

## Karadeniz akıntı ve batimetri profiline kıyı kirliliğine etkisi

Muhsin Kanbaz<sup>1\*</sup>, Melis Uzar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul.

**Öz:** Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde deniz kıyı kirliliğinin önlenmesi ve doğal yapının korunması başta insan sağlığı olmak üzere diğer tüm canlıların ekosistemindeki dengeyi sağlama açısından önem taşımaktadır. Nüfus ve deniz trafiğindeki artış denizlerin kirlenme hızını artırmaktadır. Bu nedenle, denizlerde oluşabilecek kirliliğin tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması yaşanabilir bir çevre için önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Karadeniz'e ait akıntının aylık ve yıllık akıntı şiddeti ve yönü baz alınarak meydana gelebilecek olası kirliliğin yayılımı incelenmektedir. Akıntı değerleri ve bölgedeki batimetri profili ele alınarak önerilen yöntemde dönemsel olarak mevcut akıntı profillerinden meydana gelebilecek herhangi bir kirliliğin yayılım yönü tespit edilmiştir. Böylece, Karadeniz akıntı profiline belirli bir yönde ilerlemesi ve batimetride meydana gelen değişikliklerin akıntı yönü ve şiddetini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, deniz üzerinde oluşacak herhangi bir kirliliğin yayılım durumunun Coğrafi Bilgi Sistemleri ile tespit ve takip edilerek, batimetri ve akıntı değerleri ile Python programlama dilinde model geliştirilmiştir. Modelin doğruluğu %85 olarak analiz edilmiştir. Sonuçta, çalışma alanında oluşan kirliliğin tespitinde akıntı ve batimetri profiline modele dahil edilmesiyle daha az insan gücü kullanılarak hızlı, doğru ve güvenilir bilgi elde edilmesine katkı sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Kıyı kirliliği, Akıntı profili, Karadeniz, CBS, Batimetri

### The effect of the Black Sea current and bathymetry profile on coastal pollution

**Abstract:** In our country, which is surrounded by seas on three sides, preventing coastal pollution and preserving the natural structure are important not only for human health but also for maintaining the balance in the ecosystem of all other living beings. The increase in population and sea traffic is accelerating the rate of pollution in the seas. Therefore, the detection of possible pollution in the seas and taking necessary measures are important for a livable environment. In this study, the potential spread of pollution in the Black Sea is examined based on the monthly and yearly intensity and direction of currents. By considering the current values and the bathymetric profile of the region, any pollution that may occur from existing current profiles has been identified directionally in the proposed method. Thus, it has been determined that the progression of the Black Sea current profile in a certain direction and changes in the bathymetry significantly affect the direction and intensity of the current. In this study, a model has been developed using Geographic Information Systems to detect and track the spread of any pollution on the sea, incorporating bathymetric and current values with the Python programming language. The accuracy of the model was analyzed as 85%. As a result, by including the current and bathymetric profile in the detection of pollution in the study area, contribution has been made for obtaining faster, more accurate, and reliable information with less human effort.

**Keywords:** Coastal pollution, Current profile, Black Sea, GIS, Bathymetry

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 216 322 2580 (3350)

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2024  
Kabul Tarihi/Accepted: 29.05.2024



## 1. Giriş

Deniz kirliliği, insan etkisiyle çeşitli atık maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak denize bırakılması sonucunda oluşmaktadır. Bu kirlilik deniz ekosistemine ve balıkçılığa zarar vermektedir. Kontrol altına alınması için ulusal ve uluslararası çaba gösterilmektedir (Sesal, 2009). Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz, jeopolitik konumu nedeni ile büyük ticaret ve göç merkezi haline gelmiştir. Ayrıca, deniz ve kıyılarımızın doğal güzelliklere sahip olması nedeniyle her yıl milyonlarca turist in seyahat rotasında yer almaktadır. Bu kapsamda, deniz ve kıyılarımıza verilmesi gereken önem her yıl giderek artmaktadır. Son yıllarda deniz kenarlarında ve sahil şeridinde yer alan şehirlerden kaynaklanan; evsel, endüstriyel, tarımsal ve sanayi tesis atıkları nedeniyle deniz ve kıyılarımız sürekli olarak kirlenmektedir (Alkavli & İlhan, 2022). Zararlı maddelerin ve atıkların uygun olmayan şekillerde ambalajlanması ve nakledilmesi, yanlış ve düzensiz işaretleme başta olmak üzere, insan kusurlarından dolayı meydana gelen kazalar, atıkların denize dökülmesine ve yayılmasına neden olmaktadır (Özdemir, 2012). Nesnelere rüzgârla okyanusa taşındığı bir tür okyanus kirliliği olan atmosferik kirlilik genellikle çöplerden kaynaklanır. Biyolojik olarak ayrışması yüzlerce yıl sürebilen tek kullanımlık plastikleri ve strafor kapları içerir. Dünya çapında yılda yaklaşık 1 trilyon plastik poşet kullanılmaktadır (URL-1). Türkiye'nin üç tarafını çevreleyen denizler; ulaşım, balıkçılık ve turizm gibi birçok faaliyetlerde var olup sosyo-ekonomik açıdan büyük bir katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte kıyı alanlarındaki kirliliğin artması, sanayileşme sonucu ortaya çıkan deniz kirliliği, düzensiz balıkçılık faaliyetleri ile deniz ekosistemlerinin tahribatı, dünyanın geri kalanında olduğu gibi bizim ülkemizin de gündemindeki en önemli çevre problemlerindedir (Batur, 2023).

Karadeniz; 27°27' ve 41°42'D boylamları ile 40°55' ve 46°32'K enlemleri içerisinde bulunmaktadır. Kuzeydoğusunda yer alan Kerç Boğazı ile Azak Denizi'ne ve güneybatısında yer alan İstanbul Boğazı ile birlikte Marmara Denizi'ne bağlıdır. Doğu-Batı arasında, en uç noktaların uzaklıkları 1149 km ve kuzey-güney yönünde en büyük genişliği 611 km'dir. Yüzey alanı 423 488 km<sup>2</sup>, toplam hacmi ise 573 000 km<sup>3</sup>'tür. En derin yeri ise 2200 m ile Sinop ili açıklarındadır (Gürbüz, 2010). Karadeniz'deki deniz kirlenme seviyesinin artması dikkat çekici bir noktadadır. Karadeniz'in birçok ülkeye kıyısı olması nedeniyle kirlilik yükü farklı bir boyuttadır (Öncü vd., 2021). Karadeniz, Avrupa ile Asya kıtalarının önemli akarsularıyla birlikte kendi alanının yaklaşık 5 katı büyüklüğünde bir alanın kirliliğine maruz kalmaktadır (Alkan vd., 2008). Buna bağlı olarak Karadeniz'de deniz kirliliği karmaşık ve çok boyutlu bir yapı haline gelmiştir. Çeşitli su kaynaklarından beslenen Karadeniz'de meydana gelen kirlilik yapısal özellikleri nedeniyle deniz sağlığının korunmasını giderek zor bir hale getirmektedir. Karadeniz'de çevre sorunlarını oluşturan faktörlerin karmaşık ilişkileri Karadeniz'i çevresel ve ekonomik anlamda olumsuz etkilemektedir.

Türkiye'nin kıyısında yer alan denizler Dünya'daki diğer denizler gibi sürekli bir kirlilik etkisi altındadır. Bu kirlilik nedenleri arasında evsel atıklar, denizel çöpler ve kara kökenli kirlenme önemli bir rol oynamaktadır. Bilhassa artılmamış atıkların deniz ve birçok kıyı alanına bırakılması durumu devam etmektedir. Oysaki atık suda yer alan katı atıklar çöktürüldükten sonra azot ve fosfor giderimi de yapılarak deniz ortamına temiz suyun bırakılması gerekmektedir. Türkiye'de gelişmiş arıtma yapan atık su arıtma tesislerinin oranı yaklaşık %20'dir ve bu oran yetersizdir (URL-2). Deniz kirliliği kıyıları etkileyen ciddi bir çevre sorunudur. Esas olarak yoğun nüfuslu bölgelere bitişik kıyı bölgesini etkiler. Bu bölgedeki kirlilik kaynaklarının tespit edilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi uzaktan algılama verileri ile mümkün olabilmektedir (Shaban, 2008). Deniz kirliliğinin azaltılması, kimyasal (dağıtıcılar, katılaştırıcılar), mekanik (filtreler, kürekler, bomlar ve süpürücüler) ve biyolojik (mikroplar, biyolojik büyütme) yöntemler dâhil olmak üzere farklı yaklaşımlar gerektirir. Denizlerde meydana gelen kirlilikleri tespit etmek ve azaltmak için bulut bilişim platformları, robotik ve yapay zekâ gibi bilgisayar tabanlı çözümler kullanılmaya başlanmıştır (Anthony vd., 2023). Deniz, göl ve akarsularımızda yaşayan canlıların sayı ve tür olarak giderek azalmış olması, yanlış yapılaşma ve avlanma, uygun olmayan teknoloji kullanımı deniz kirliliğinin en önemli

nedenlerindedir. Deniz kirliliğinin önlenmesi, toplum ve insanlığın geleceği açısından çok büyük bir önem arz etmektedir. Denizlerimizde meydana gelen bu kirlilik yayılımının denizlerdeki canlı yaşamını da olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Su yüzeyinde oluşan kirliliğin tespiti ile petrol, tarımsal ilaç vb. ile karışabilen maddelerden meydana gelen kirliliğin tespit edilmesi farklı yöntemler ile mümkün kılınabilmektedir. Karadeniz'in hem batimetrik hem de meteorolojik koşulları göz önüne alındığında kıyısı olan diğer denizlerden daha farklı profillere sahip olduğu görülmüştür. Karadeniz'in çevresel sorunlarının ana nedenlerini araştırmak ve bu sorunlara çözüm sağlamak amacıyla 21 Nisan 1992'de Bükreş'te "Karadeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunması" Sözleşmesi imzalanmıştır. Ülkeler bu sözleşme ile deniz çevresinin dış etkenler tarafından kirlenmesinin önlenmesi ve ortadan kaldırılması taahhüdünde bulunmuşlardır. Aynı zamanda, Karadeniz'de meydana gelecek olası kirliliğin İstanbul Boğazı'na etkisi kaçınılmazdır. Bunun sebebi ise meteorolojik şartlardan kaynaklanan düşük buharlaşma ve nehirlerle beslenen Karadeniz'in su seviyesinin, Marmara Denizi'nden 40 cm daha yüksek olmasıdır. Bu durum, Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru sürekli bir yüzey akışı oluşturmaktadır. Karadeniz'de oluşacak bir kirliliğin İstanbul Boğazı'nı da etkileyeceği görülmektedir.

[Alsharif \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada, deniz üzerindeki petrol kirliliğinin çevresel, sosyo-ekonomik etkileri incelenerek petrol ve türevi maddelerin özellikleri incelenmiş olup, petrol sızıntısı ve dökülmelerine müdahale etme, mevcut bilgi boşluklarını ve teknik zorlukları belirleme, yeni stratejiler ve karar verme şemaları önerme ve öneriler sunmada mevcut yöntemler ile teknikleri anlamamızı sağlamaktadır. [Kahraman \(2018\)](#) tarafından yapılan çalışmada; petrol kirliliğinin literatürde hukukun hangi alt dallarında incelendiği, ne gibi tanımlamalarla açıklandığı, uluslararası ve ulusal düzenlemelere yer verilerek kirlilik oluşmadan önceki tedbirler ve sonraki yaptırımlar hukuki boyutta ele alınmaya çalışılmıştır. [Tombul vd. \(2023\)](#)'deki çalışmada Doğu Akdeniz'de su yüzeyinde yüzen bir cismin akıntı ve rüzgâr etkisi ile ne kadar sürükleneceğine ve gemi trafiğine etkisi incelenmiştir. [Eronat \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Azerbaycan'ın Bakü kıyılarındaki insan kaynaklı sızıntılar, farklı (Sentinel-1, Sentinel-2 ve Landsat-8) uydu görüntülerinin görüntülenmesi ve işlenmesi için en uygun yazılım olan açık kaynaklı Sentinel Uygulama Platformunun (SNAP) 6.0 sürümü kullanılarak tespit edilmiştir. [Özdemir \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışmada; denizlerin kirliliğe karşı korunmasının önemi, gemi kazaları ve işletmelerden kaynaklanan kirlilikler incelenmiş olup, gemilerden kaynaklı kirliliğin önlenmesi ve giderilmesi konusunda ülkemizde yapılan süreç ve uygulamaların genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve bu önlemlerin ne ölçüde uygulanabilir olduğu araştırılmaya çalışılmıştır. [José G. B. Derraik \(2002\)](#) denizdeki plastik kirliliğinin sosyo-kültürel etkilerini kategorize etmek için tanım ve kavramsal çerçeve sunarak, yaşam tarzı, ruh sağlığı, kültürel ve miras etkilerini vurgulayarak bu etkileri değerlendirmişlerdir. [Ilgar vd. \(2013\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Çanakkale Boğazı'nda meydana gelebilecek petrol sızıntılarının saptanmasına yönelik petrol tayininde kullanılan Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) analizi ile deniz suyunda ve dip yapısında UVF (Ultraviolet Fluorescence) analizi yapılmıştır.

[İnan \(2011\)](#) tarafından yapılan çalışmada; üç boyutlu (3B) bir model olan HIDROTAM kullanılarak İskenderun Körfezi'nde meydana gelebilecek petrol kirliliği dağılımı irdelenmiştir. [Tirmanoglu \(2022\)](#) tarafından yapılan çalışmada; Marmara Denizi'nde, düşük mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden faydalanılarak deniz yüzeyi sıcaklığı (Sea Surface Temperature, SST), Klorofil-a (Chl-a) ve Toplam Askıda Katı Madde (Total Suspended Solids, TSS) parametrelerinin zamansal değişimleri incelenmiştir. [Aydın \(2009\)](#) tarafından yapılan çalışmada; iki boyutlu (2B) bir petrol tabakası dağılım modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, yatay düzlemde 2B ilerlemeli yayılma denkleminde dayanmakta ve petrolün suya dökülmesinden sonra izlediği adveksiyon, difüzyon, buharlaşma ve kıyı çizgisinde birikim süreçlerini dikkate almaktadır. [Sancak \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Karadeniz'in etkisi altında kaldığı sanayi kirliliği ve diğer çeşitli kirlilik etkenlerinin, su ve dip yapısı İnce Filmlerde Yaygın Gradyanlar (DGT) yöntemi ile belirlenerek mevcut kirliliğin kalite standartlarına göre değerlendirilmesi ele alınmıştır. [Batur \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada, balıkçı barınaklarındaki su ürünleri kalıntılarının deniz kirliliğine etkisi ele alınmıştır. [Şener vd. \(2020\)](#), tarafından yapılan çalışmada, Antalya'nın Kaş

ilçesinin kirlilikten etkilenmesi mümkün kıyı bölgesinde farklı lokasyonlardan aylık zaman diliminde alınan deniz suyu örneklerinin fiziksel-kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi incelenmiştir. Ayrıca, su kalite parametrelerinin istatistiksel analizi de yapılmıştır. [Berov ve Klayn \(2020\)](#) çalışmalarında, 2019 yılına ait veriler ile Bulgaristan'ın Karadeniz'e kıyısı olan bölgelerinden plastik kirlilik seviyesini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, bölgelerde mikro plastik yoğunluğunun fazla olduğu ve bu yoğunluğun Baltık Denizi ve Karadeniz'in diğer bölgelerindeki deniz kirliliğinden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, Karadeniz'deki kirliliğinin izlenmesi için deniz kirliliğinin mevcut kapsamı ile konumsal durumunun detaylandırılması için Karadeniz'de deniz kirliliği ile ilgili daha fazla araştırma ve geliştirme yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. [Sancak \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Karadeniz'in etkisi altında kaldığı sanayi kirliliği ve diğer çeşitli kirlilik etkenlerinin, su ve dip yapısı DGT yöntemi ile belirlenerek mevcut kirliliğin kalite standartlarına göre değerlendirilmesi ele alınmıştır.

Karadeniz'de kirliliğin oluşumu veya oluşan bir kirliliğin birikiminin engellenmesi, çevre denizlerimizin temizliği ve bölgede yaşayan insanların sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle deniz kirliliğinin tespitinde kullanılan başlıca yöntemlerden olan sondaj ve numune alma, uzaktan algılama, deniz yüzeyinde ve yer altında yer alan sensör ağları, yerinde gözlem için gemilerin kullanılması ve suyun biyolojik yapısının incelenerek bir kirliliğin tespit edilmesi ve sonuca varılmasının zaman alacağı değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır: İlk aşamada, Karadeniz akıntı hızına ait değerlerin elde edilmesi ve işlenmesi, ikinci aşamada, elde edilen akıntı profilinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile analizi ve görselleştirilmesi, son aşamada ise mevcut kirliliğe ait değerlerin zamansal olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Veri ve Yöntem

Karadeniz kıyılarında herhangi bir noktada meydana gelen kirliliğin yayılım durumunun incelenmesi ve bunun sonucunda daha hızlı müdahale edilerek, çevresel kirliliğin önlenmesi önemlidir. Bunun için gelişen bilim ve teknolojiyi kullanarak daha doğru sonuçlar elde edilmelidir. Bu çalışmada, deniz yüzeyinde meydana gelen bir kirliliğin tespit edilmesinde akıntı değerlerinin aylık ve yıllık profilleri, Karadeniz'e ait batimetri profili ve Karadeniz'in hidrografik yapısı incelenmiştir.

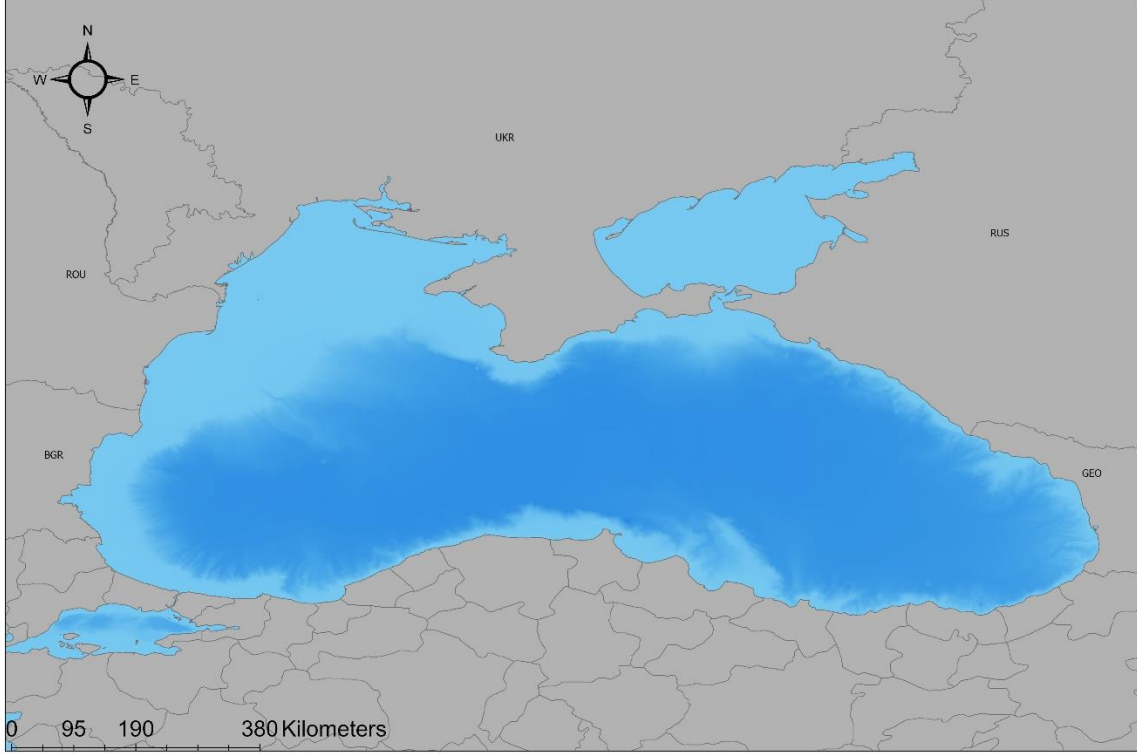
### 2.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Karadeniz hem konumu hem de jeopolitik önemi dolayısıyla çalışmanın temelini oluşturan kirlilik tespiti için uygun bir bölge olarak değerlendirilmiştir. Karadeniz'e ait genel sualtı dip yapısı incelendiğinde daha keskin yükseklik farkları olması ve bu durumun akıntı değerlerine etkisinin daha fazla olması sebebiyle çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanında kullanılan veriler açık kaynak "Marine Copernicus" ([URL-3](#)) ve "gebcos" ([URL-4](#)) verilerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada; batimetri, akıntı, deniz dip yapısı ve Karadeniz'in hidrografik yapısı kriterleri kullanılmıştır.

#### 2.1.1 Batimetri Profili

Bir bölgedeki derinlik değişimlerinin grafik ve diyagramlar ile gösterilmesine batimetri profili denilmektedir. Akıntılar, sualtında yer alan sırtlardan veya deniz dağlarından geçemez ve bu nedenle derin akıntılar büyük batimetrik özellikler taşır ([Gille & Smith, 2003](#)). Özellikle yüzey ve derin suların benzer yoğunluklara sahip olduğu yüksek enlemlerde, jeofiziksel akışlar, Dünya'nın dönüşü nedeniyle dikey olarak tutarlı (veya barotropik) olma eğilimindedir. Sonuç olarak, yüzeye yakın akıntılar, derin akıntılar ile kabaca aynı yönde hizalanma eğiliminde olup, deniz tabanındaki tümsekler ve çukurlar etrafında dönerek eşit derinlikteki seviyeleri takip etme eğilimindedir. Karadeniz'e ait batimetri profili incelendiğinde ani derinlik değişimleri olduğu dip yapısının vadi ve sırtlardan oluştuğu görülmektedir.

## ÇALIŞMA ALANI



Şekil 1: Çalışma alanı

### 2.1.2 Akıntı Profili

Akıntı profili; akıntı değerlerinde meydana gelen değişimlerin grafik ve diyagramlar ile gösterilmesine denir. Karadeniz, 1000 km uzunluğa ve 400 km genişliğe sahip olmakla beraber, Asya ile Avrupa kıtaları arasında yer alan yarı kapalı bir iç denizdir. Karadeniz’de birbirinden keskin bir yoğunluk ara yüzeyi ile ayrılan iki tabakalı su kütlesi yapısına uygun olarak iki tabakalı bir dolaşım sistemi bulunmaktadır. Bu dolaşım sistemi ele alındığında Karadeniz’in sahip olduğu akıntı yönünün kıyı boyunca siklonik (saat yönünün tersine) dolaşmakta olduğu görülmüştür. Marine Copernicus açık kaynakta sunulan veriler ile Karadeniz’de günlük, aylık ve yıllık akıntı yönleri alınarak genel bir profil elde edilmiştir. Denizde meydana gelen kirliliğin nedenleri; deniz kıyılarında kurulan sanayi tesisleri, boru hatları, meydana gelen gemi trafiği ve deniz üzerinde oluşan denizel akıntılardır. Kirlilik oluşumuna etkisi incelendiğinde en önemli etkenin akıntı olduğu kaçınılmazdır. Bir bölgede meydana gelmiş olan bir kirliliğin yayılım yönünü ve hızını deniz yüzeyinde oluşan akıntı profili belirlemektedir.

### 2.1.3 Deniz Dip Yapısı

Karadeniz’in deniz tabanı, karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Karadeniz’in genel olarak batı kıyıları, doğu kıyılarına göre daha derindir ve bu farklı derinlikler, deniz tabanının oluşumunda rol oynayan jeolojik süreçlerin sonucudur. Karadeniz Havzası’nın yaklaşık %70’ine denk gelen iç derinliği 2000 m’yi aşan düz bir topoğrafyadan oluşmakta olup kalan kesim ise dik bir eğim ile kıta sahanlığına bağlanmış olarak havzanın etrafını çevrelemiştir. Kıta sahanlığı çoğunlukla çok dar (yaklaşık 20-30 km genişliğinde) olup, sadece kuzeybatı yönünde geniş bir alanı içermektedir. Karadeniz kuzeybatı kıta sahanlığı olarak adlandırılan bu geniş ve ortalama derinliği 50 m olan sığ bölge batı kıyısı boyunca güneye doğru giderek daralmakta ve İstanbul Boğazı’nın doğusundaki Sakarya Deltası açıklarında sona ermektedir.

### 2.1.4 Karadeniz’in Hidrografik Yapısı

Karadeniz, soğuk ve tuz miktarı az olan suların, daha sıcak ve tuzlu suların üzerinde yer aldığı özel bir tabakalaşma yapısı

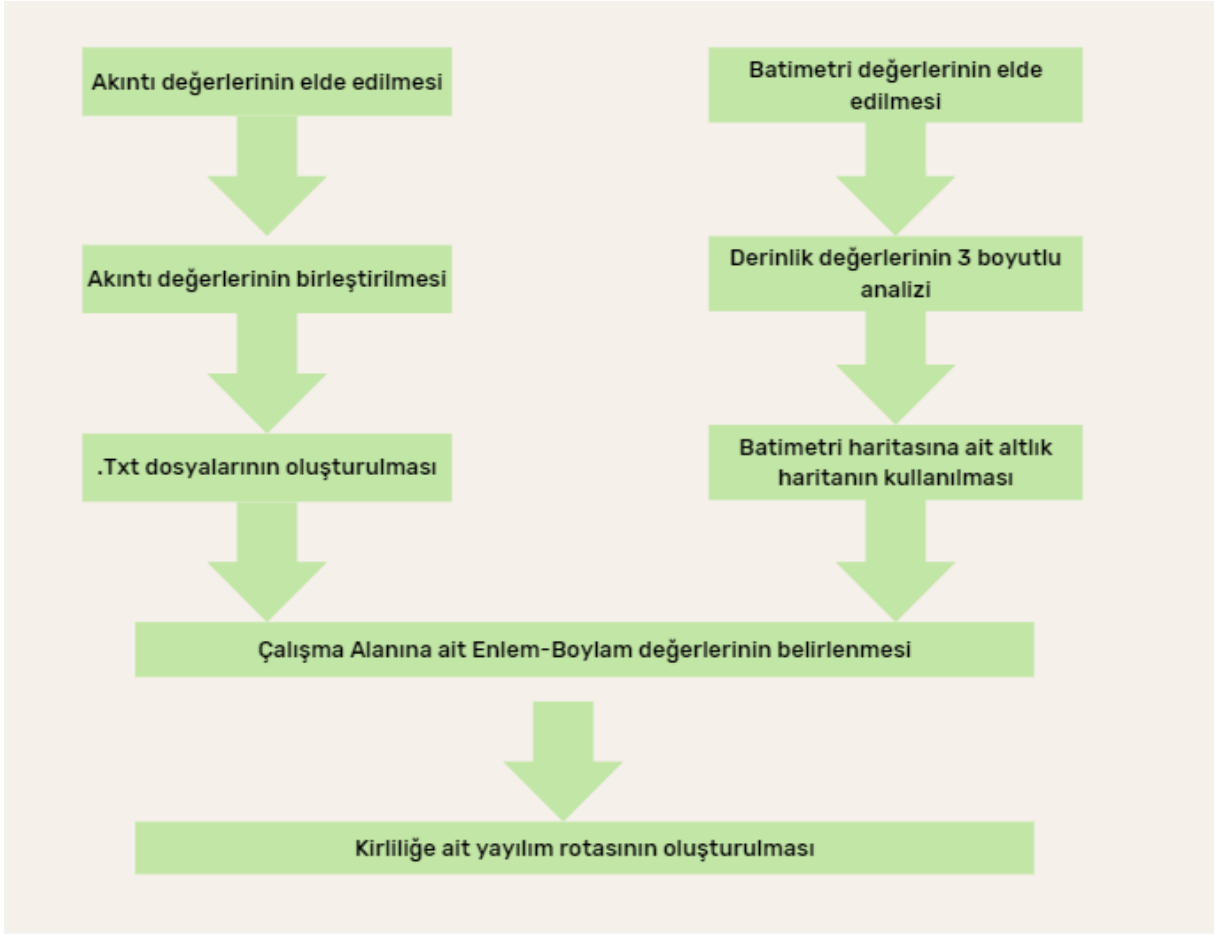
gösterir. Akarsu ve göllerden beslenmesi sebebiyle yüzeyde az tuzlu sular tatlı su girdisinin fazla olması ile oluşmuştur, daha derinlerde yer alan tuzlu sular ise Akdeniz etkisi altındadır. Kış mevsiminde mevsimsel soğuk yüzey suları nedeniyle yüzeydeki su soğur ve buharlaşma kış süresince çok fazla miktarda azalır ve kuru hava kütleleri hâkim olur. Kış mevsiminde, kuvvetli ve sürekli var olan rüzgârların, güçlü akıntılar oluşturduğu ve doğu-batı yönünde bir sirkülasyona neden olduğu görülmüştür. Merkez basenin yukarısına doğru ve altına doğru akıntıların olduğu görülmüştür. Yaz mevsiminde ise; sirkülasyonların zayıf ve iki tane merkez basende yayılmış siklonik döngünün mevcut olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmalar, Karadeniz’de 40-80 km genişliğinde çevresel bir akıntı olduğunu göstermiştir. Bu akıntıya rip akıntısı denilmektedir. Bu rip akıntısının hızı üst katmanda yaklaşık 40 cm/sn olup, 100 m derinlikte ise hızı yaklaşık %50 azalmaktadır. Daha aşağı katmanda ise hızının yaklaşık 10 cm/sn olduğu görülmüştür.

## 2.2 Yöntem

Bu çalışmada, ilk olarak verilerin elde edilmesi ve bu verilerin kullanıma uygun hale getirilmesi işlemlerini kapsayan ön işleme adımı gerçekleştirilmiştir. Bu adımda; Karadeniz Bölgesi’ne ait akıntı verileri netcdf (.nc) formatında elde edilmiştir. Bu akıntı verilerine tek bir dosyada birleştirme işlemi yapılarak dosyanın okuma işlemi daha hızlı hale getirilmiştir. Daha sonra Karadeniz’e ait batimetrik değerlerin analizi için Karadeniz Bölgesi’ne ait batimetri değerleri elde edilmiştir. İkinci aşamada; Karadeniz’e ait batimetrik profil, ARCGIS PRO’nun 3 Boyutlu analizi kullanılarak oluşturulmuştur. Son olarak, olası bir deniz kirliliğinde oluşum noktasını baz alarak kirliliğin ilerleme rotasını hesaplayan bir çözüme ilişkin kod, Python programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Şekil 2’de iş akış diyagramı verilmiştir.

Karadeniz’de herhangi bir noktada oluşan kirliliğin yayılım rotası ve hızını belirli bir modelleme ile yapmak mümkündür. Karadeniz’in kirliliğinin analizine ait yapılacak bu çalışmada CBS tabanlı ARCGIS Pro uygulaması ile Python yazılım dilinin entegrasyonu kullanılmıştır. Modellemenin oluşum aşamaları 4 madde ile özetlenebilir:

- 1) Marine Copernicus verileri ile Karadeniz Bölgesi’ne ait saatlik akıntı verilerinin netcdf (.nc) formatında elde edilmesi,
- 2) Elde edilen akıntı verilerinin tek bir akıntı verisine dönüştürülmesi,
- 3) Karadeniz’deki bir noktanın enlem ve boylam değerleriyle birlikte kullanılan verinin zaman aralığına kadar herhangi bir kirliliğin hareketinin Python dili ile oluşturulan kod ile belirlenmesi,
- 4) Python dilinde geliştirile kod ile ARCGIS Pro üzerinden görselleştirme çalışmalarının yapılarak Türkiye’nin kıyılarına etkisinin analizidir.



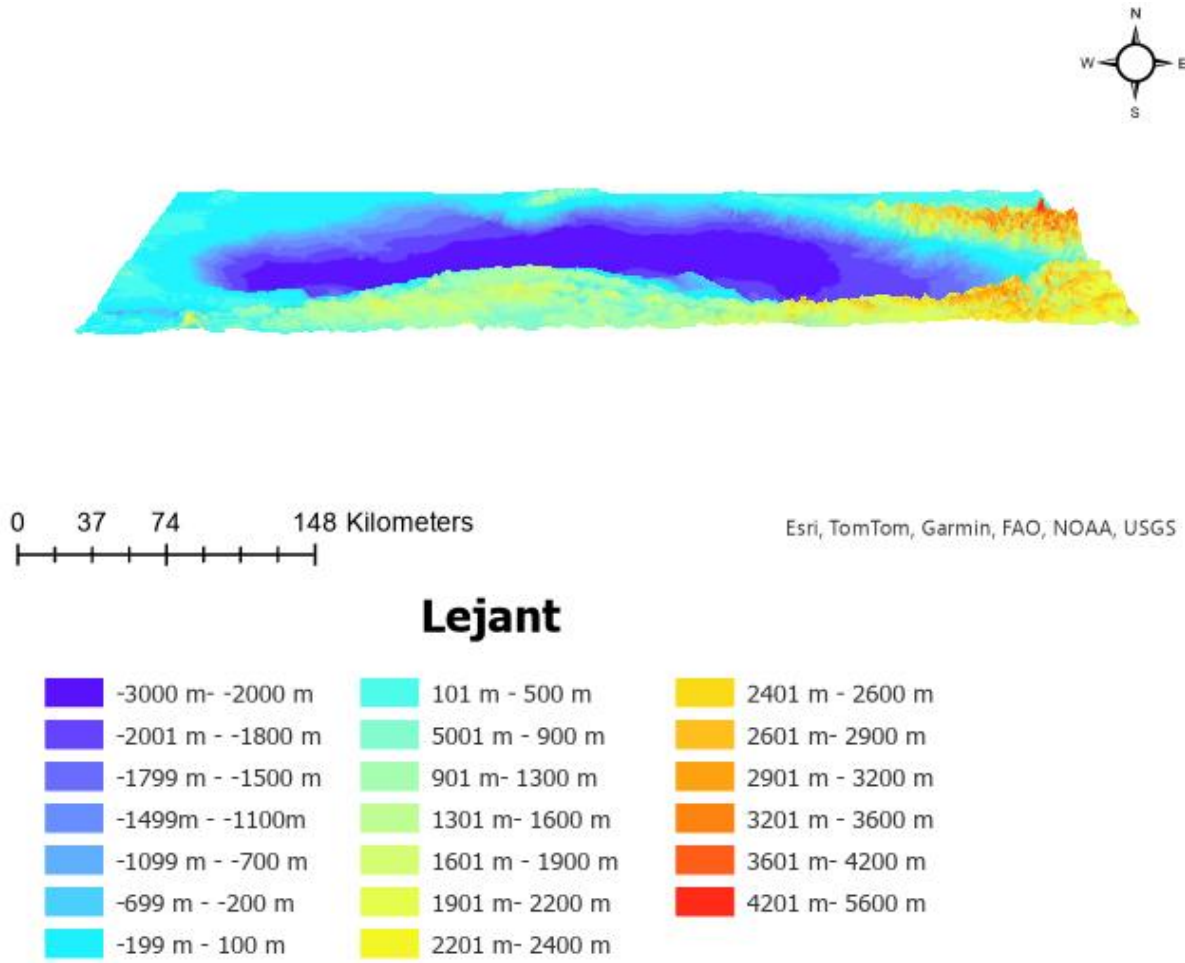
Şekil 2: İş akış diyagramı

### 3. Bulgular

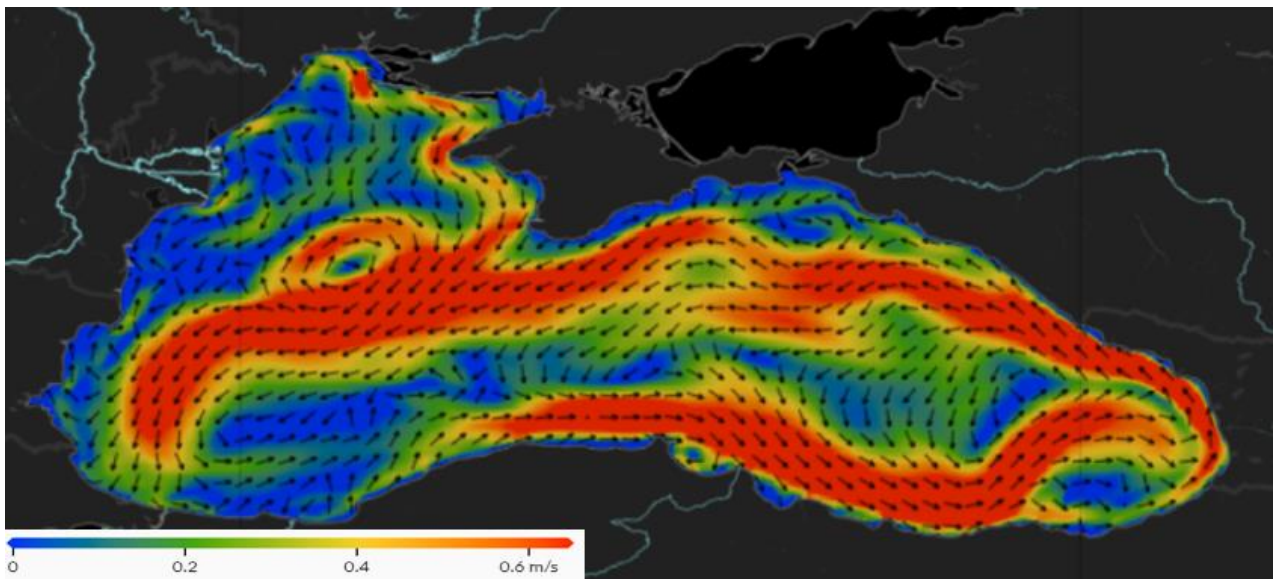
Bu çalışmada, Karadeniz'in batimetri ve akıntı değerleri göz önüne alınarak herhangi bir noktada oluşacak kirliliğin erken tahmin ve tespiti sağlanmıştır. Python programlama dili ile farklı formatlarda olan akıntı ve rüzgâr parametreleri kullanılarak elde edilen sonuç Karadeniz'in batimetri değerleri ile karşılaştırılmış ve analiz sonuçlarının programlama dilinin göstermiş olduğu tahmin görseli ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Batimetri değerinin değişim değerleri göz önüne alınarak Orta Karadeniz'de Giresun bölgesi başlangıç noktası baz alınarak oluşacak bir kirliliğin batimetri ve akıntı değerlerinin etkisi ile ilerleme rotası oluşturularak kirlilik tespiti analiz edilmiştir. Şekil 3'te elde edilen batimetri verileri incelendiğinde, Karadeniz kıyı kesimlerinden başlayarak orta Karadeniz açıklarında batimetri değeri artma eğilimi göstermektedir. Karadeniz'in 3B görüntüsü ele alındığında derinliklerin orta Karadeniz bölümünde kıyıya daha yakın bölgede arttığı görülmekte olup, elde edilen görüntü renklendirilerek görselleştirilmiştir.

Şekil 3'te batimetri profilinin 3B görünümü verilmiştir. Derinlik değerleri incelendiğinde akıntı yönü 2000 m eğrisi içerisinde değişimi daha az iken 2000 m eğrisi dışında değişimler daha sık olmaktadır. Karadeniz'e ait genel yıllık ve aylık akıntı profilleri incelendiğinde (Şekil 4 ve Şekil 5) akıntı yönünde anlık değişimlerin dışında bölgesel akıntı çevrimleri oluşmaktadır. Akıntı yönü Karadeniz'de saat yönü tersine, akıntı değeri ise kıyıya yakın yerlerde daha fazla olmaktadır. Karadeniz'in hidrografik ve sualtı jeolojik yapısı incelendiğinde deniz tabanındaki yükseklik ve derinlik değişimleri, suyun hareketi üzerinde doğrudan etkilidir. Sığ alanlar genellikle akıntı hızını artırırken, derin alanlar akıntı hızını yavaşlatmakta veya yönlendirebilmektedir. Kıyıların su sıcaklık farklarından kaynaklanan yoğunluk değişimleri ve daha sıcak ile daha soğuk sular arasındaki farklar, suyun hareket etmesine ve sonuç olarak kıyı kesimlerindeki akıntı miktarının artmasına neden

olmaktadır. Lejantta yer alan renklendirmeler yükseklikler arasındaki farkı göstermekte olup yükseklik miktarı arttıkça koyu mavi renginden kırmızı renge doğru bir renk değişimi olmaktadır.

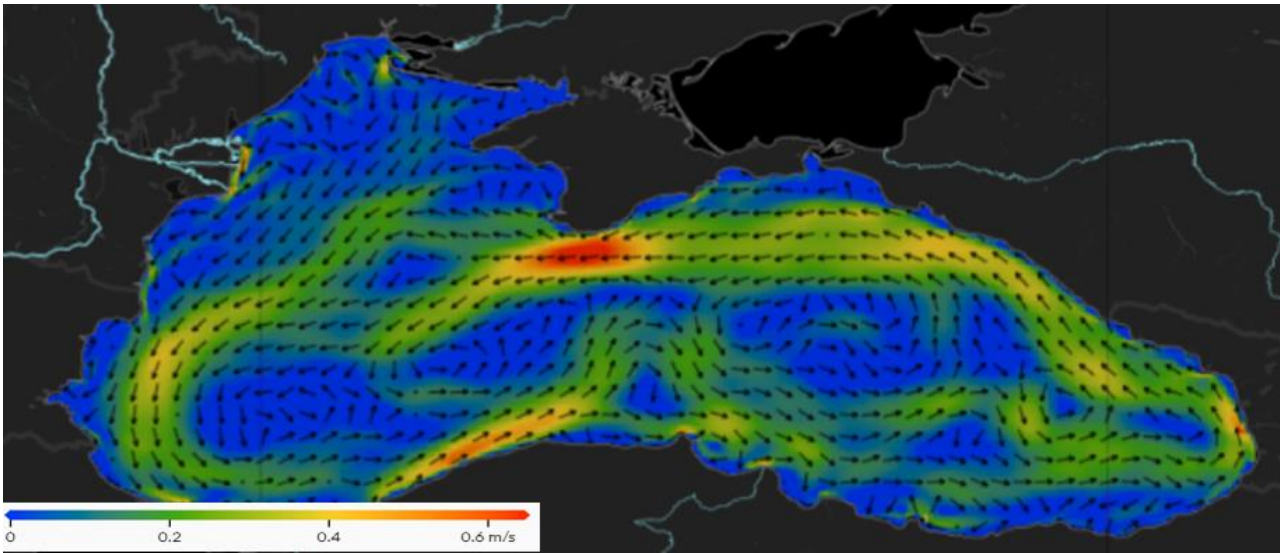


Şekil 3: Batimetrinin 3B görünümü



Şekil 4: Karadeniz'in 2023 yılına ait akıntı profili





**Şekil 5:** Karadeniz'in Ocak ve Şubat 2023 tarihine ait akıntı profili

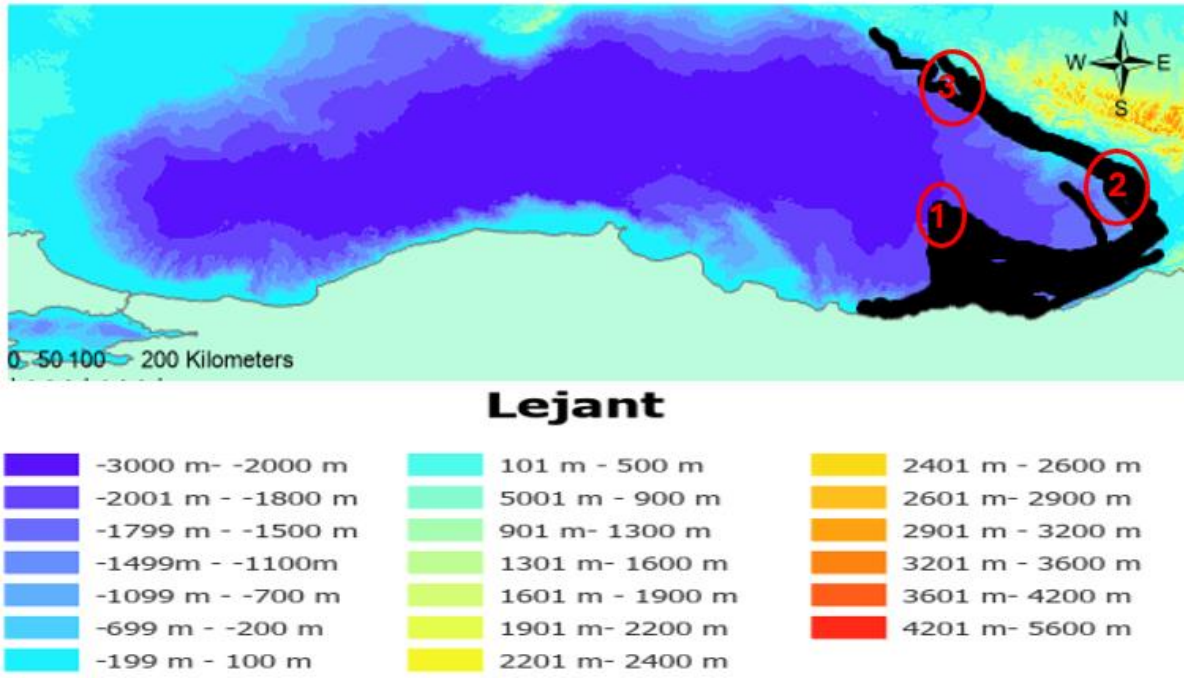
Şekil 4'te yer alan veriler 2023 yılının 12 aylık ortalama akıntı hızı değerleri alınarak oluşturulan akıntı profilidir. Şekil 5'te ise 2023 yılının Ocak ve Şubat ayına ait ortalama akıntı profili gösterilmekte olup her iki şekilde yer alan oklar akıntı yönünü, lejantta yer alan renklendirmeler ise akıntı hızını göstermektedir. 2023 yılına ait 12 aylık veriler aylık olarak ayrı ayrı incelenmiş olup her ayın akıntı profilinin aynı hareketi yaptığı görülmüştür. Veri boyutunun çok büyük olması sebebi ile sadece 2023 yılının Ocak ve Şubat ayı verileri kullanılmış ve Karadeniz genel akıntı profilinin 12 aylık verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrı dosyalar halinde indirilen Ocak ve Şubat ayı verileri yazılan kod ile birleştirilerek tek bir veri dosyası elde edilmiştir. Bu dosyalar görüntüleme ve birleştirme işlem adımlarından sonra tek bir dosya olan "current.nc" dosyasına dönüştürülmüştür. Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilen işlem adımlarına örnek olarak kirlilik analizine ait Python sözde koduna ait örnek gösterimde gruplama/sayma, nokta seçme, koordinat dönüşümleri, hesaplama ve döngü analizleri kullanılmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1:** Kirlilik analizine ait Python sözde koduna ait örnek gösterim

Satır numarası	Kod
1	<code>import pandas as pd // Program kütüphanelerini tanı</code>
6	<code>os.chdir("D:/kod/") // Oluşturulacak dosyanın yolunu göster</code>
7	<code>// Akıntı verisini .nc formatında kaydet</code>
8	<code>// Veri setini gruplara ayır</code>
9	<code>// İşlenecek verilerin zaman aralığını belirle</code>
12	<code>// Kirlilik analizinin yapılacağı noktaya ait enlem ve boylam değerlerini gir</code>
14	<code>// Kirlilik analizinin yapılacağı tarihi belirle</code>
17	<code>// İşlem sürecini başlat</code>
20	<code>// Enlem ve boylam değerlerinin derece cinsinden dönüşümünü yap</code>
35	<code>// En yakın nokta analizini kullan</code>
43	<code>// Koordinatları .txt dosyasına yazdır</code>
45	<code>// İşlem sonucunu yazdır</code>
47	<code>End</code>

Karadeniz'de kirlilik oluşumunun başlamış olduğu herhangi bir noktanın enlem ve boylam bilgileri derece cinsinden değeri alınarak .txt formatına dönüştürülmektedir. Oluşturulan dosya XY bilgileri ile oluşan kirlilik yayılımı tespit edilmiştir. Şekil

6'da Giresun bölgesinde deniz yüzeyinde meydana gelebilecek bir kirliliğin akıntı etkisi ile ilerleyeceği yol gösterilmiştir.



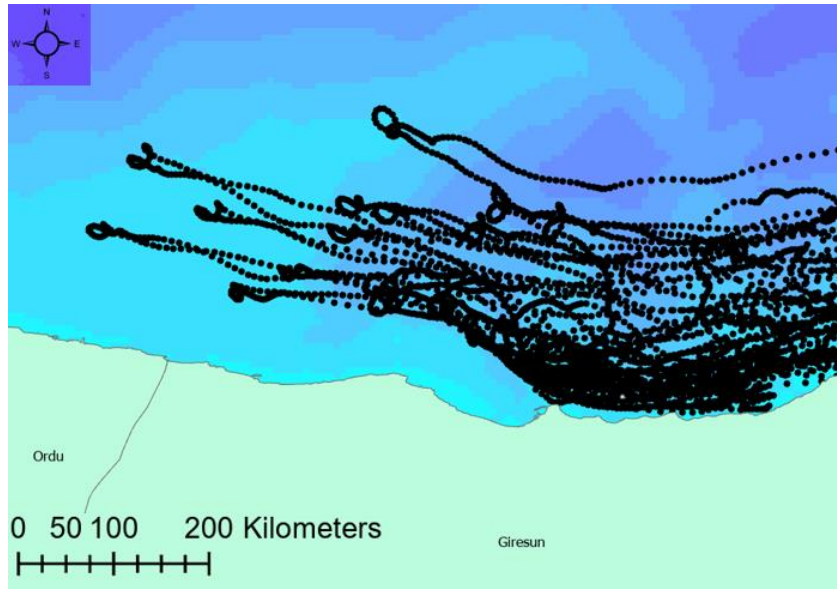
Şekil 6: Bölgesel kirlilik analizi sonuç görseli

Sonuç olarak elde edilen Şekil 6 incelendiğinde, yıllık akıntı profiline göre belirtilen noktalarda akıntı yönü 1 No'lu bölgede ilk olarak güneybatıdan kuzeydoğuya doğru yöneldiği için oluşabilecek bir kirliliğin hafif kuzey yöne doğru birikim göstermesi beklenmektedir. 2 ve 3 No'lu bölgelerde akıntı yönleri kıyıda kuzey-kuzeybatı yönünde olması nedeniyle kirlilik modeli bu yönde bir hareket izlemektedir. Genel bir akıntı yönü incelendiğinde ise Karadeniz'in kıyı kesimlerinde deniz yüzeyinde oluşacak bir kirliliğin açık denize doğru yol alma ihtimalinin düşük olduğu görülmektedir.

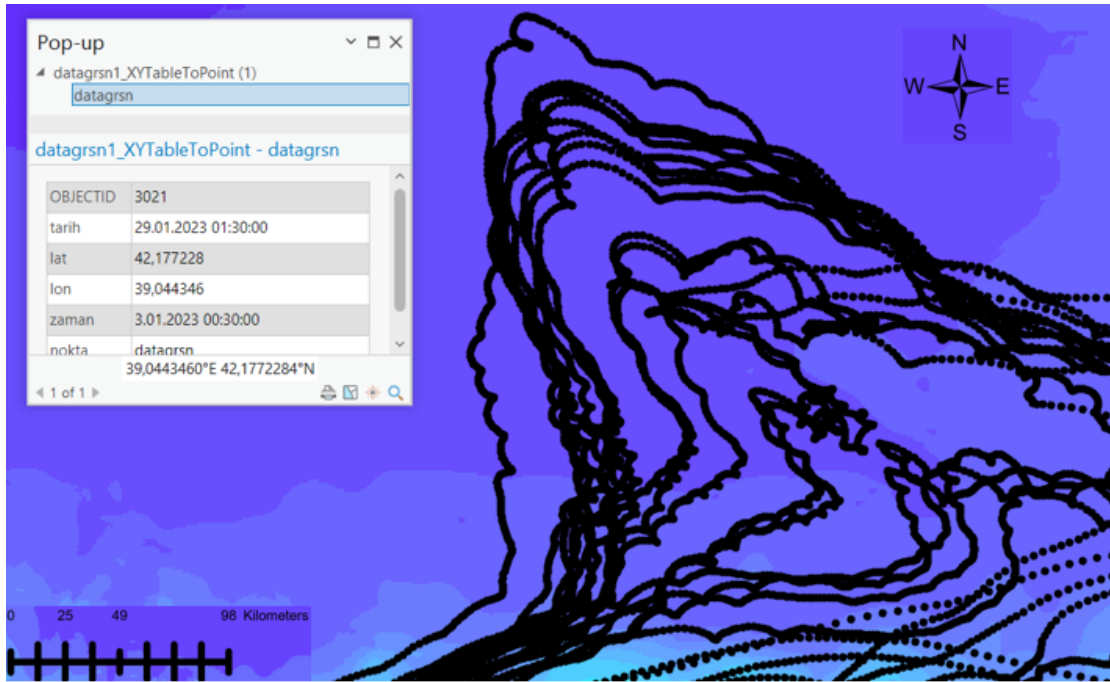
Karadeniz'de akıntı ve batimetri etkisi meydana gelen kirliliğin çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çalışmada oluşturulan modelleme su yüzeyinde yüzebilen cisimlerin yayılım durumunu izleyebilmektedir. Denizde oluşan petrol sızıntısı gibi su ile karışabilen ve özelliklerinin tespit edilmesi zor olan kirliliklerin yayılım durumları ayrıca modelleme gerektirmektedir.

Şekil 7'de noktasal olarak oluşan kirlilik bölgeleri akıntı hızı, yönü ve şiddetine göre hareket ederek belirli bir bölgede toplanmış ve bu yönde hareketine devam etmiştir. 1 Ocak tarihinde Giresun kıyılarında başlayan kirliliğin meteorolojik şartlar da gözetilerek önce kuzeybatı yönüne doğru hareket ettiği daha sonra batimetri ve akıntının etkisi devreye girerek Karadeniz'in doğu kıyılarına doğru hareketini sürdürdüğü tespit edilmiştir.

Şekil 8'de 1 Ocak tarihinde Giresun kıyılarında başlayan bir kirliliğin akıntı ve batimetrinin etkisi altında kalarak bir miktar kuzeydoğuya yöneldiği ve 3 Ocak tarihinde, başladığı yerin 160 km kuzeydoğusunda yer aldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra batimetri değeri arttığı için kirlilik batimetrik sirkülasyon içerisine girmeden akıntının etkisi altında Karadeniz'in doğu kıyılarına doğru hareketine devam etmiştir.



Şekil 7: Kirliliğin noktasal analizi



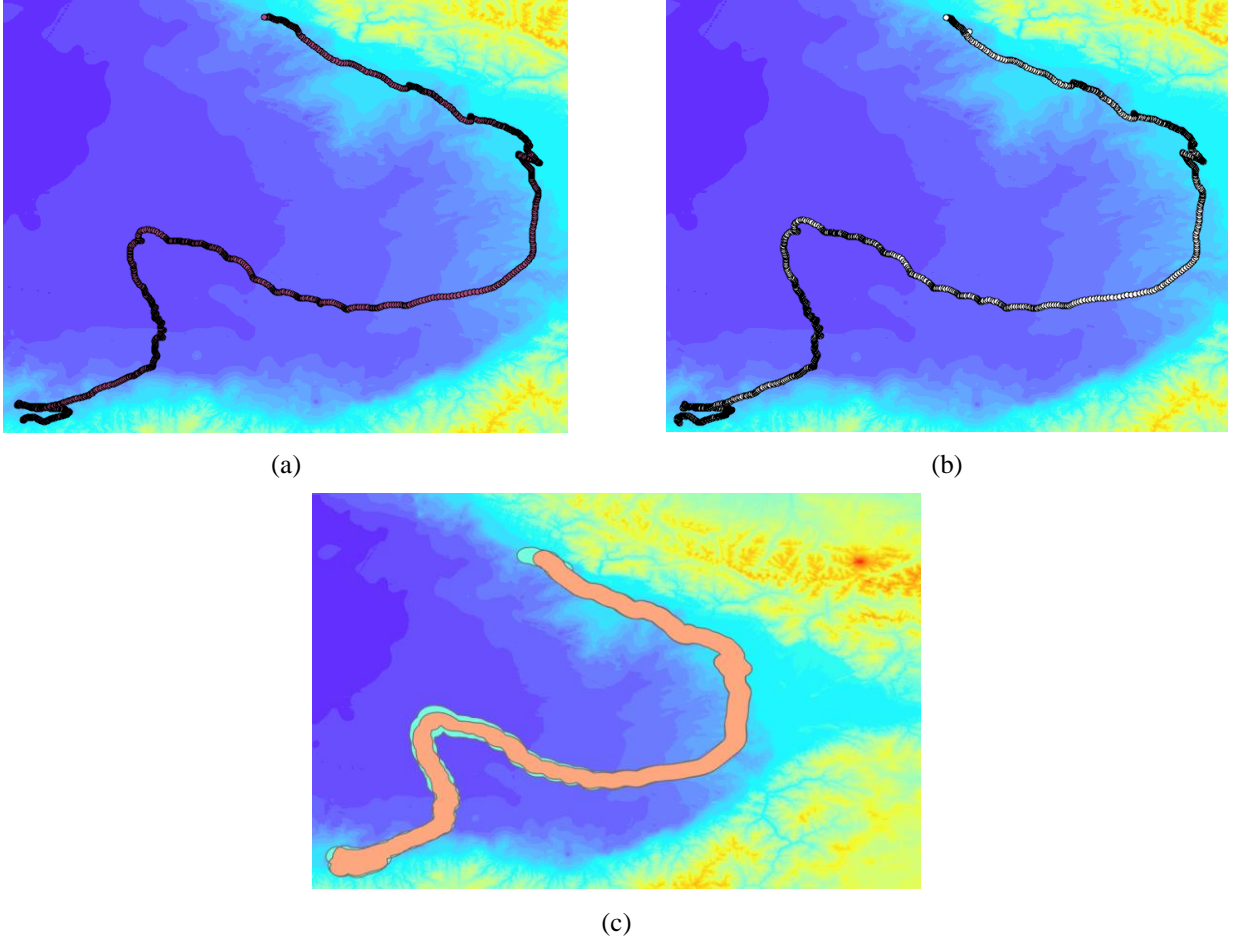
Şekil 8: Noktasal özellikler

### 3.1 Doğruluk Analizi

Kirlilik analizi tespitinde önerilen modelin doğruluk analizi için yaygın olarak kullanılan Jaccard indeksi olarak adlandırılan Intersection Over Union (IoU) metriği kullanılmıştır. Doğru sınıflandırılan noktaların o sınıftaki toplam gerçek ve tahmin edilen nokta sayısına oranıdır (Eşitlik 1). Bu metriğin hesaplanabilmesi için öncelikle referans verinin oluşturulması gerekmektedir. Python programlama dili ile yapılan kirlilik tespit analizi sonucu ile manuel hazırlanan referans veri karşılaştırılmıştır. Bu aşamada, Ocak ve Şubat ayına ait saatlik akıntı değerleri ile kirliliğin 1 gündeki ilerleme değerinin m/s cinsinden rotası hesaplanmıştır (Şekil 9a). Aynı tarihli veriler kullanılarak önerilen model ile elde edilen kirlilik rota analizi ise Şekil 9b'de verilmiştir. Model doğruluğu için toplam 1320 nokta kullanılmıştır. Şekil 9c'de her iki rotanın karşılaştırılması için tampon analizi uygulanmıştır. Şekil 9c ve Eşitlik (1) kullanıldığında IoU %85 olarak hesaplanmıştır.

$$IoU = \frac{TP}{(TP+FN+FP)} \quad (1)$$

Burada  $TP$  doğru pozitif sayısını,  $FN$  yanlış negatif sayısını,  $FP$  yanlış pozitif sayısını ifade etmektedir.



Şekil 9: (a) Manuel analiz, (b) Python analizi, (c) Manuel ve Python sonuçlarına ait tampon analizi (■ Kesişim, ■ Birleşim)

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Batı Karadeniz’de batimetri değerleri daha sığ, Orta Karadeniz açıklarında batimetri değerleri en derin, Doğu Karadeniz kesiminde ise Batı Karadeniz’e göre daha derin olduğu tespit edilmiş olup, genel batimetri görünüşünde ise kuzeyden güneye inildikçe batimetri değerleri artmaktadır. Böylece elde edilen akıntı profili incelendiğinde batı Karadeniz kıyılarından kuzey yönünden güneye doğru bir akıntı yönünün olduğu ve bu akıntı yönünün batimetri değerlerinin artış gösterdiği noktalarda oluşan derinliklerden etkilenerek daha sığ olan bölgelere doğru eğim yaptığı tespit edilmiştir.

Deniz yüzeyinde oluşabilen kirliliğin tespiti için yapılan araştırmalarda genel akıntı profili baz alınarak mevcut kirliliğin dağılım yönü tahmin edilebilmektedir. Zamansal olarak konum tespitinin de yapılabildiği bu model önlemlerin daha hızlı ve etkili alınmasına çözüm sağlamaktadır. Bu bağlamda, gerçek akıntı verilerinin programlama dili kullanılarak yapılan kodlama, bilimsel bir gerçeklik temeline oturtulmuş, insan gücü ve maliyetin azalmasına katkı sağlamıştır. Karadeniz’in tamamı çalışma alanı olarak ele alınmış olsa da kullanılan verilerin yüksek boyutlu olması sebebiyle Ocak ve Şubat ayına ait toplam 60 günlük 1416 adet (31x24+28x24) akıntı verisi kullanılarak yıllık bazda verilerin sadece %15’ini kapsamış olduğundan, kirlilik yayılım durumunda Karadeniz’in yaklaşık %25’lik bölümü görsel hale getirilebilmiş olup toplam 5800 km kıyı şeridinde sahip olan Karadeniz’in doğu kıyılarından 1200-1500 km’si analiz edilmiştir. Bu çalışmada; deniz

akıntılarının zaman içerisindeki değişimini izlemek ve belirli bir noktaya olan mesafesini ölçmek için meydana gelebilecek deniz yüzey kirliliğinin belirlenmesinde kullanılan gruplama/sayma, nokta seçme, koordinat dönüşümleri, hesaplama ve döngü analizleri kullanılmıştır. Yılın tüm ayları ele alındığında kullanılan veri boyutu artarak istenilen tarih ve bölgenin tamamının analizi yapılabilmektedir. Oluşturulan referans veri ile önerilen model karşılaştırıldığında modelin doğruluğu %85 olarak elde edilmiştir. Yapılan literatür taramaları incelendiğinde hem batimetri hem de akıntı değerlerinin bir model üzerine inşa edilerek programlama dili vasıtasıyla analizinin yapılmasına ait bir çalışma bulunmamakla beraber benzer bir modelleme yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle yapılan bu modellemenin kullanılan kriterler göz önüne alındığında Python programlama dili ile yüksek doğruluk ve hızlı çözüm sunduğu görülmüştür.

Bu çalışmada önerilen yöntem, deniz yüzeyinde oluşacak kirliliğin tespitinde başarılı bir performans göstermiştir. Bu yöntemin geliştirilmesi ile akıntı ve batimetri değerlerine ek olarak bölgenin hava şartları, dalga boyutu ve diğer matematiksel olarak hesaplanabilecek değerlerinin de çalışmaya dâhil edilmesi mümkündür.

## Yazar Katkısı

**Muhsin Kanbaz:** Fikir, Literatür taraması, Veri toplama, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Meliz Uzar:** Tasarım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Makale değerlendirme, Denetleme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Aklavli, T., & İlhan, S. (2022). Deniz kirliliği ve tatlı su boşalım alanlarının araştırılmasına yönelik çalışmalar: Gökova Körfezi (Muğla-Güneybatı Akdeniz Bölgesi). *MTA Dogal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, s.38.
- Alkan, A., Serdar, S., & Fidan, D. (2008). Kirlilik ve Karadeniz. *SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni*, 8(1).
- Alsharif, A. (2021). *Petrol kirliliğinin deniz üzerine etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye.
- Anthony, D., Siriwardana, H., Ashvini, S., Pallewatta, S., Samarasekara, S. M., Edirisinghe, S., & Vithanage, M. (2023). Trends in marine pollution mitigation technologies: Scientometric analysis of published literature (1990-2022). *Regional Studies in Marine Science*, 103156.
- Aydın, O. (2009). *Kıyusal Sularda Petrol Kirliliğinin Sayısal Modellemesi* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Batur, İ. (2023). *Balıkçı barınaklarındaki su ürünleri kalıntılarının deniz kirliliğine etkisi ve giderme yöntemleri* (Yüksek lisans tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
- Berov, D., & Klayn, S. (2020). Microplastics and floating litter pollution in Bulgarian Black Sea coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111225.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
- Eronat, A. H. (2019). Farklı kaynaklı uydu görüntüleri kullanarak Bakü (Azerbaycan) kıyılarındaki petrol kirliliğinin gözlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(61), 47-54.
- Gille, S. T., & Smith, S. L. (2003). Bathymetry and ocean circulation. *Charting the Secret World of the Ocean Floor: The GEBCO Project 1903-2003*.
- Gürbüz, O. (2010). *Karadeniz kıyılarımız boyunca hidrografik değişimler* (Yüksek Lisans Tezi). Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- Ilgar, R., Güven, K., & Güven, K. C. (2013). Çanakkale Boğazı petrol kirlilik düzeyinin saptanması. *Marmara Coğrafya Dergisi* (15), 117-130.
- İnan, A. (2011). İskenderun Körfezi'nde Petrol Kirliliğinin Modellenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University/Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2).
- Kahraman, B. (2018). *Ticaret gemilerinden kaynaklanan petrol kirliliğinin hukuki sonuçları* (Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Öncü, F., Yüce, A. M., Tapan, B. Ö., & Abdi, M. H. S. (2021). Çevresel Etkiler ve Türkiye Deniz Ekosistemleri. *Şehir Sağlığı Dergisi*, 2(2), 68-71.
- Özdemir, Ü. (2012). Türkiye'de gemilerden kaynaklı deniz kirliliğinin incelenmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 373-384.
- Sancak, Ş. (2019). *Orta Karadeniz kıyı şeridinde su ve sediman kirliliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
- Sesal, C. (2009). *Rekreasyon Alanlarını Kirletici Kaynaklarının q-PCR Yöntemi ile Belirlenmesi*. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Shaban, A. (2008). Use of satellite images to identify marine pollution along the Lebanese coast. *Environmental Forensics*, 9(2-3), 205-214.
- Şener, Ş., Şener, E., & Varol, S. (2020). Kaş (Antalya) kıyı bölgesinin mikrobiyolojik kirlilik değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 753-765.
- Tırmanoğlu, B. (2022). *Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanılarak denizlerde Kirliliğin İzlenmesi: Marmara Denizi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tombul, S., Tükenmez, E., Oksuz, M., & Altıok, H. (2023). Predicting the Trajectories of Drifting Objects in the Eastern Mediterranean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 24(1).
- URL-1: Ocean Pollution: Causes, Effects and Prevention (2023). <https://www.texasdisposal.com> (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024).
- URL-2: Türkiye Denizlerinde Kirlenme. <https://tudav.org/calismalar/kirlilik/turkiye-denizlerinde-kirlenme> (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024).
- URL-3: <https://marine.copernicus.eu> (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024).
- URL-4: GEBCO Compilation Group (2023). GEBCO 2023 Grid. <https://download.gebco.net> (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024).