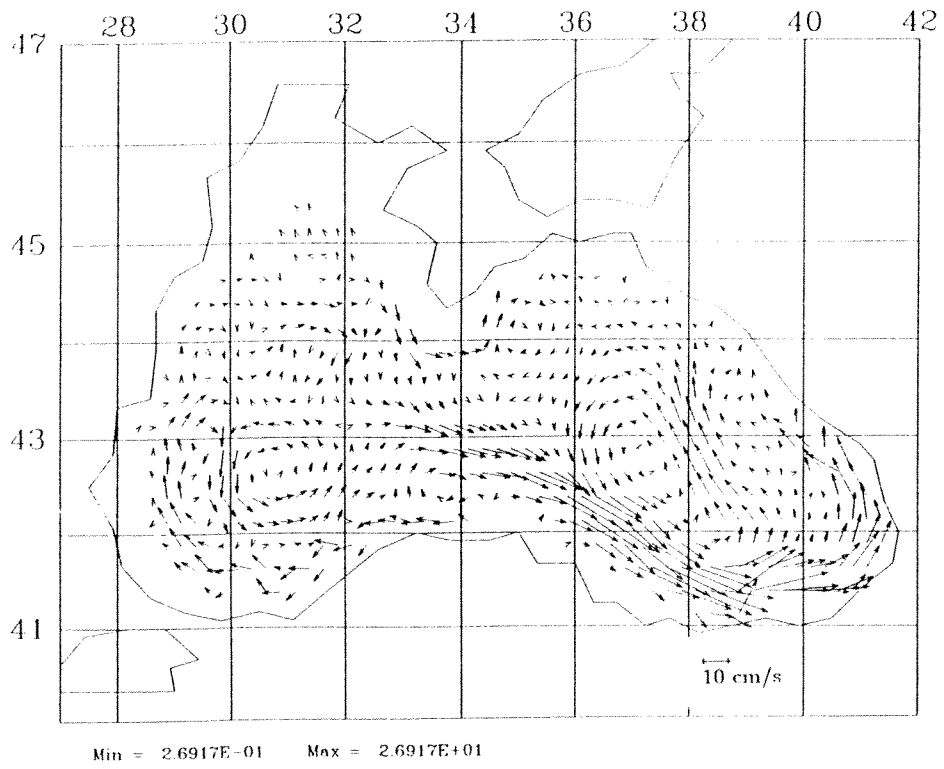
m/d/y= 1/ 9/ 0, h: m: s: 0 4: 31



Şekil 8. MOM kullanılarak düzenlenen prognostic modelin rüzgarın etkisi olmadan sonbahar 1991 için benzeştirdiği yüzey akıntılarının 1 ay boyunca değişimi (5., 9., 13., 17., 21., 25., 28. günler)

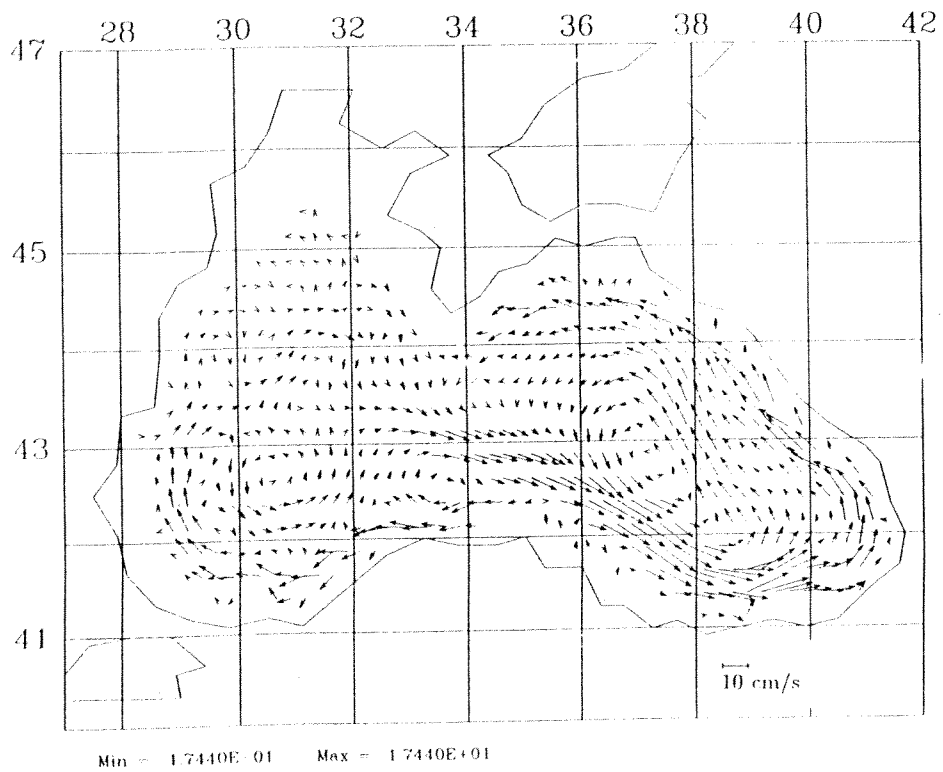
horizontal velocity vectors (cm/s)

m/d/y= 1/13/ 0, h: m: s: 0: 8: 4



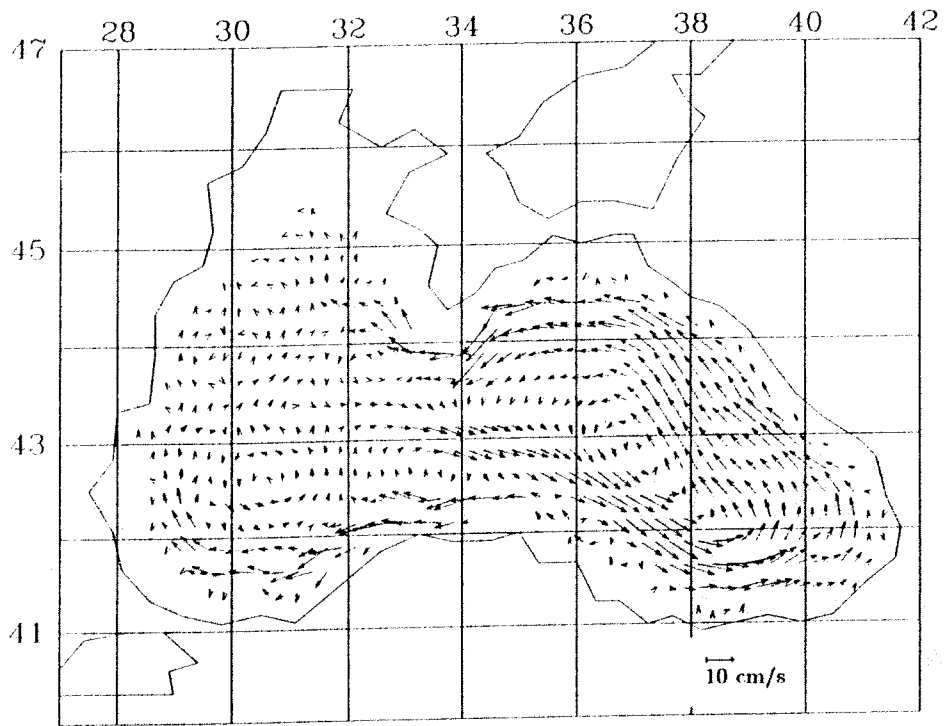
horizontal velocity vectors (cm/s)

m/d/y= 1/17/ 0, h: m: s: 0: 11: 38



horizontal velocity vectors (cm/s)

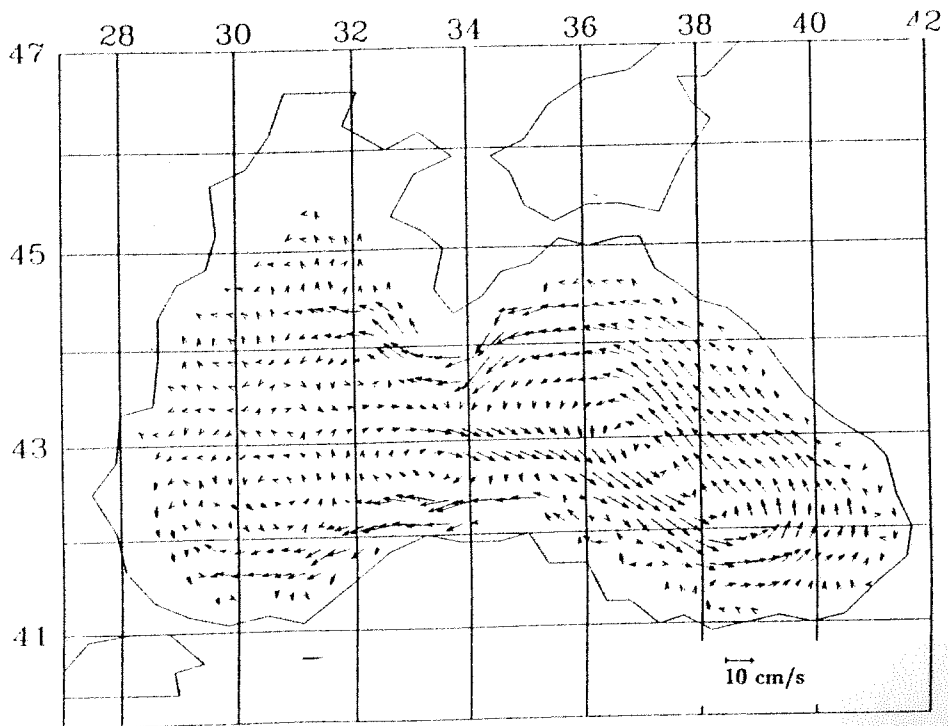
m/d/y= 1/21/ 0. h: m: s: 0: 14: 41



Min = 1.4602E-01 Max = 1.4602E+01

horizontal velocity vectors (cm/s)

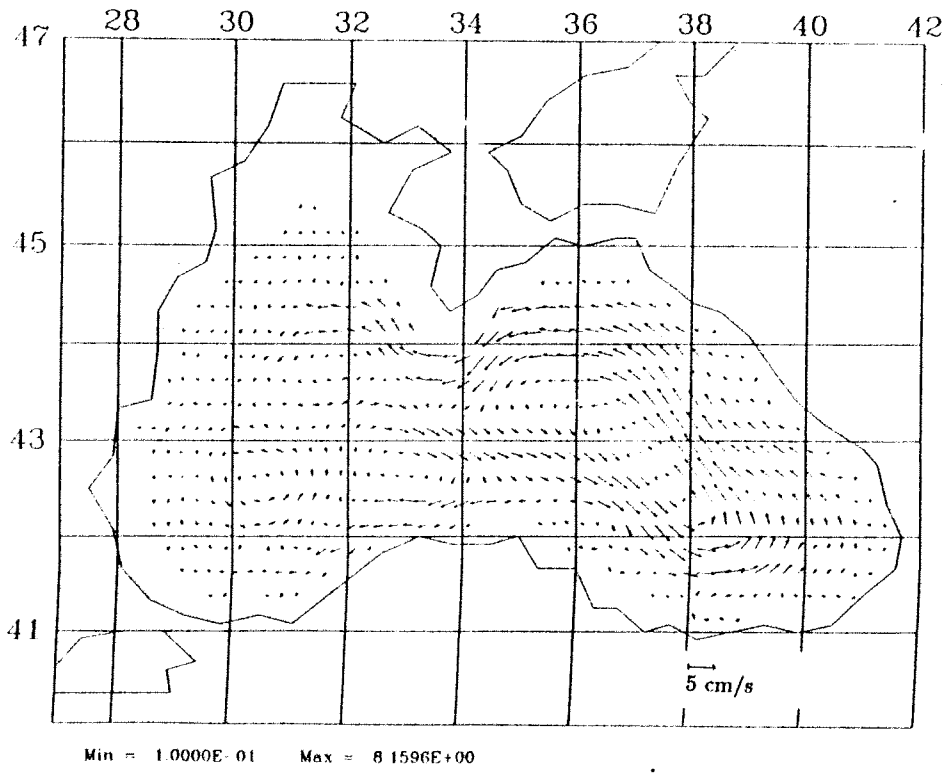
m/d/y= 1/25/ 0. h: m: s: 0: 9: 50



Min = 1.4859E-01 Max = 1.4859E+01

horizontal velocity vectors (cm/s)

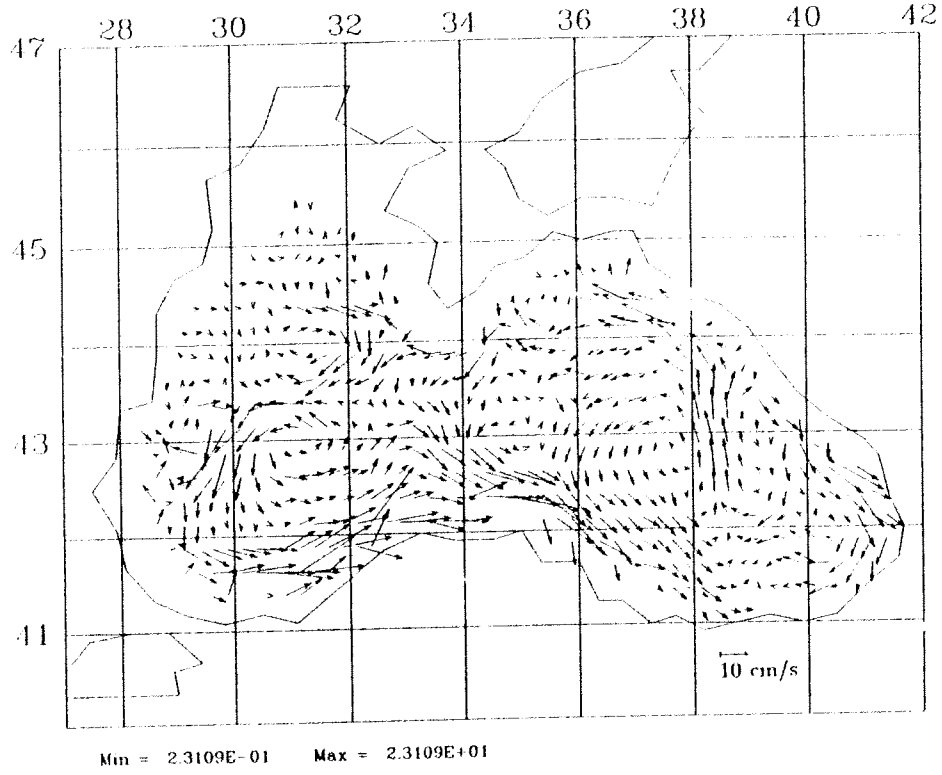
m/d/y= 1/28/ 0, h: m: s: 23: 51: 8



Şekil 8 devamı

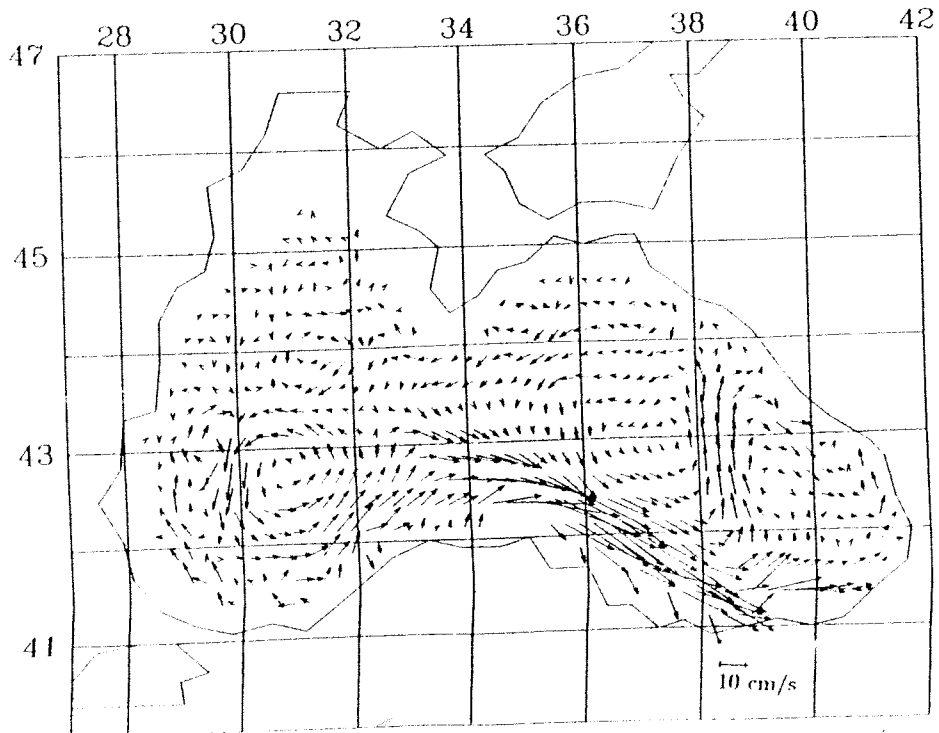
horizontal velocity vectors (cm/s)

m/d/y = 1/5/0, h:m:s = 0:0:58



horizontal velocity vectors (cm/s)

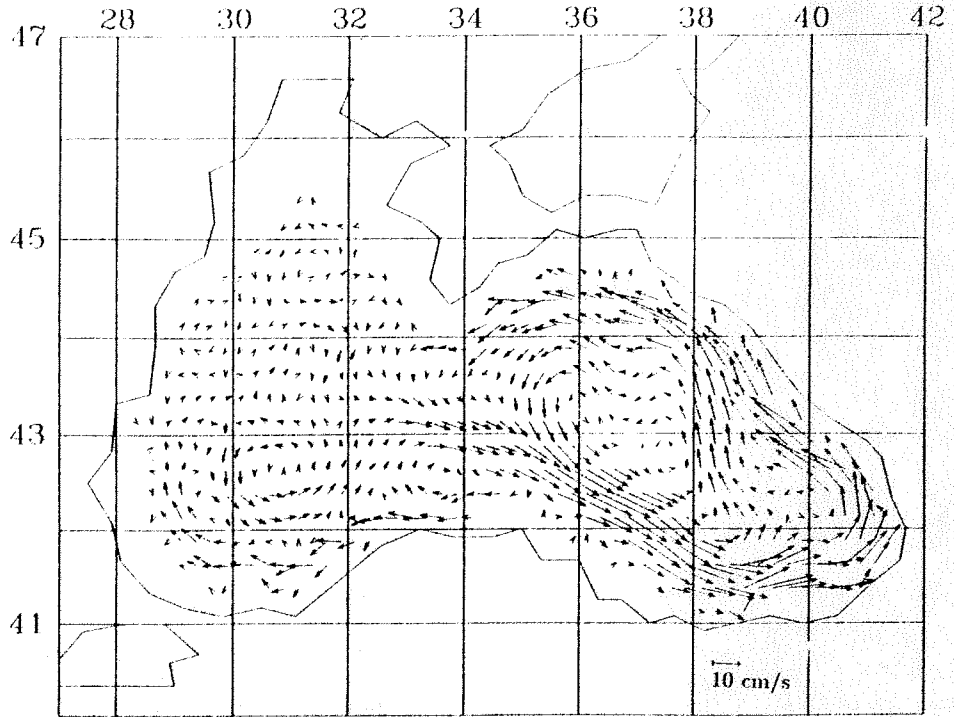
m/d/y = 1/9/0, h:m:s = 0:4:31



Şekil 9. MOM kullanılarak düzenlenen prognostic modelin rüzgarın etkisi varken sonbahar 1991 için benzeştirdiği yüzey akıntılarının 1 ay boyunca değişimi (5., 9., 13., 17., 21., 25., 28. günler)

horizontal velocity vectors (cm/s)

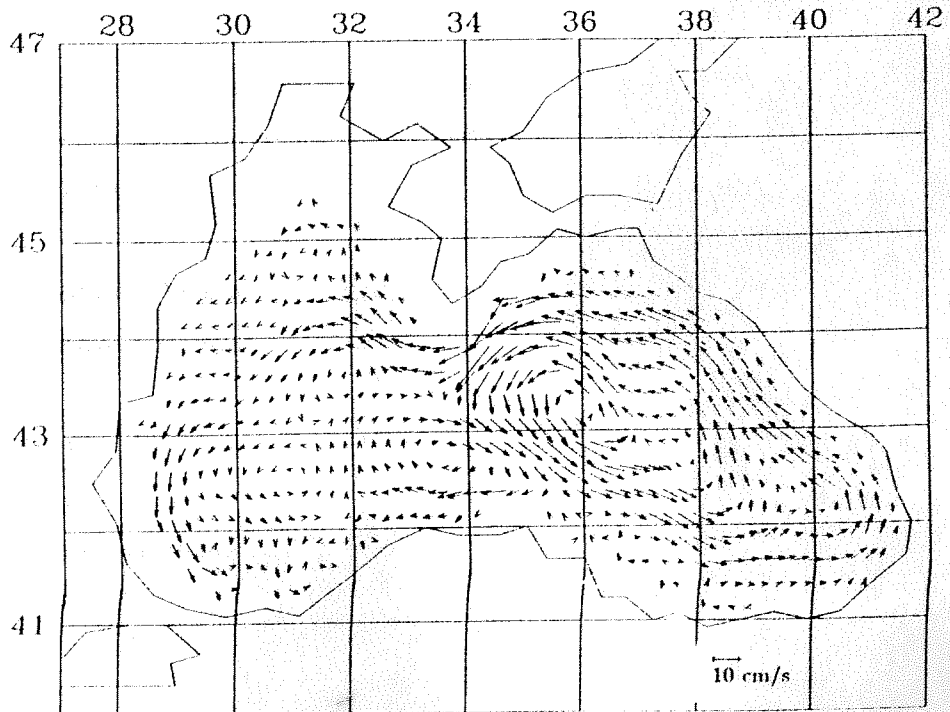
m/d/y= 1/17/ 0, h: m: s: 0: 11: 38



Min = 2.1692E-01 Max = 2.1692E+01

horizontal velocity vectors (cm/s)

m/d/y= 1/28/ 0, h: m: s: 23: 51: 8



Min = 1.6768E-01 Max = 1.6768E+01

Bu model deneyinden elde edilen model sonuçları Şekil 9 da verilmiştir. Model sonuçları bir önceki rüzgarın olmadığı durumla genel hatlarıyla aynıdır. Bu da aslında modelin ilk anları için beklenen bir durundur. Çünkü başlangıç koşulu olarak verdiğimiz sıcaklık ve tuzluluk değerleri rüzgarın etkisini kendi bünyelerinde barındırmaktadırlar. Model benzeştirmeleri devam ettikçe rüzgarın etkisi ortaya çıkmaktadır. Rüzgarın etkisiyle model tarafından üretilen Boğaz önlerindeki döngü rüzgarsız duruma nazaran daha önce ortaya çıkmaktadır.

Harvard Okyanus Tahmin Sistemi

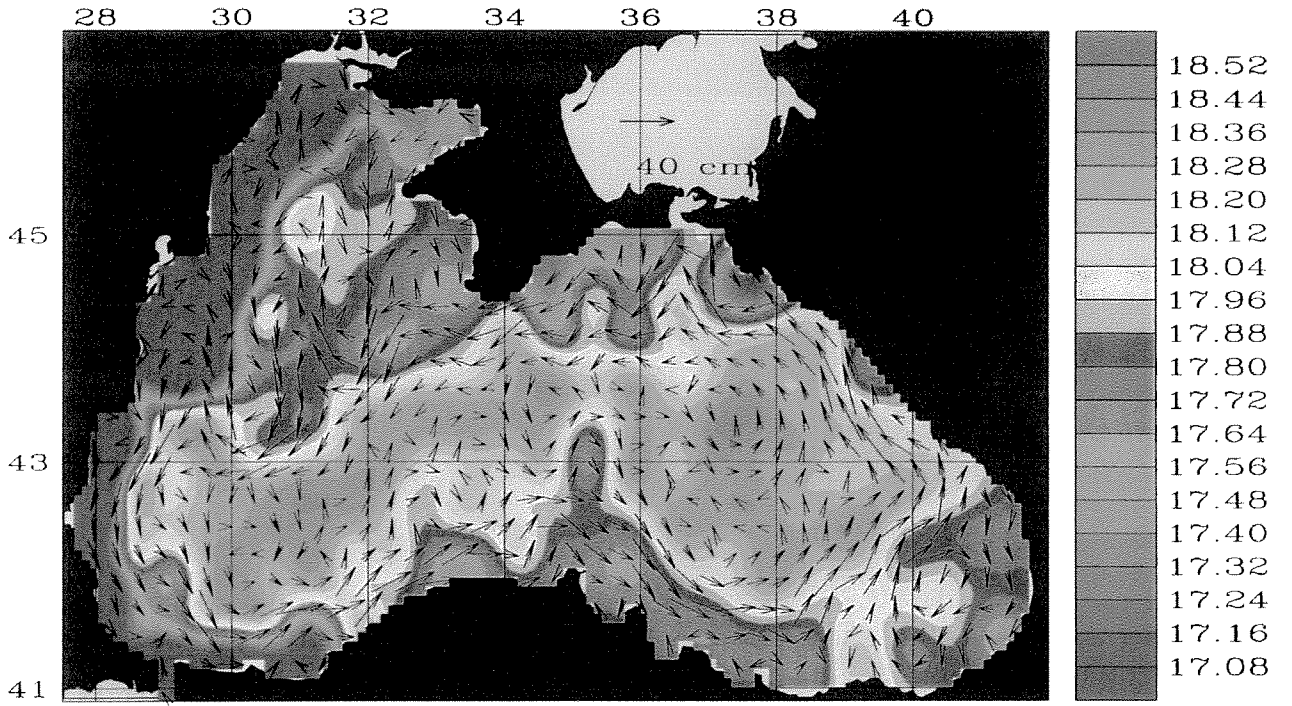
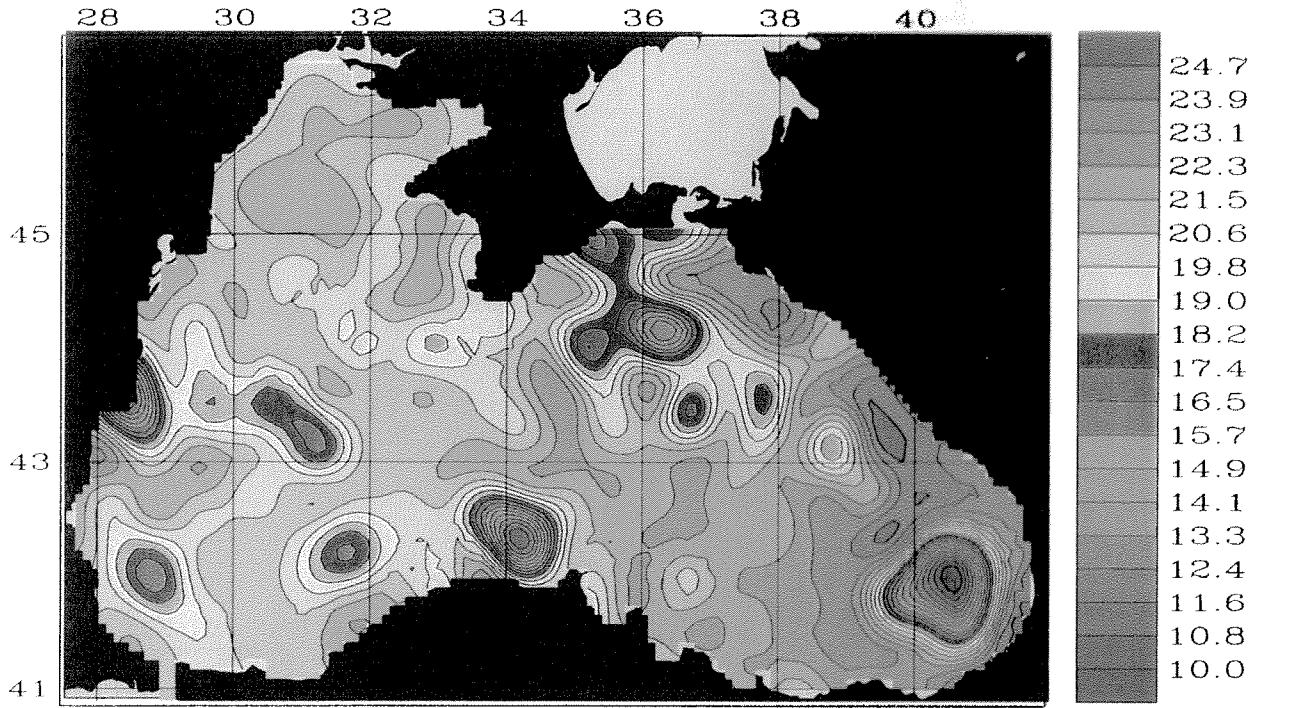
Harvard Okyanus Tahmin Sistemi 9km yatay çözünürlük ve 28 düşey tabakada Karadeniz'e uygulanmıştır. MOM un çözünürlüğü ile karşılaştırıldığında model 10 kere daha hassas bir yapıya ulaşmıştır. Böylece Karadeniz'in modellenmesi için gerekli hassasiyete ulaşılmıştır. Modelin başlatılması için gereken sıcaklık, tuzluluk değerleri objektif analiz metoduyla model gridlerine indirgenmiştir. Modeli başlatmak için gerekli akıntı hızları jeostrofik yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır.

Modeli başlatmak için kullanılan sıcaklık, tuzluluk ölçümlerinin 10m deki dağılımları Şekil 10 da verilmiştir. Jeostrofik yakalaşım kullanılarak hesap edilen akıntı değerleride tuzluluk dağılımı üzerinde verilmiştir. Yüzey sıcaklığı 18 ile 26 C arasında değişmektedir. Bu başlangıç sıcaklık dağılımı düzensiz bir yapı sergiler. En önemli büyük ölçekli özellik doğu-batı arasındaki sıcaklık meyilidir.

Yüzey tuzluluk dağılımında görülen en belirgin özellik nehirlerden gelen tatlı suların oluşturduğu cephe'dir. 18 ppt tuzluluğu nehir kaynaklı sular ile açıktaki sular arasında arabirim oluşturur.

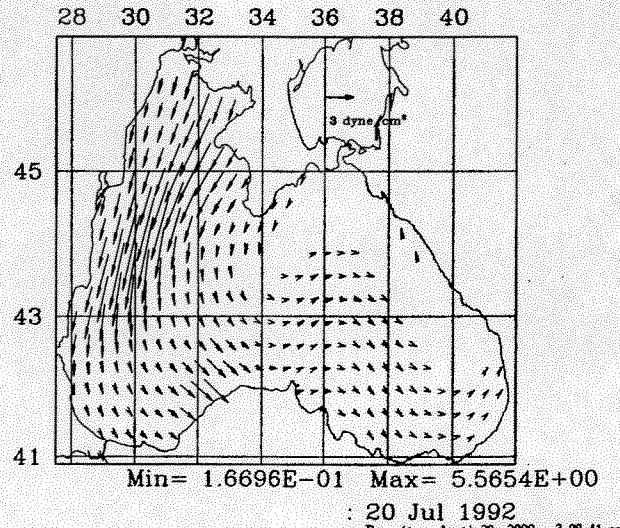
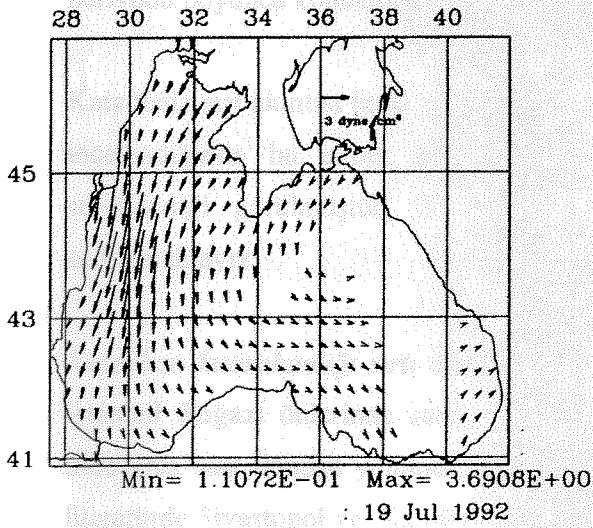
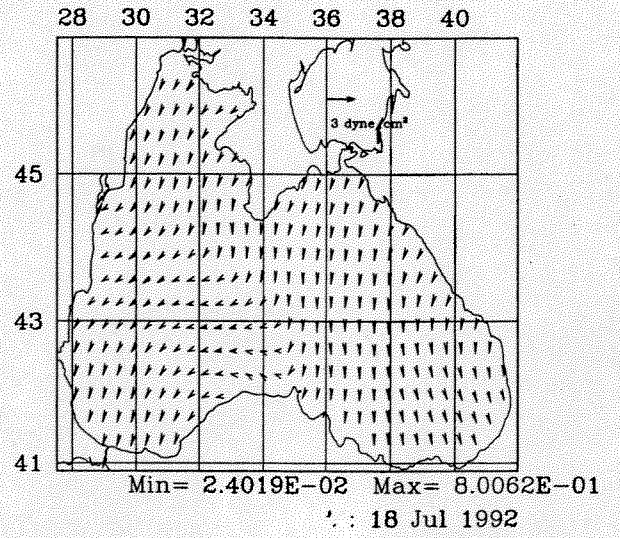
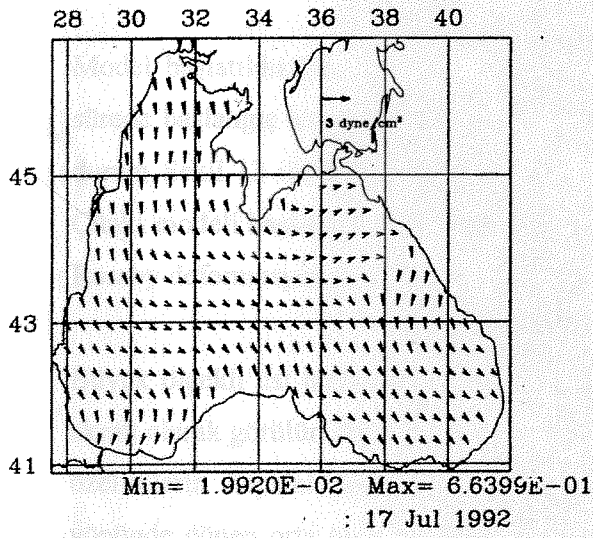
Jeostrofik akıntılar Karadeniz'in tipik akıntı sistemini sergiler. Bu akıntı Karadeniz kıyıları boyunca dolaşan ve menderesler oluşturan bir sistemdir.

Modeli sürmek için gerekli atmosfer akıları Sivastopol Hidrofizik Enstitüsü tarafından hazırlanmış olan günlük rüzgar hızları zaman içerisinde lineer olarak interpolate edilmiştir. Rüzgar kuvvetlerinin örnek dağılımı Şekil 11 de verilmiştir.



Şekil 10: HOPS modelini Karadeniz'de başlatmak için kullanılan Temmuz 1992 yüzey sıcaklık ve tuzluluk dağılımı

wind stress (dynes/cm*cm)



Thursday - April 20, 2000 - 3:08:41 pm
pe_frcj2092.nc

Şekil 11: 17-20 Temmuz 1992 arasında Karadeniz'de rüzgar kuvvetinin dağılımı. Bu veri Sivastopol MSIA/URHI tarafından üretilmiştir.

Model sonuçları

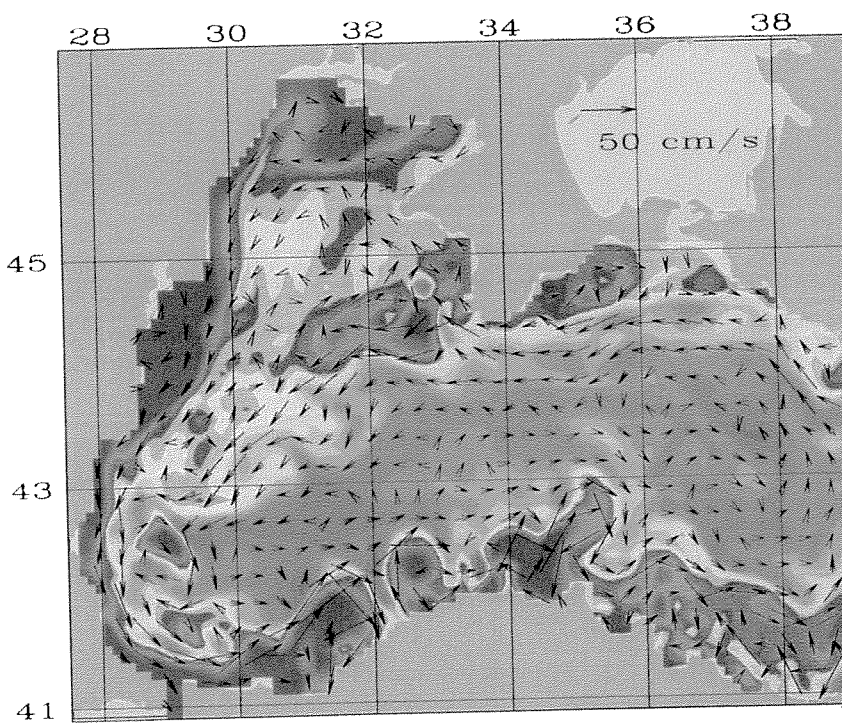
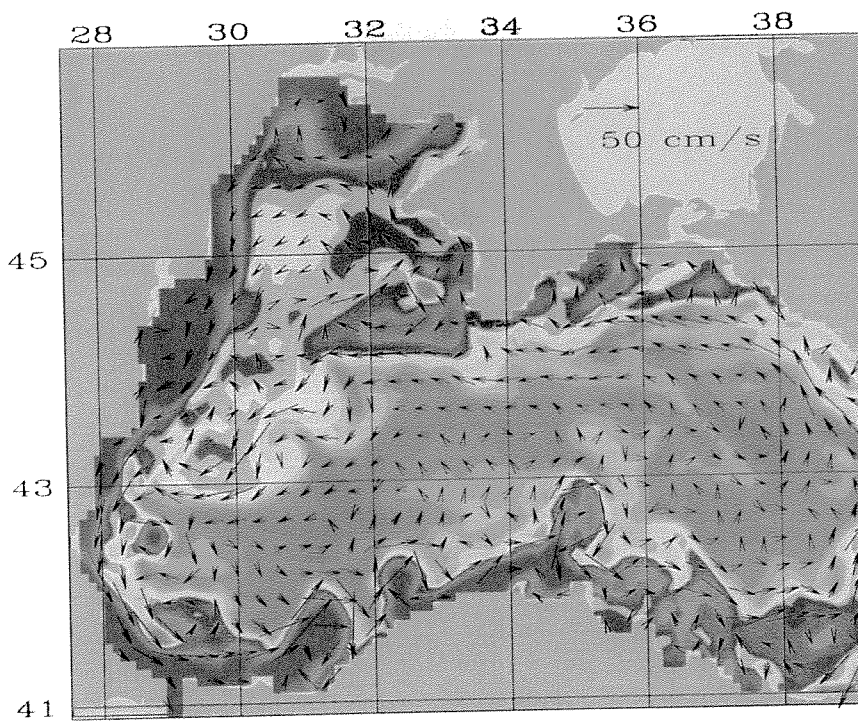
Model yukarıda detayları verilen sıcaklık tuzluluk ve bunlardan hesap edilmiş jeostrofik hızlarla başlatılmış ve rüzgar şiddeti ve kılmatoojik ısı akısı ve nehir girdileri ile sürülmüştür. Model 15 Temmuz ile 15 Eylül 1992 tarihleri arasında çalıştırılmıştır. Model tarafından hesap edilen yüzey akıntıları ve tuzluluğu modelin balangıcından itibaren 10. ve 45. Günler arasında 5 er gün arayla Şekil 12 de verilmiştir.

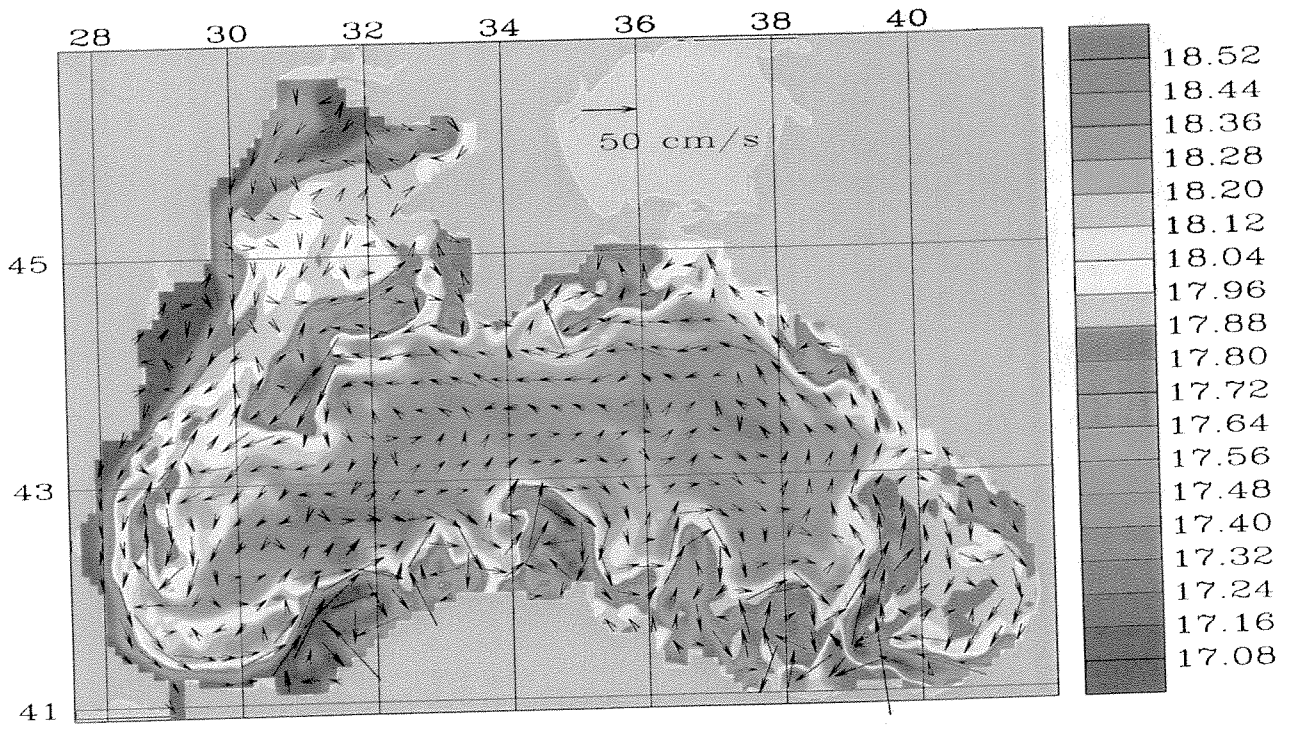
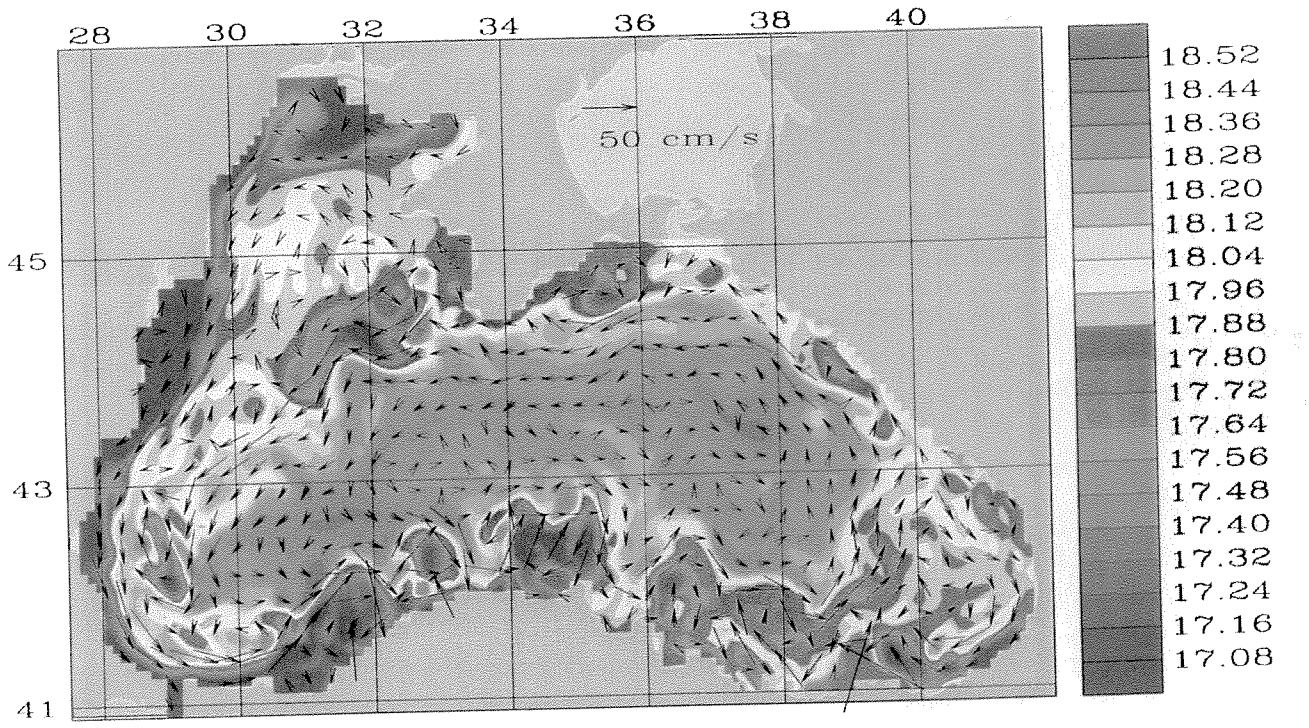
Model başlatıldıktan sonraki ilk 15 gün alanların başlangıç dengelemesi periyodudur. Bu sürede başlangıç koşullarında gözükmeyen küçük ölçekli değişimler görülmeye başlar. Bu durum Şekil 12 ile Şekil 10 un karşılaştırılmasında görülebilir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü modeli başlatmak için kullanılan ölçümlerin yatay çözünürlüğü yaklaşık 30 km dir ve Rossby deformasyon çapı ölçeğindeki dönüşümleri ölçmek mümkün olmamıştır.

Büyük ölçekli üst tabaka dolaşımı saat dönüşünün tersi yönünde tüm havzayı kapsayan bir akıntı olarak görülür. Akıntı sisteminin orta ölçekteki elemanları Şekil 2 de verilen kartondaki özelliklerin hepsini taşımaktadır. Karadeniz sırt akıntısının kara tarafında saat dönüşü yönünde dönen orta ölçekli döngüler yer alır. Bu döngülerin en belirgin olanı ve benzeşim periyodu boyunca konumunu koruyan Batum döğüsüdür.

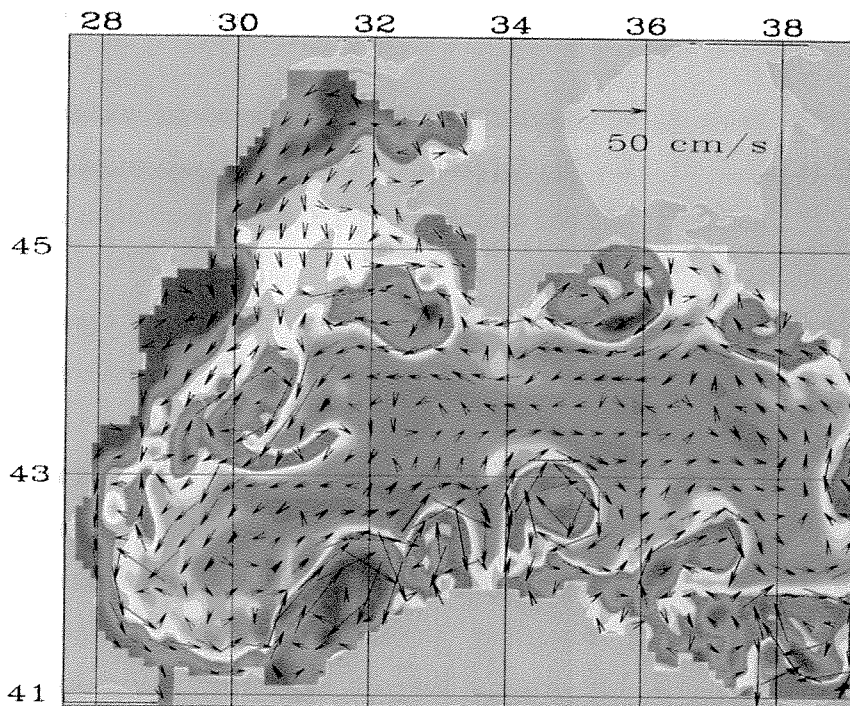
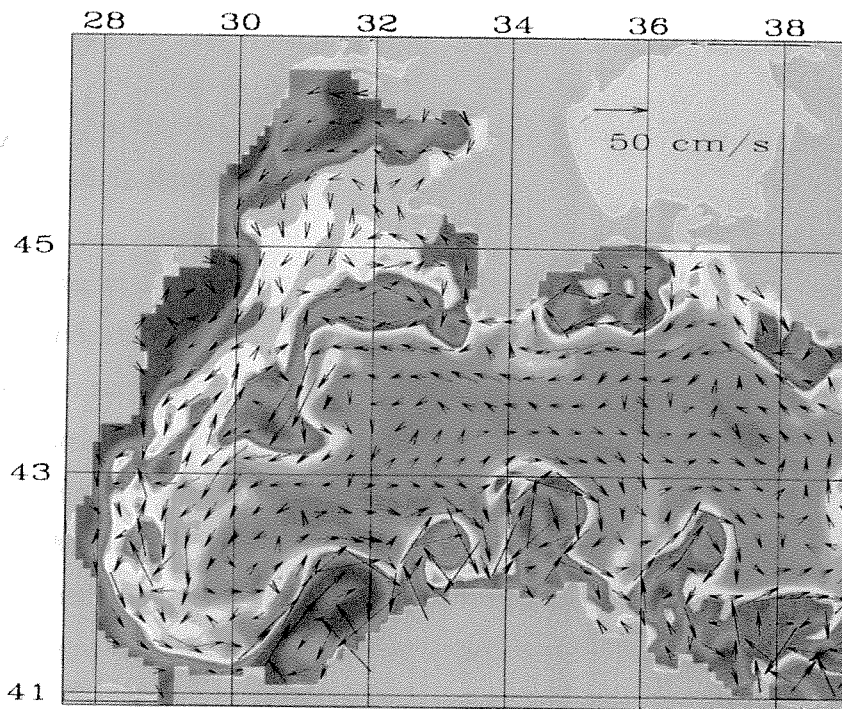
Karadeniz sırt akıntısı hernekadarda tek bir akıntı sistemi gibi yorumlansada model sonuçları incelendiğinde bu akıntı sisteminde havzanın farklı bölgelerinde farklı davranışlar sergilendiği görülmüştür. Bu bölgeleri ve bu bölgelerde akıntının yapısını aşağıda açıklamaktayız.

Kuzeybatı kıtasahanlığı sırtı akıntısı: Akıntının bu parçası Kırım yarımadasından başlar ve İstanbul Boğazı önlerinde sona erer. Bu akıntı göreceli olarak büyük mederes çizer. Bu menderes saat dönüşü yönünde dönen iki tane orta ölçekli döngüye sahiptir. Bu döngüler literatürde Sivastopol ve Kaliakra döngüleri olarak bilinirler. Bu döngüler benzeşim periyodu boyunca bu bölgede yer almışlardır. Ancak rüzgarın ve akıntının hızına bağlı olarak kıtasahanlığı sırtı üzerinde kuzeydoğu-güneybatı yönünde hareket etmektedirler.





Şekil 12 devamı



Anadolu akıntısı

İstanbul Boğazından Samsun önlerine kadar Anadolu kıyısı boyunca yer alan akıntı kara tarafında ve doğuya doğru hareketli bir dizi saat dönüşü yönünde dönen döngülerle dolu bir yapı sergiler. Bu döngüler Sakarya kanyonu bölgesinde yaratılır ve akıntı sistemi ile birlikte hareket ederler. Bu döngülerin modeldeki oluşumları Şekil 3 de verilen uydu görüntüleri ile doğrulanmaktadır. Anadolu akıntısı Arkhangelsky sırtına kadar kıyıya paralel gider. Fakat bu taban yapısı ile karşılaşınca kıyıdan ayrılır ve dengesi bir yapı sergiler, ve daha sonrada akıntı Anadolu kıyılarından terk ederek Kafkasya kıyılarına doğru hareket eder. Kafkasya kıyılarına doğru hareket eden bu akıntının doğu tarafında Batum döngüsü yer alır.

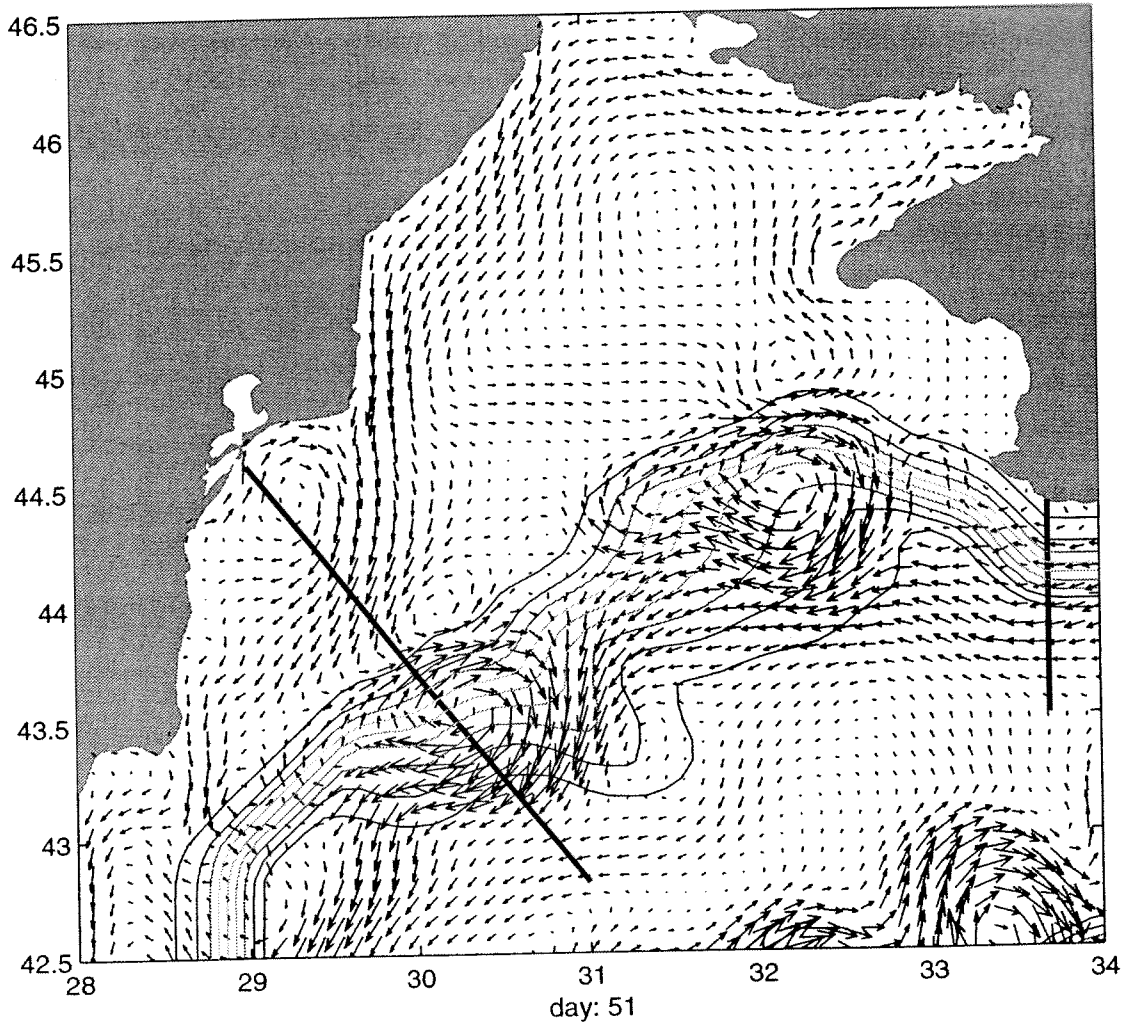
Kafkasya-Kerç akıntısı

Anadolu kıyılarından Kafkasya kıyılarına yönelen akıntı açık denizi geçerek Kafkasya kıyılarına ulaşır ve buradan sonra kıyıya çok yakın bir durumda kuzeye doğru hareket eder. Bu akıntı burada diğer bölgelere nazaran daha dar ve hızlıdır.

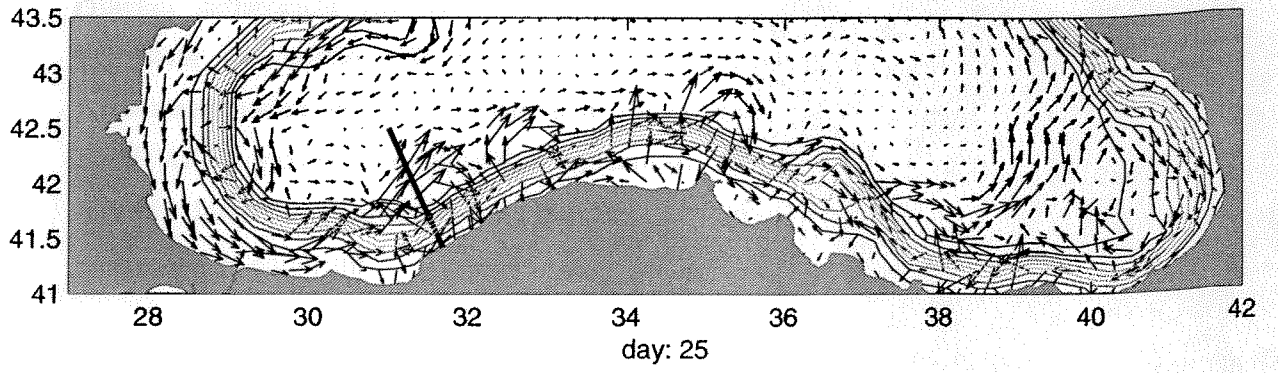
Buraya kadar model sonuçlarının genel yapısını verip tartıştık. Aşağıdaki bölümlerde havza içerisinde bazı bölgelere daha detaylı bakıp model sonuçları ile gözlemleri karşılaştıracamız.

Kuzey-batı bölgesi dolaşımı: Kuzey-batı bölgesinde yüzey akıntı dağılımı modelin 51. Günü için Şekil 13 de verilmiştir. Orta ölçekli yapılar iki tane saat yönünde dönen döngü ve menderes yapan kuzeybatı kıtasahanlığı sırtı akıntısıdır. Sur ve Ilyin, 1997 bu bölge için uydu fotoğraflarını model benzeşimi yaptığımız günler için analiz etmişlerdir. Onların analizlerinde, Sivastopol döngüsü merkezi 44.5-44.6K ve 32.1-32.2D koordinatlarında ve 65km çapında, Kaliakra döngüsü ise merkezi 43.6K ve 30.1D koordinatlarında 60 km çapında bir döngü olarak gözlenişlerdir. Bu gözlemler bizim model sonuçlarımız ile iyi bir uyum göstermektedir.

Anadolu akıntısı: Anadolu kıyılarındaki akıntının yüzey dağılımı modelin 25. gününde Şekil 14 de verilmiştir. Akıntı hızları 30-50 cm/s aralığında oynamaktadır. Akıntının genel yapısı menderes şeklinde dir. Ana akıntının kıyı tarafında saat yönünde dönen bir dizi döngüler



Şekil 13: Kuzey-batı Karadeniz'de yüzey akıntısının modelin 51. günde dağılımı



Şekil 14: Anadolu kıyısındaki yüzey akıntılarının modelin 25. günündeki dağılımı

oluşur. Burada oluşan menderes ve ona bağlı döngüler Sur ve diğ., 1994 tarafında analiz edilen ve yukarıda Şekil 3 te verdiğimiz bir seri CZCS görüntüsü ile uyuşmaktadır.

5. Özet ve Tartışma

Bu proje ile global dolaşım modeli yardımıyla Karadeniz' in akıntı dinamiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Karadeniz'in hidrografisi ve akıntılarını benzeştirmek için iki model uygulanmıştır. Birinci model Princeton Üniversitesi Geofiziksel Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarında geliştirilen ve Bryan-Cox modeline dayanan Modüler Okyanus Modelidir. İkinci model ise Harvard Okyanus Tahmin Sistemidir. Bu iki model ile elde edilen akıntılar gözlemler ile uyuşmaktadır. Bu çalışma Karadeniz'de Deniz Tahmin Sistemi oluşturulmasına yönelik ilk adımdır. Bu model çalışmalarının gözlem sistemi ile bütünleştirilmesi Karadeniz'de tahmin kapasitesinin oluşturulmasını sağlayacaktır.

Projenin başlangıçta önerilen hali ile Devlet Meteoroloji Teşkilatı ile işbirliği yapıp atmosferik kuvvetlerin elde edilmesi planlanmıştır. Ancak projenin o kısmına destek sağlanamadığından projenin o kısmı eksik kalmıştır. Bu durumda proje başlanmadan önce TÜBİTAK' a yazılmış ve mutabakat sağlanmıştı. Bu tür çalışmalar için çok önemli olan atmosfer kuvvetleri Karadeniz'i çevreleyen diğer ülkelerdeki bilim adamları ile işbirliği yapılarak elde edilmiştir.

Kaynakça

- Aksu, Y., 1995. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 1995
- Besiktepe, Ş., E. Özsoy, Ü. Ünlüata (1993) Filling of the Marmara Sea by Dardanelles Inflow. *Deep Sea Research*, **40**, 1815-1838.
- Besiktepe, S. T., C.J. Lozano and A. R. Robinson (2001) On the Summer Mesoscale Variability of the Black Sea, *Journal of Marine Research*, **59**(4):475-515.
- Blatov, A. S. and V. I. Ul'yanova, 1985. Effect of Curvature of Vertical Velocity and Density Profiles on the Hydrodynamic Stability of a Zonal Flow, *Oceanology*, **25**, p. 11-16.
- Blatov, A. S., A. N. Kosarev and V. S. Tuzhilkin, 1984. Variability of the Hydrographic Structure of the Black Sea Water and its Links with External Factors, *Vodnyye Resursy* (Water resources), **6**, 71-82 (in Russian).
- Boguslavskiy, S. G. and B. B. Kotovshchikov, 1984. Formation of Recent Salinity Field in the Black Sea", *Oceanology*, **24**, 313-316.
- Boguslavskiy, S. G., A. S. Sarkisyan, T. Z. Dzhioyev and L. A. Koveshnikov, 1976. Analysis of Black Sea Current Calculations, *Atmospheric and Oceanic Physics*, **12**, 205-207 (English Translation).
- Boguslavskiy, S. G., Ye. A. Agafonov and L. S. Isayeva, 1982. Exploration of the Black Sea during the 23rd Cruise of the RV Akademik Vernadskiy, *Oceanology*, **22**, 385-386.
- Boning, C. W., 1989. Influence Of A Rough Bottom Topography On Flow Kinematics In A Eddy-Resolving Circulation Model. *Journal Of Physical Oceanography*, **19**, 77-97.
- Bryan, K. and Cox, D. M., 1967. A Numerical Investigation Of The Oceanic General Circulation. *Tellus XIX*, **1**, 54-80.
- Bryan, K., 1969. A numerical method for the study of the ocean circulation of the world ocean. *Journal of Computational Physics*, **3**, 347-378.
- Demyshev, S. G. 1992. A Numerical Experiment on Computations of the Black Sea Density Fields and Current Velocities During Summer, *Sov. J. Phys. Oceanogr.*, **3**, 293-298.
- Dzhioev, T. K. and A. S. Sarkisyan. 1976. Numerical computations of the Black Sea currents. *Izv. Atmosf. and Oceanic Phys.*, **6**, 217-223.
- Eremeev, V. N., Ivanov, L. M., Kochergin, S. V. and O. V. Mel'nichenko. 1992. Analysis of Observations and Methods of Calculating Oceanic Hydrophysical Fields, *Sov. J. Phys. Oceanogr.*, **3**, 193-209.
- Eremeev V. N., 1993. Numerical Modelling of the Black Sea Hydrodynamics with Application to ecological Problem *Journal of Physical Oceanography* **23** 95-102.
- Fedorov, K. N. and A. I. Ginsburg, 1989. Mushroom-like Currents (Vortex Dipoles); One of the Most Widespread Forms of Non-Stationary Coherent Motions in the Ocean, In: *Mesoscale / Synoptic Coherent Structures in Geophysical Turbulence*, J. C. J. Nihoul and B. M. Jamart, editors, Elsevier, Amsterdam, 1-14.
- Filippov, D. M., 1968. Circulation and Structure of the Waters in the Black Sea, Nauka, Moscow (in Russian).
- Gamsakhurdiya, G. R. and A. S. Sarkisyan, 1976. Diagnostic Calculations of Current Velocities in the Black Sea. *Oceanology*, **15**, 164-167.
- Marchuk, G. I., A. A. Kordzadze and Y. N. Skiba, 1975. Calculation of the Basic Hydrological fields in the Black Sea. *Atmosf. and Ocean Physics*, **11**(4), 379-393.
- Moskalenko L. V. (1976) Calculation of Stationary Wind-Driven Currents in the Black Sea, *Oceanology*, **15**, 168-171.

- Oğuz, T. and P. Malanotte-Rizzoli, 1996. Seasonal Variability of Wind and Thermohaline - Driven Circulation in the Black Sea: Modeling Studies, *J. Geophys. Res.*, 101(C7), 16,551-16,569.
- Oğuz, T., Ş. Beşiktepe, Ö. Baştürk, İ. Salihoğlu, D. Aubrey, A. Balcı, E. Demirov, V. Diaconu, L. Dorogan, M. Duman, M., L. I. Ivanov, S. Konovalov, S. Stayanov, S. Tuğrul, V. Vladimorov and A. Yılmaz, 1993c. CoMSBlack'92a, Report on the Physical and Chemical Intercalibration Workshop, 15-29 January 1993, CoMSBlack 93-012 Technical Report, Institute of Marine Sciences, METU, Erdemli, Turkey, May 1993.
- Oğuz, T., D. G. Aubrey, V. S. Latun, E. Demirov, L. Koveshnikov, V. Diaconu, H. İ. Sur, Ş. Beşiktepe, M. Duman, R. Limeburner and V. Eremeev, 1993b. Mesoscale Circulation and Thermohaline Structure of the Black Sea Observed during HydroBlack'91, *Deep-Sea Res.*, 41, 603-628.
- Özsoy, E. and Ü. Ünlüata, 1997. Oceanography of the Black Sea: A Review of Some Recent Results, *Earth Sci. Rev.*, 42(4), 231-272.
- Pacanowski, R. C., K. Dixon, and A. Rosati, 1991: The GFDL modular ocean model user guide, The GFDL Ocean Group Technical Report No. 2., Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, USA., 16 pages.
- Pacanowski, R. C., and S. M. Griffies, 1998: MOM 3.0 Manual, NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, USA 08542.
- Robinson, A.R, Physical Processes, Field Estimation and Interdisciplinary Ocean Modeling, *Earth-Science Reviews* 40, 3-54, 1996a.
- Stanev, E., Trukhchev, D. I. and V. M. Roussenov, 1988. The Black Sea Circulation and Numerical Modeling of the Black Sea Currents, Sofia University Press, Sofia, 222p. (Rusça).
- Stanev, E. V., 1989. Numerical Modelling of the Circulation and the Hydrogen Sulphide and Oxygen Distribution in the Black Sea, *Deep-Sea Res.*, 36A, 1053-1065.
- Stanev, E. V., 1990. On the Mechanisms of the Black Sea Circulation, *Earth - Science Reviews*, 28, 285-319.
- Sur, H. İ., E. Özsoy and Ü. Ünlüata, 1994. Boundary Current Instabilities, Upwelling, Shelf Mixing and Eutrophication Processes In The Black Sea, *Prog. Oceanogr.*, 33, 249-302.
- Titov, V. B., 1980. Character of the Circulation and Vertical Structure of Currents in the Eastern part of the Black Sea, *Oceanology*, 20, 279-282.
- Trukhchev, D. I., Ye. V. Stanev, G. D. Blashov, G. D. Miloshev and V. M. Rusenov, 1985. Some Unique Features of the Mesoscale Structure of Hydrological Fields in the Western Part of the Black Sea, *Oceanology*, 25, 443-446.