



## ÇEVRESEL İZLEMELERDE DİJİTAL YAKLAŞIMLAR

### Digital Approaches in Environmental Monitoring

9 SANAYİ, YENİLİKÇİLİK  
VE ALTYAPI



**Ebru OLGUN EKER\***  
Yüksek Lisans

Çevre, Şehircilik ve İklim  
Değişikliği Bakanlığı  
Ankara, Türkiye

ORCID: 0009-0005-5016-3056  
[ebruolgun2002@yahoo.com](mailto:ebruolgun2002@yahoo.com)

**Devrim TEZCAN**  
Dr. Öğretim Üyesi

Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Deniz Bilimleri Enstitüsü  
ORCID: 0000-0003-4137-9101  
[dtezcan@metu.edu.tr](mailto:dtezcan@metu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar

Derleme makale

Geliş: 09.10.2025

Kabul: 22.12.2025

Anahtar Kelimeler

Dijital teknoloji, veri, çevresel  
izleme

Keywords

Digital technology, data,  
environmental monitoring

#### ÖZET

Çevresel verinin, özellikle de büyük verinin işlenmesi ve yönetimi karar süreci ve çevre politikaları için oldukça önemlidir. Son zamanlarda insan hayatının tüm yönlerini derinden etkileyen ve yaşam biçimini değiştiren dijital dönüşüm, çevresel izleme çalışmalarında da büyük rol oynamaktadır. Dijital teknolojilerin hızla gelişmesi, izleme ve veri toplama sistemleri, etkin çevre yönetimi, iklim değişikliği gözlemleri ve erken uyarı sistemlerin oluşturulmasına kadar çeşitli alanlarda çok çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Dijital teknolojiler, çevrenin korunması için etkili bir strateji olarak ortaya çıkmakta, hem yeşil hem de dijital dönüşümleri teşvik etmektedir. Bu çalışmada, literatür taraması yapılarak, büyük miktarda çevresel verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve yönetilmesini sağlayan dijital platformlara dayalı çevresel izlemeye yönelik dijital yaklaşım ele alınmış, izlemelerde neden ve nasıl kullanıldığı incelenmiş, çevresel izlemelerde kullanılan dijital teknolojik araçlar sunularak, bu teknolojilerin olası zorlukları ve fırsatları ortaya konulmuştur. Ayrıca, ülkemizde kullanılan dijital çevresel izleme çalışmalarından kısaca bahsedilmiştir. Bu çalışma ile dijital çevresel izlemede karşılaşılan temel zorluklar ve geleceğin etkin çevre yönetimi uygulamalarını destekleyecek fırsatlar sunularak, ülkemizde sürdürülebilir çevre politikası için kurumlar arası ortak bir stratejinin geliştirilebileceğine yönelik vizyon sunmak amaçlanmıştır. Artan veri erişiminin ve güçlendirilmiş teknik kapasitenin, karar alma süreçlerine yardımcı olan etik olarak geliştirilmiş platformlara yönelik daha fazla talep yaratacağı öngörülmektedir.

#### ABSTRACT

The processing and management of environmental data, particularly big data, is crucial for decision-making and environmental policy development. The digital transformation, which has profoundly impacted all aspects of human life and changed lifestyles, also plays a significant role in environmental monitoring efforts. The rapid development of digital technologies offers a wide range of opportunities in various areas, from monitoring and data collection systems to effective environmental management, climate change monitoring, and the development of the early warning systems. Digital technologies are emerging as an effective means of environmental protection, promoting both green and digital transformations. In this study, by conducting a literature review, the digital approach to environmental monitoring based on digital platforms that enable the collection, storage, processing and management of large volumes of environmental data is discussed, why and how these platforms are used in monitoring is examined, the digital technological tools used in environmental monitoring are presented and the potential challenges and opportunities of these technologies are presented. Additionally, digital environmental monitoring studies used in our country are briefly reviewed. This study aims to present a vision for developing an inter-institutional strategy for sustainable environmental policy in our country by highlighting the key challenges encountered in digital environmental monitoring and presenting opportunities that will support effective environmental management practices in the future. Increased data accessibility and enhanced technical capacity are anticipated to create greater demand for ethically developed platforms that support decision-making processes.

Yazıların tüm teknik ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. İleri sürülen fikir ve iddialar Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneğinin görüşünü yansıtmayabilir.

Olgun Eker E., Tezcan D. (2025). "Çevresel izlemelerde dijital yaklaşımlar". Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği, Doğanın Sesi, 8 (16): 116-141



## DOĞANIN SESİ



### GİRİŞ

Dünya çapında ortaya çıkan çevre sorunları bilimsel, toplumsal ve politik bir endişe kaynağıdır. Hızla ortaya çıkan belirgin etkiler göz önüne alındığında, sürdürülebilirliğe yönelik bilinçli bir politika ortaya koymak adına çevrenin durumunu nicelleştirmenin ve çevresel izlemenin elzem olduğu açıktır (Nakhle vd., 2024).

Çevrenin korunması ve kirliliğinin önlenmesi, mevcut durumun tespitine, problemlerin ve kaynağının doğru teşhisine, risklerin saptanmasına; bunun için de kaliteli ve güvenilir verinin üretilerek değerlendirilmesine ve bu doğrultuda çevresel önlemler alınmasına bağlıdır. Üretilen çevresel veriler ile belirlenen çevre kalite durumunun “iyi” seviyede olması sürdürülebilir yönetimlerin temel hedefidir.

Verinin, özellikle de büyük çevresel verinin işlenmesi ve yönetimi, karar almayı kolaylaştırmak, araştırmayı geliştirmek, maliyetlerin azaltılmasını sağlamak gibi imkanlar sağlamaktadır. Veriye erişim ve veri kullanma becerisi, karar süreci ve inovasyon için oldukça önemlidir. Kaliteli ve güvenilir çevresel veri ise bilime dayalı, etkin çevresel izleme sistemleri ile üretilir. Günümüze süregelen geleneksel çevresel izleme yaklaşımında bir takım zorluklar karşımıza çıkmaktadır.

Geleneksel çevresel izleme; program hedefli yaklaşım sorunu, izleme kapsamı ve sıklığı sorunu, yüksek maliyetler, verinin yönetilememesi gibi nedenler ile çevresel önlemlerin alınmasında gecikme yaşanmasına sebebiyet vermektedir (Wegner-Kozlova ve Guman, 2020).

Modern insan toplumu, hızlı bir teknolojik evrimin yaşandığı yeni bir çağa girmiştir. Bilgisayarlar, akıllı telefonlar, bilgi sistemleri iş ve yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Alkhanov vd., 2022). Son zamanlarda insan hayatının tüm yönlerini derinden etkileyen ve yaşam biçimini değiştiren dijital dönüşüm, çevresel izleme çalışmalarında da büyük rol oynamaktadır. Büyük çevresel verinin işlenmesi ve yönetimi için kullanılan dijital destekli çözümler izleme çalışmalarında büyük ölçekte yerini almış ve giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi Projesi ile dijital çevresel izleme sistemlerinde önemli bir yeri olan Marmara Denizi Dijital İkizinin alt yapısı geliştirmiştir (ÇŞİDB, ODTÜ-DBE, 2025).

Dijital çevresel izleme, çevreyle ilgili verilerin toplanmasına ve analiz edilmesine, çevresel kazaların ve felaketlerin önlenmesine olanak tanıyan nesnelere interneti (IoT) sistemleri de dahil olmak üzere modern bilgi teknolojilerinin uygulanmasıyla gerçekleştirilen bir yöntemdir (Wegner-Kozlova ve Guman, 2020).



## DOĞANIN SESİ

Dijital teknolojilerin hızla gelişmesi izleme ve veri toplama sistemleri, etkin çevre yönetimi, iklim değişikliği gözlemleri ve erken uyarı sistemlerin oluşturulmasına kadar çeşitli alanlarda çok çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Dijital teknolojiler, çevrenin korunması için etkili bir strateji olarak ortaya çıkmakta, hem yeşil hem de dijital dönüşümleri teşvik etmektedir.

Son yıllarda nesnelerin internetindeki (IoT) gelişmeler ve modern sensörlerin gelişmesiyle ortam izleme, akıllı ortam izleme sistemine dönüşmüştür. IoT çevresel izleme, hava kalitesi, su kalitesi, sıcaklık ve nem seviyeleri gibi çevre hakkında veri toplamak için Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisini kullanan bir süreçtir. Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamasına dayalı olarak izleme çalışmalarının otomatikleştirilmesi, geleneksel yaklaşımla ilgili sorunları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu IoT tabanlı sistemler, insan faaliyetlerinin olumsuz çevresel ayak izlerini belirleme olanağı da tanımaktadır. İzlemenin etkinliğini arttırmak için Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, büyük veri analitiği ve sabit/otonom araçlar gibi geleneksel ve yenilikçi yaklaşımların entegrasyonu önem arz etmektedir.

Dijital teknolojiler daha az müdahaleci olma ve veri toplamada hızlı bir şekilde uygulanabilme ve güncellenebilme avantajına sahiptir. Ancak dijital teknolojiler güvenlik saldırılarına ve siber saldırılara maruz kalmaktadır. Bazı durumlarda programlanmaları ve kalibrasyonları yıllarca veri toplama ve değerlendirme gerektirebilir (Quaranta vd., 2023).

“Veri ve veri analizinin, yeşil ve dijital geçişlerin omurgası olduğu vurgulanan JRC (2022) raporunda yeşil ve dijital 'ikiz' geçişlerini başarıyla yönetmek, sürdürülebilir, adil ve rekabetçi bir gelecek sunmanın temel taşı olduğu vurgulanmaktadır. AB düzenleyici gücünü yeşil dönüşümde olduğu gibi dijitalleşme alanında da kullanarak, hızla yürürlüğe koymaktadır. Son dönemde yayımlanan dijital politikalar yönetim süreçlerine odaklanmaktadır. Ülkemizde de On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) ile yeşil ve dijital dönüşümü odağa alan istikrarlı bir büyüme modelinin uygulanacağı belirtilmektedir.

Bu çalışmada, büyük miktarda çevresel verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve yönetilmesini sağlayan dijital platformlara dayalı çevresel izlemeye yönelik dijital yaklaşım ele alınmış, izlemelerde neden ve nasıl kullanıldığı incelenmiş, çevresel izlemelerde kullanılan dijital teknolojik araçlar sunularak, bu teknolojilerin olası zorlukları ve fırsatları ortaya konulmuştur. Ayrıca ülkemizde kullanılan dijital çevresel izleme çalışmalarından kısaca bahsedilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde çevrenin korunması ve yönetiminde çevresel izlemenin önemi, ikinci bölümde çağımızda dijitalleşme ve yasal uygulamalar, üçüncü bölümde yeni çevresel izleme yaklaşımı olan dijital izleme araçları, dördüncü bölümde bu izleme yaklaşımının sunduğu avantaj ve dezavantajlar, beşinci bölümde ülkemizde çevresel izlemelerde kullanılan dijital sistemlere dair örnekler verilmiş, altıncı bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Bu çalışma ile dijital çevresel izlemede karşılaşılan temel zorluklar ve geleceğin etkin çevre yönetim uygulamalarını destekleyecek fırsatlar sunularak, ülkemizde sürdürülebilir çevre politikası için kurumlar arası ortak bir stratejinin geliştirilebileceğine yönelik vizyon sunmak amaçlanmıştır. Kısa, orta ve uzun vadeli stratejiler kurumlar arası iş bölümü yapılması bilgi kirliliği ve kavram karmaşasının önüne geçerek zaman kaybını azaltacaktır. Artan veri erişiminin ve güçlendirilmiş teknik kapasitenin, karar alma süreçlerine yardımcı olan etik olarak geliştirilmiş platformlara yönelik daha fazla talep yaratacağı öngörülmektedir. Bu çalışma aynı zamanda dijital çevresel izlemeye yönelik literatürdeki boşluğu dolduracak, çevresel izleme uygulamalarına potansiyel bir katkı sunacaktır.



## DOĞANIN SESİ

### ÇEVRESEL İZLEMENİN ÖNEMİ

"İzleme" (İngilizce monitoring - control kelimesinden, Latince monitor - hatırlatan, uyarıcı, gözetmen anlamına gelir) terimi 1972'deki Stockholm BM Çevre Konferansı'ndan önce ortaya çıkmış, çevrenin durumunun sürekli ölçülmesi ve değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır (Alkhanov, 2022). Çevresel izleme, mevzuata uyumu değerlendirmek, kirlilik seviyelerini ölçmek, risk değerlendirmesi ile çevresel etki raporlaması için bilimsel bir temel oluşturulması sürecidir. Bu süreç, doğal çevrenin ve tüm bileşenlerinin sistematik olarak gözlemlenmesini, ölçülmesini ve değerlendirilmesini içerir. Çevrenin mevcut durumunu izlemek ve ekosisteme veya halk sağlığına zarar verebilecek değişiklikleri tespit etmek izlemede temel amaçtır (Artiola vd., 2004, Olawade vd., 2024). Mevzuat, izlemeyi zorunlu kılsa da izleme, doğru yolda olup olmadığımızı bize gösterdiği için sağlıklı bir yaklaşımdır.

Çevresel izleme bilimsel yöntemlere dayanmaktadır (Çevresel İzleme, 2025). Çevresel izlemede genel olarak alıcı ortam (hava, su/deniz, sediment, toprak), kirlenici kaynak (kentsel, evsel, endüstriyel kirlilik ve yayılı kaynaklardan kaynaklanan kirlilik izleme) ve biyoçeşitlilik izlenir. Her birinin belirli çevresel parametreleri ölçmek üzere tasarlanmış birçok farklı çevresel izleme türü vardır (Ciambra vd., 2023). Çevresel izleme için kullanılan belirli göstergeler, ele alınan araştırma sorusuna ve çevresel soruna bağlıdır (Nakhle vd., 2024).

Genel anlamda çevresel izleme pek çok amaca yönelik yararlar sağlamaktadır:

- Kirlilik faktörlerini, kirlenici kaynakları belirleyebilmeyi, kirliliğin boyutunu kestirebilmeyi ve önlemler alabilmeyi kolaylaştırır. Kirlilik sorunlarının zamanında tespit edilip giderilmesi, çevre kirliliğinin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki etkisini önleyebilir ve azaltabilir.
- Kaynakların rasyonel kullanımı ve sürdürülebilir kalkınma sağlanabilir, aşırı kullanım ve çevresel tahribat önlenir. İklim değişikliğine yönelik politikalar ve önlemler formüle etmeyi sağlar.
- Kanıta dayalı politika geliştirme ve yönetim sistemlerine bilgi sağlamada önemli bir rol oynar. İzleme çevre yönetim sisteminin başarılı bir şekilde uygulanması için olmazsa olmaz bir unsurdur (Puig, M. and Darbra R., 2024). Çevrenin korunması ve iyileştirilmesinde, güncel ve güvenilir çevresel veri ve bilgileri karar verme mekanizmalarına yansıtma, çevre politikalarının geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesinde çok önemlidir.
- Sorunlar veya problemler ciddi, maliyetli veya geri döndürülemez hale gelmeden önce erken uyarı verebilir. Kirleniciler ile mücadelede uluslararası işbirliği sağlar.
- Politika ve plan etkinliğini artırmak için eylemde bulunulmasını sağlayarak maliyetleri azaltır. Diğer izleme sistemlerine (sosyal ve ekonomik sistemler dahil) katkıda bulunur.
- Tesislerin çevresel izleme ve raporlama süreçlerinin güçlendirilmesi, çevre mevzuatına uyumunun daha iyi izlenmesini, hesap verebilirlik ve maliyet tasarrufu sağlar. Risklerin erken tespit edilmesine yardımcı olur (Çevresel İzleme Kılavuzu, 2025, İzlemenin Faydaları, 2025, Çevresel İzleme, 2025).

### DİJİTALLEŞME VE YASAL DÜZENLEMELERİ

Dijitalleşme, dijital teknolojilerin günlük yaşama entegrasyonudur. Bu entegrasyon, bilginin dijitalleştirilmesiyle mümkündür. Dijitalleşme dar anlamda, fiziksel olarak toplanan bilgileri, sesi, görüntüyü bilgisayar tarafından okunabilir bir dile, dijital formatlara dönüştürme süreci olarak tanımlanır (Mondejar vd, 2021).



## DOĞANIN SESİ

Dijital platform, verileri yapılandırılmış bir biçimde biriktirmek, değiştirmek ve yönetmek için bir ortam olmasının yanı sıra, dijital ekosistemdeki katılımcıların teknolojik arayüzleri aracılığıyla kendisine bağlı hizmetlerle işlevleri çağırarak için bir sistemdir (Bychkov ve Fereferov, 2022, Zaralı vd., 2024). Bu sistem, malların, hizmetlerin, sermayenin, bilginin ve fikirlerin hareketini hızlandırmıştır. Aynı zamanda insanların öğrenme, etkileşim kurma ve geçim kaynaklarını değiştirmelerini sağlayan yeni endüstriler ve altyapılar yaratmıştır. Bu da çoğu durumda maliyetlerin düşmesine, yeni fırsatların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. En geniş anlamıyla, "dijitalleşme" süreci, yeni teknolojilerin gelişimi ve sosyo-ekonomik etkileri doğrultusunda gerçekleşen kapsamlı bir değişim sürecidir (Zaralı vd., 2024). Dijitalleşme sürecinde elde edilen veribilirlik, erişilebilirlik, birlikte çalışabilirlik, yeniden kullanılabilirlik ilkelerini kapsayan FAİR ilkelerine (Wilkinson vd., 2016) göre yapılandırılmalıdır.

Dijital teknoloji, Avrupa'nın sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma stratejisinde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Yeni Nesil Avrupa Birliği (AB) paketi, Üye Devletlerin COVID-19'un sonuçlarından kurtulmalarını destekleme rolünün yanı sıra, onları daha yeşil ve daha dijital hale getirmek için de tasarlanmıştır (Koundouri vd., 2023). AB tarafından 11 Aralık 2019 tarihinde açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatının ardından AB'nin "ikiz dönüşüm" stratejisi kapsamında yeşil dönüşümle birlikte bir diğer önemli önceliğinin dijital dönüşüm olduğu bilinmektedir. AB Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre-JRC) tarafından 29 Haziran 2022 tarihinde yayımlanan Stratejik Öngörü Raporu'nda özetle, dijital teknolojilerin yeşil dönüşümün hedeflerine ters düşen çevresel ayak izlerinin olduğu vurgulanarak, uzun vadeli geleceğimize yön verecek en önemli iki akım olan dijital ve yeşil dönüşümün, birbirlerini güçlendirici ve tamamlayıcı şekilde ele alınmaması durumunda yeşil dönüşüm sürecinin kesintiye uğrayabileceği ifade edilmektedir (JRC, 2022). AB düzenleyici gücünü yeşil dönüşümde olduğu gibi dijitalleşme alanında da kullanarak, hızla yürürlüğe koymaktadır. Son dönemde yayımlanan dijital politikalar, Veri Yönetişimi Yasası, Yapay Zekâ Yasası, Birlikte Çalışabilir Avrupa Yasası, Veri Yasası vb. yönetim süreçlerine odaklanmaktadır.

Düzenleyici yasal enstrümanların yanı sıra Avrupa Komisyonu; 2030 yılına kadar toplumun ve ekonominin dijital dönüşümünü gerçekleştirmek için somut bir plan olan "Dijital On Yıla Giden Yol"u önermiştir. "2030 Dijital Pusulasını yayımlamış ve 2030 yılına kadar Avrupa'nın başarılı dijital dönüşümü için vizyon ve hedeflerini de ortaya koymuştur. Avrupa Komisyonu öncelikleri 2019-2024 kapsamında ikiz yeşil ve tek pazarı yaratmayı ve yeni nesil teknolojilerle toplumu güçlendirmeyi hedeflemektedir. Dijital On Yıl ile temel kamu hizmetlerinin 2030'a kadar %100 çevrimiçi olması hedeflenmiştir (EC, 2021). Avrupa Birliği (AB), aynı zamanda 2050 yılına kadar iklim açısından nötr bir Avrupa hedefliyor ve dijital planları bu değişikliği hem insanlar hem de işletmeler için faydalı kılmak üzere tasarlandı (Koundouri vd., 2023).

Ocak 2024'te yürürlüğe giren "Avrupa Veri Yasası" ile Komisyon, AB'deki tüm ekonomik sektörlerde verileri kimlerin, hangi amaçlarla kullanabileceği ve erişebileceğine ilişkin yeni kurallar aracılığıyla daha fazla verinin kullanıma sunulmasını hedeflemektedir. Veri Yasası olarak da bilinen, verilere adil erişim ve veri kullanımına ilişkin uyumlaştırılmış kurallara ilişkin mevzuat 11 Ocak 2024'te yürürlüğe girmiştir. Veri Yasası, yüksek kaliteli verilere erişimi ve bununla birlikte veri odaklı inovasyon potansiyelini artırmakta, Avrupa'nın dijital ekonomisinde inovasyonu, rekabet gücünü ve büyümeyi desteklemek için daha geniş bir veri erişilebilirliği için adil kurallar belirlemektedir (EU, 2025). Kanun, Avrupa veri stratejisinin temel dayanağıdır ve Dijital On Yılın dijital dönüşümü ilerletme hedefi ile oluşturulmuş olup, Dijital Dünya'ya önemli bir katkı sağlayacaktır.



## DOĞANIN SESİ

Avrupa Komisyonunca 2025 yılının kabul edilmesi beklenen dijital çevre alanında bir direktif önerisi olarak karşımıza çıkan "GreenData4All" girişimi, çevresel coğrafi veriler ve çevresel bilgilere kamu erişimiyle ilgili AB kurallarını güncelleyerek Avrupa'nın yeşil ve dijital dönüşümüne katkıda bulunacaktır. GreenData4All, çevresel verileri daha erişilebilir hale getirerek, kanıta dayalı karar alma süreçlerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Veri alanları, veri sağlayıcıların, araçların ve kullanıcıların veri paylaşımı için erişebilecekleri dijital ortamlardır. Bu veri alanlarından biri, iklim değişikliği, döngüsel ekonomi, sıfır kirlilik, biyolojik çeşitlilik ve ormansızlaşma konularında Yeşil Mutabakat'ın öncelikli eylemlerini desteklemek için verinin potansiyelini ortaya çıkarmayı amaçlayan Ortak Avrupa Yeşil Anlaşma Veri Alanıdır. GreenData4All girişimi, çevresel coğrafi verilerin paylaşılmasına ilişkin INSPIRE Direktifi kapsamındaki mevcut kuralları güncelleyerek geliştirecek, bu kuralları son dönemdeki kesişen dijital veri girişimleri ve mevzuatı (Açık Veri Direktifi; Veri Yönetişim Yasası) ile uyumlu hale getirecektir (EC, 2025, GreenData4All).

Avrupa Yeşil Mutabakatının ardından ülkemizin yeşil dönüşüm sürecinde dijitalleşmenin bu sürece entegre edilmesini sağlayacak çalışmalar başlatılmıştır. AB'nin yeşil ve dijital ikiz dönüşümünün ve bu dönüşüm sürecinde dijitalleşmenin etkin olarak kullanımını temin etmek üzere AB'nin Dijital Pusula belgesinde yer alan ve yeşil dönüşümle doğrudan ya da dolaylı olarak bağlantılı olan vizyon ve hedefler ülkemizce yakından takip edilmektedir. Ülkemiz için 2024 Dijital Kamu Yönetimi Bilgi Formu Destekleyen belge hazırlanmıştır. Rapor Dijital On Yıl hedeflerine ulaşmak için AB ülkeleri tarafından uygulamaya konulan veya planlanan kilit girişimleri vurgulayarak ve tanıtarak, aktif olarak desteklemektedir.

On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) ile yeşil ve dijital dönüşümü odağa alan istikrarlı bir büyüme modelinin uygulanacağı belirtilmektedir. On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)'nda çevresel izlemelere yönelik olarak "Çevresel veri setleri ve göstergelerin uluslararası standartlara uygun olarak düzenli bir şekilde üretimi ve paylaşımı sağlanacak, izleme ve değerlendirme sistemleri geliştirilecektir". ifadesi yer almaktadır.

Yapay zekâ teknolojilerine ilişkin düzenlemeler öngören Yapay Zekâ Kanun Teklifi 24.06.2024 tarihinde TBMM'ye sunulmuştur. Teklif'in gerekçesinde, Yapay Zekâ'nın sağlık, eğitim, güvenlik ve ulaşım başta olmak üzere "...kritik alanlarda devrim niteliğinde değişiklikler yaratmakta ve etkinliğini hızla arttırmakta..." olduğu belirtilmektedir. Ülkemizin siber güvenliğini güçlendirmek için strateji ve politikaların belirlenmesi ile Siber Güvenlik Kurulunun kurulmasına ilişkin esasları düzenleyen Siber Güvenlik Kanunu 19.03.2025 tarihli 32846 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır.

### ÇEVRESEL İZLEMELERDE DİJİTALLEŞME ARAÇLARI

Dijitalleşme çağında, çevre yönetimi, yeşil teknolojilerin entegrasyonundan büyük ölçüde faydalanmaya hazır bir kavşakta durmaktadır (Amirova vd., 2024). Dünyada dijital paradigmanın gelişimi bağlamında, çevresel sorunlarının çözümünde uygulama modülleri oluşturmak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu durum, çevresel izlemeye ilişkin büyük miktarda tematik ve zamansal veri, önemli sayıda yazılım, donanım sistemi ve veri iletim sistemlerinin iyileştirilmesiyle ilişkilidir (Bychkov ve Fereferov, 2022).

Günümüzde çevresel izlemenin gelecek vaat eden yöntemi çevresel bilgi sistemlerinin kullanımınıdır. Bu sistemler, mekansal, zamansal bazda veri toplamak, depolamak, işlemek ve yeniden üretmek için hizmet eder (Kozlova ve Guman, 2020).



## DOĞANIN SESİ

Günümüzde hava, su, deniz, atıksu, atık, biyoçeşitlilik, toprak izlemegibi çevresel izlemelerde; Nesnelerin İnterneti (IoT), Uzaktan Algılama, Dijital İkiz, Vatandaş Bilimi, DNA Barkodlama/eDNA, Yapay Zeka, Bulut Teknolojileri gibi çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü, düşük maliyetli sensörlerin hava kalitesi yönetiminde tamamlayıcı rolünü 2024'te resmen vurgulamıştır. Rapor, düşük maliyetli sensör sistemlerinin hava kirliliği seviyelerini değerlendirme, kaynakları belirleme ve bunları azaltmaya yönelik hava kalitesi stratejilerini destekleme potansiyeline işaret etmektedir (WMO, 2024). Gerçek zamanlı analiz, makine öğrenimi ve yapay zeka için aynı anda geliştirilen teknolojilerin bir araya gelmesi, büyük veri olarak da bilinen muazzam miktarda veriyi yönetir. Üretilen bu devasa veri sürdürülebilir akıllı entegre şehirlere geçişi hızlandıracak fırsatlar yaratmaktadır (Mondejar vd, 2021).

### Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atılan bir terimdir. İlk başlarda RFID etiketleri sayesinde radyo frekansı üzerinden birbirleriyle haberleşen cihazları kapsayan bu konsept gelişen teknoloji ile birlikte çok daha geniş bir vizyona ulaşmıştır (Taştan, 2019). IoT, gömülü sensörler, yazılımlar ve verinin değişimini ve toplanmasını sağlayan diğer teknolojiler aracılığıyla internet üzerinden bağlanan fiziksel nesnelere oluşan sağlam bir ağıdır (Mondejar vd, 2021). IoT, dağıtılmış ve oldukça akıllı sistemlerin tasarlanmasına olanak tanır ve cihazlarımızı uzaktan ve herhangi bir yer değiştirme olmadan kullanabilmemizi sağlar. IoT kablosuz sensör ağının başlıca uygulama alanı çevresel izleme çalışmalarıdır (Ullo ve Sinha, 2020). IoT, geniş sensör ağlarının konuşlandırılmasını sağlayarak çevresel izlemeyi dijital izlemeye dönüştürmüştür. Bu cihazlar çevresel veri toplayarak veriyi gerçek zamanlı iletir. Sensörler, kirlilik seviyelerini izlemek için kentsel alanlara, kirleticileri tespit etmek için nehirlere, denizlere, okyanuslara, kirlenici kaynağına veya iklim etkilerini izlemek için ormanlara konuşlandırılabilir (Defferrard, 2023). Bu tür sensörlerin ve sistemlerin en önemli kullanım amaçlarından biri de ulaşılması zor bölgelerden kesintisiz veri toplanmasıdır.

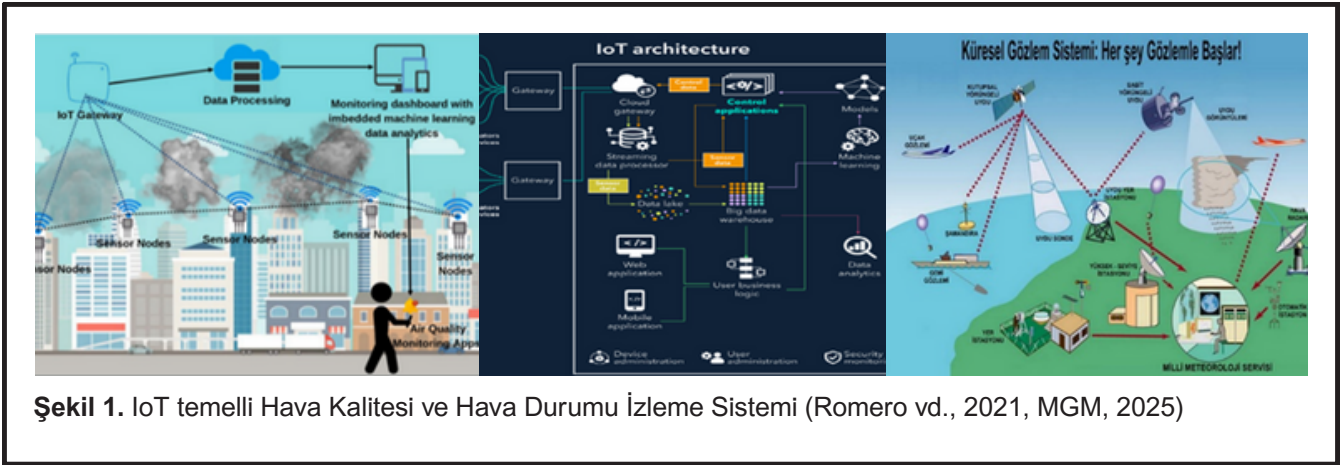
### *Hava Kalitesi ve Hava Durumu İzleme*

Sensörlerle donatılmış hava kalitesi izleme IoT cihazları, partikül madde, ozon, azot dioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit, uçucu organik bileşikler, zehirli ve yanıcı gazlar gibi hava kirleticilerini ölçmektedir. Bu sensörler dış ve iç ortamlarda kullanılabilir (Saeed, 2022). IoT tabanlı hava kirliliği izleme sistemi, verileri toplamak ve işlemek için birlikte çalışan çeşitli donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşur. Donanım bileşenleri arasında sensörler, mikrodenetleyici ve iletişim modülü bulunur. Yazılım bileşenleri ise bulut platformu, mobil uygulama ve web tabanlı gösterge panelinden oluşur. Stratejik noktalara yerleştirilen sensörler hava kalitesi parametrelerini ölçer, mikrodenetleyici verileri işler, iletişim modülü verileri bulut sunucusuna gönderir, bulut sunucusu verileri depolar ve analiz eder, validasyonu, doğrulaması yapılan veri web veya mobil uygulamalar ile kullanıcıya sunulur (**Şekil 1**) (Gajare, 2025). Verilerin gerçek zamanlı iletimi ve analizi ile son kullanıcı her yerden Hava Kalitesi İndeksine ulaşabilmektedir.

Sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yağış için sensörlerle donatılmış IoT hava istasyonları hava durumu verileri de sağlar (**Şekil 1**). Bu bilgiler hava durumu tahmini, iklim çalışmaları ve afet yönetimi için değerlidir. Geniş bir coğrafi alanda IoT cihazlarından hava durumu verileri toplayarak ve analiz ederek daha doğru ve yerleştirilmiş hava durumu tahminleri yapılabilir (Saeed, 2022).

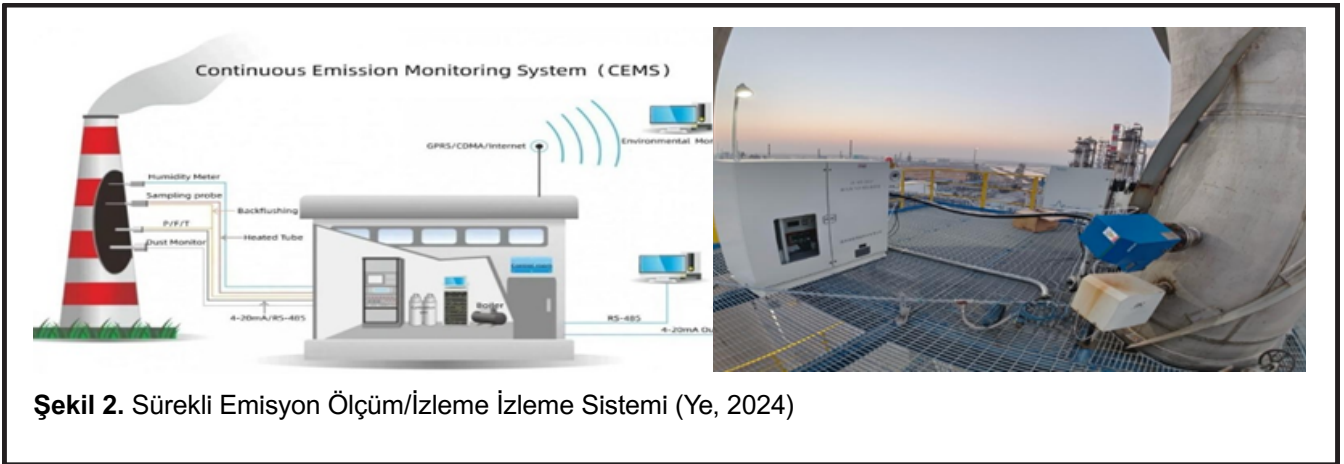


## DOĞANIN SESİ



### Sürekli Emisyon Ölçüm/İzleme (SEÖS/CEMS)

Sürekli emisyon ölçüm sistemi; bacadan atmosfere atılan kirletici gazın, faaliyetin devam ettiği süre boyunca ölçümünün yapılarak elde edilen verinin kayıt altına alındığı sistemlerdir. SEÖS/CEMS bir endüstriyel kazandan, elektrik santralinden veya termik santralden kaynaklanan kirletici gaz emisyonlarını gerçek zamanlı olarak ölçmek için kullanılır. Bu sistemler, gaz örnekleme ekipmanı, sensör (CO<sub>2</sub> sensörleri gibi), analizör ve veri toplama sistemleri dahil olmak üzere çeşitli temel bileşenlerden oluşur. Bu bileşenler, gaz akışındaki kirleticilerin doğru ve gerçek zamanlı izlenmesini sağlamak için birlikte çalışır (**Şekil 2**). Veriler, depolama ve analiz için sürekli olarak bir bulut platformuna iletilir (Ding vd., 2025).



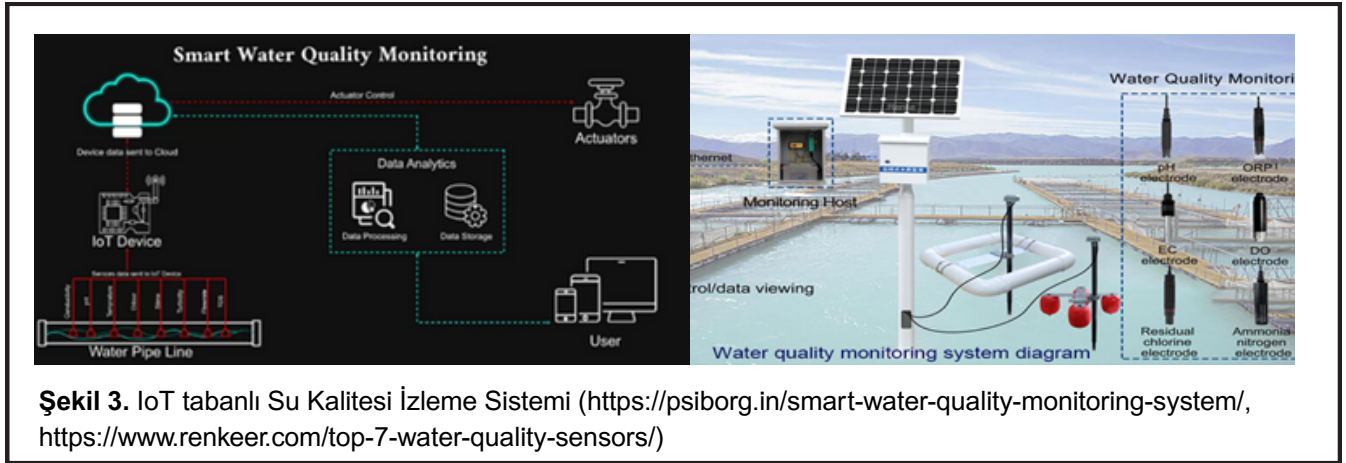
### Su Kalitesi ve Atık Su İzleme

Su kalitesi izleme IoT sensörleri nehir, göl, haliç, kıyı, içme suyu, yüzme suları, deniz ve okyanus gibi su kütlelerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini izlemek için kullanılır. Bu doğal ortamların yanı sıra bu teknolojiler endüstriyel, kentsel ve evsel atıksuları izlemek için de kullanılmaktadır. İzlenen parametreler arasında sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik, bulanıklık, tuzluluk, toksik madde, mikrobiyal patojen ve kirleticiler yer almaktadır.

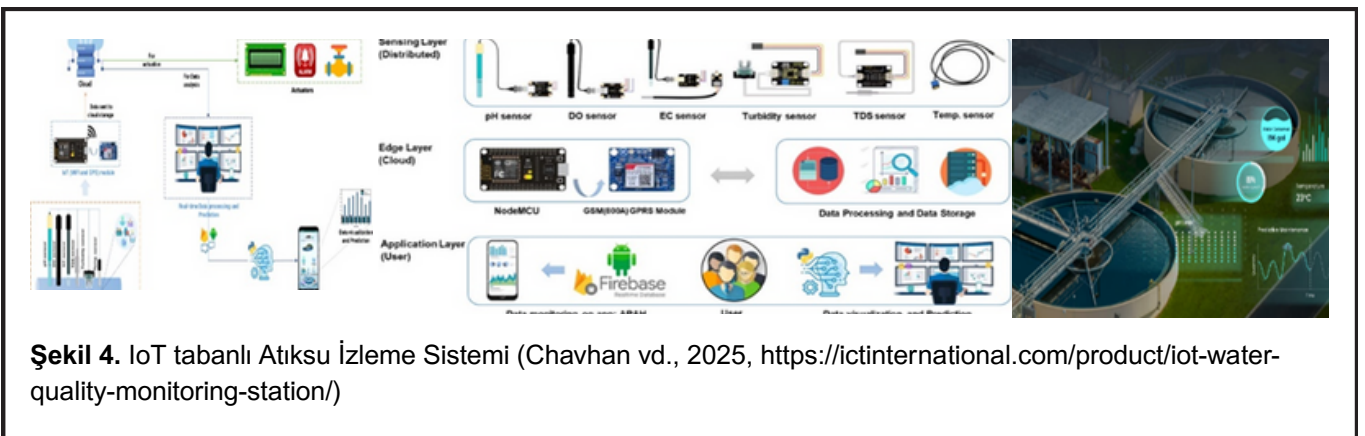


## DOĞANIN SESİ

Bu sensörler, gerçek zamanlı veri sağlayarak, erken uyarı sistemi sağlar (Saeed, 2022). IoT tabanlı su kalitesi sistemi sensör modülleri, veri iletim birimleri, enerji kaynakları ve bulut tabanlı veri analiz platformlarından oluşur. Süreç; sensörlerin yerleştirilmesi → veri iletimi → büyük veri işleme (bulut depolama-analiz işleme-görselleştirme) → gerçek zamanlı tespit ve erken uyarı şeklindedir (**Şekil 3**). Yapay zeka (YZ) ve makine öğrenimi algoritmaları IoT sensör sistemlerine entegre edilerek proaktif önlemler alınabilmektedir (<http://tr.boquinstruments.com/news/iot-water-quality-sensor-2/>).



Chavhan vd., 2025 yaptıkları çalışmada endüstriyel atık su kirliliğini ele almak için otonom IoT odaklı gerçek zamanlı bir izleme sistemi (APAH) sunmaktadır. pH,  $\text{CO}_2$ , iletkenlik, bulanıklık ve sıcaklık sensörlerini entegre eden APAH sistemi, verimli veri toplama için IoT denetleyicilerine bağlanır. Sensör verileri, gerçek zamanlı depolama, işleme ve görselleştirme için GSM, GPRS ve Wi-Fi üzerinden bir bulut platformuna iletilir. Makine öğrenimi modelleri, kullanıcıların bilinçli kararlar almasına yardımcı olacak öngörücü analizler sağlar. Tesis operatörleri, gerçek zamanlı veri erişimi için Android Studio ve Firebase arayüz uygulamaları kullanılarak geliştirilen APAH mobil uygulaması aracılığıyla su kalitesini uzaktan izleyebilir. Sistem ayrıca, kontaminasyonu önlemek için eşikler aşıldığında girişi kapatan otomatik vana kontrollerine de sahiptir. Alarmlar, tesis içinde GSM ve ses yoluyla tetiklenerek zamanında müdahale sağlanır. Bu proaktif sistem (**Şekil 4**), kirliliğe karşı koruma sağlamak için gerçek zamanlı izleme ve otomatik yanıtlar sunarak atık su yönetimini geliştirir.



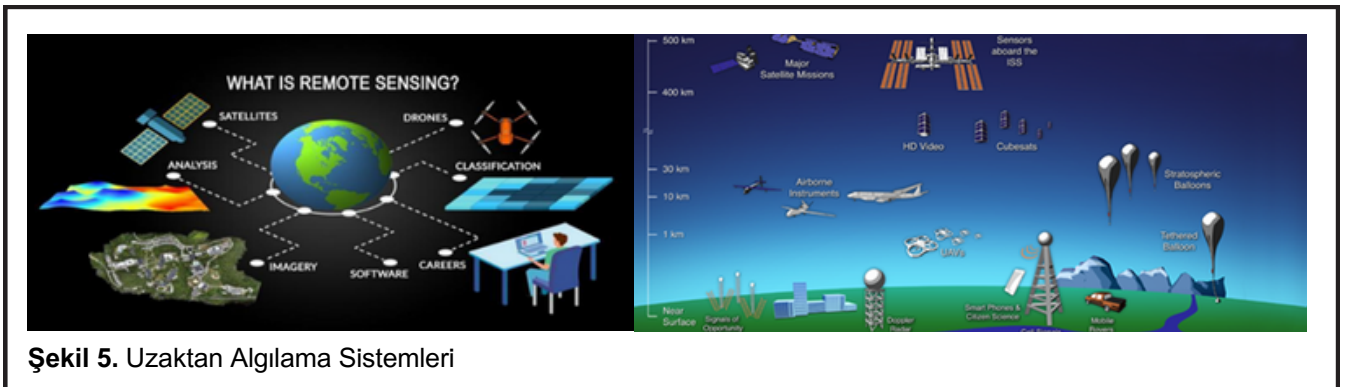


## DOĞANIN SESİ

IoT su kalitesi sensörleri aynı zamanda kimyasal üretim, gıda ve içecek işleme, ilaç üretimi, laboratuvar su kullanımı, tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği, sulama sistemleri, sızıntı, taşkın, sel kontrolü, içme suyu durumu, enerji santralleri, soğutma sistemleri ve buhar üretimi amacıyla kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2021, Saeed, 2022).

### Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, bir nesne veya yüzey hakkında arada fiziksel bir temas olmadan bilgi edinme sürecidir. Bu süreç, nesnelere yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerjinin sensörler aracılığıyla algılanması ve analiz edilmesi ve dijital verilere dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşir. Bu veriler, çeşitli analiz teknikleri kullanılarak işlenir ve yorumlanır. Böylelikle, yeryüzü/nesnelerin özellikleri hakkında bilgi edinilebilir (ÇŞİDB, 2024). Dijital olarak kaydedilen uydu görüntüleri ile farklı konumsal verilerin entegrasyonu coğrafi bilgi sistemleri oluşturularak yapılmaktadır. Bu sayede konuma dayalı birçok problemin analizi, yorumlanması ve çözüm önerilerinin üretilmesi mümkün olabilmektedir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2025). Uçaklar, uydular ve İHA'lar sensör taşıyan özel platformlara sahiptir. Sensörlerle donatılmış uydular, Dünya'nın yüzeyinden, atmosferinden ve diğer nesnelere elektromanyetik radyasyonu toplar ve bu veriyi analiz ve yorumlama için geri iletir (Reddy, 2018). NASA'nın Landsat ve Avrupa Uzay Ajansı'nın Sentinel uyduları gibi programlar ormansızlaşmayı, kentsel genişlemeyi ve çevresel değişiklikleri takip etmeye yardımcı olan ayrıntılı görüntüler sunar. İHA'lar (insansız hava araçları) hava kalitesi, yaban hayatı yaşam alanları, bitki örtüsü sağlığı, petrol sızıntıları ve orman yangınları hakkında gerçek zamanlı veri sağlayarak belirli alanları son derece hassas bir şekilde izlemek için yaygın olarak kullanılır (**Şekil 5**). Yüksek çözünürlüklü kameralar, termal görüntüleme ve sensörlerle donatılmış olan insansız hava araçları, erişilemeyen alanlarda ayrıntılı bilgi toplayabilir (Defferrard, 2023). Uydu görüntüleri ve GIS verilerinin kaynakları genellikle ücretsiz olarak mevcuttur (Reid ve Castka, 2023).



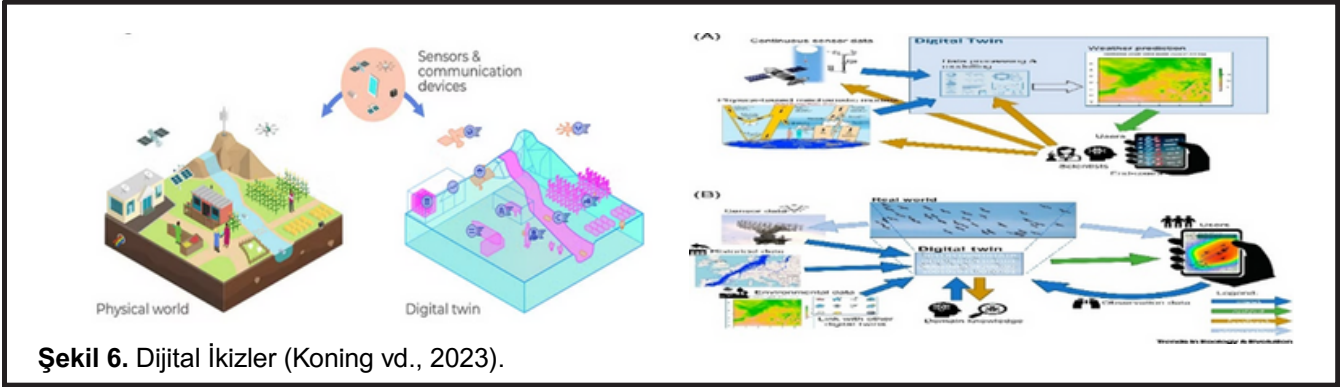
Şekil 5. Uzaktan Algılama Sistemleri

### Dijital İkiz

Dijital İkiz, fiziksel varlıkların, sistemlerin veya süreçlerin sanal kopyalarını ifade eder (Bhoda, 2024). Dijital ortamdaki sanal ikiz sayesinde karşılaşılabilecek tüm kötü olasılıklar ve senaryolar etkili bir şekilde simüle edebilmektedir. Dijital ikiz (**Şekil 6**), fiziksel ikiziyle sürekli, kesintisiz iletişim içerisinde bulunarak güncel bir şekilde ondan gelen verileri işler ve oluşabilecek farklı senaryolar için değişik sonuçlar elde edebilir. Dijital İkizler, doğal ortamların gerçek zamanlı durumunu yansıtarak, etkili çevre yönetimi için çok önemli olan hassas izleme ve öngörücü analiz sağlar. Karar vericiler olası gelecek senaryolarını anlayarak daha sürdürülebilir sonuçlara yol açan stratejiler uygulayabilirler. (Bhoda, 2024).



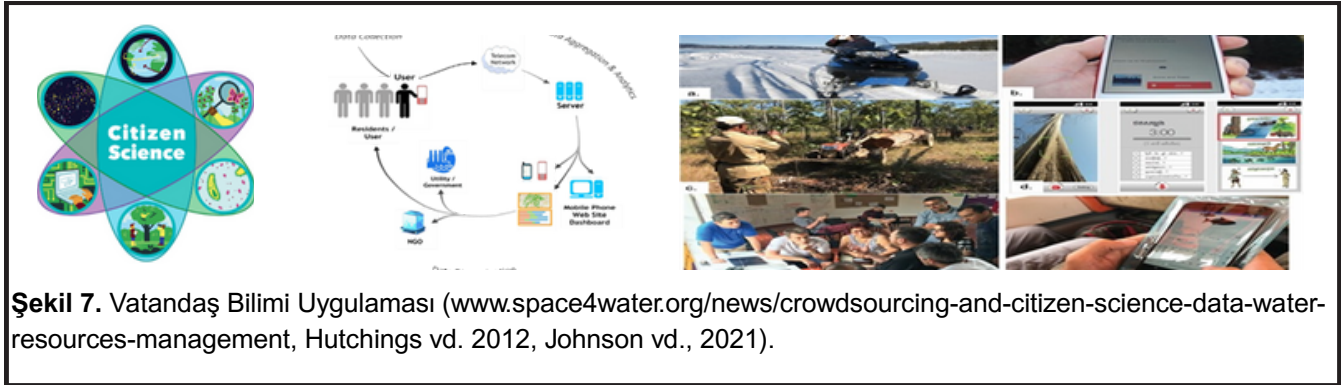
## DOĞANIN SESİ



Şekil 6. Dijital İkizler (Koning vd., 2023).

### Vatandaş ve Toplum Bilimi

Uygun şekilde eğitilmiş gönüllülerin sosyal-ekolojik sistemlerin izlenmesine katılımı, farklı mekansal ve zamansal ölçeklerde farklı çevre sorunları hakkında ilk elden ve neredeyse gerçek zamanlı güncel bilgiler sağlamak için en etkili stratejilerden biridir. Bu anlamda mobil uygulamalar, kısa sürede geniş bir coğrafi ölçeğe ulaşmanın bir aracı olabilir (Maillard vd., 2024). Vatandaş bilimi genellikle izleme (fotoğraf çekme gibi) veya veri toplama (plaj çöpü denetimleri gibi) ile ilişkilendirilir (Şekil 7). Bu bilimin ana fikri, bilimsel araştırmaları önermeyi, tasarlamayı, toplamayı, yönetmeyi, analiz etmeyi ve paylaşmayı içerebilen genel halkın katılımıdır. Gönüllü araştırmacıların akademik bir geçmişi olabilir, ancak bu katılım için bir ön koşul değildir (Koedel vd., 2024). Çevrenin toplum temelli izlenmesi, toplum üyeleri tarafından yönetilen ve yürütülen, çevresel veya sosyal olayları rutin olarak gözleme sürecidir. Vatandaş bilimi yaklaşımlarının aksine, bu programlar toplumun ihtiyaçları ile ortaklaşa oluşturulan yaklaşımları sağlar (Johnson vd., 2021).



Şekil 7. Vatandaş Bilimi Uygulaması (www.space4water.org/news/crowdsourcing-and-citizen-science-data-water-resources-management, Hutchings vd. 2012, Johnson vd., 2021).

### DNA Barkodlama/eDNA

Çevresel DNA (eDNA), doğrudan taksonomik gözlem gerektirmeden bir organizmanın varlığını ortaya çıkaran moleküler bir biyo belirteçtir. Organizmalar tarafından çevrede bırakılan çeşitli biyolojik materyallerden kaynaklanır. Doğal ortamların genetik çalışmasına dayanan eDNA, ekosistemlerin sağlığını izlemek için çığır açan bir tekniktir (Çevik ve Çevik, 2023). eDNA ile moleküler tanımlama, verimli ve doğru biyolojik izleme için umut verici bir yöntemdir. eDNA, toprak, tortu, su veya hava dahil olmak üzere çevresel örneklerden doğrudan ekstrakte edilen DNA'yı ifade eder.



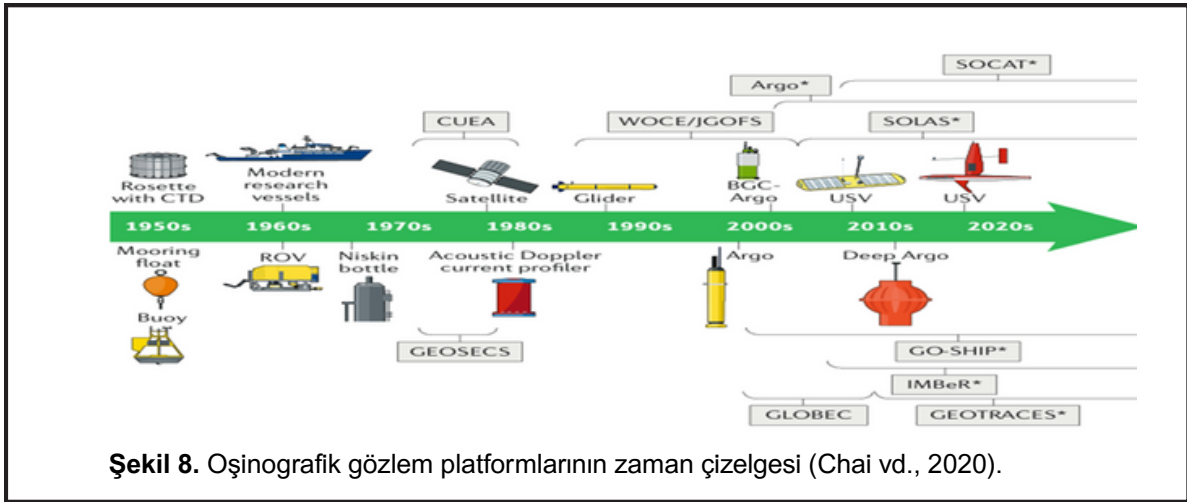
## DOĞANIN SESİ

eDNA'ya dayalı araştırmalarda kullanılan barkod ve metabarkodlama arasındaki temel fark, barkodun çevresel örneklerde tek bir türün DNA parçalarını tespit etmek için türe özgü primerlere dayanmasıdır, metabarkodlama ise birden fazla türün milyonlarca DNA parçasını aynı anda tespit etmek için evrensel primerler kullanır (Zhang vd., 2023). DNA barkodları, güvenilir bir DNA barkod referans veri tabanı mevcut olduğunda, morfolojik olarak tanımlanamayan organizmaların tanımlanmasına izin vermelidir (Koblmüller, 2023).

### Deniz Ortamı ve Okyanus İzlemlerde Dijital Teknolojiler

2021'de Birleşmiş Milletler daha sürdürülebilir, sağlıklı ve eşitlikçi bir okyanus hedefleyen on yıllık bir kampanya olan Okyanus On Yılı'nı başlattı. Okyanuslar, küresel iklim sisteminde hayati bir rol oynamalarına, deniz türleri için bir yaşam alanı olmalarına ve büyük bir besin kaynağı sağlamalarına karşın önemi yeterince anlaşılammışlardır. Okyanuslar doğal süreçler veya antropojenik etkiler yoluyla sürekli değiştiğinden, insan eylemleri ve deniz ekosistemi üzerindeki müteakip etkiler genellikle tamamen öngörülebilir değildir. Ancak mevcut durumu değerlendirmek ve Okyanus On Yılı'nın başarısını doğrulamak için sık sık izleme şarttır (Miedtank vd., 2024).

Okyanusların izlenmesi çoğunlukla araştırma gemileri ile yapılan yerinde örneklemeler ve genelde sadece okyanus yüzeyinden bilgi toplayabilen sensörlerle donatılmış uzaktan algılama uydu sistemleri ile gerçekleştirilmektedir (**Şekil 9**). Ancak, bu yöntemlerle anlamlı veri yalnızca gemilerin gidebildiği veya uydu sensörlerinin odaklanabildiği belirli bölgelerde toplanabilmektedir (Chai vd., 2020, Muppala, 2025).



**Şekil 8.** Oşinografik gözlem platformlarının zaman çizelgesi (Chai vd., 2020).

Günümüzde çevresel izlemlerde dijital teknolojilerin ilerlemesi ile birlikte eski yavaş sistemlerin yanında hızlı ve sürekli veri elde eden sistemler kullanılmaya başlanmış, gözlem platformlarının kullanımı son yüzyılda evrim geçirmiştir (**Şekil 8**). Deniz ve okyanus izlemede kullanılan dijital teknolojik izleme araçları:

- IoT Sensörler (sıcaklık, iletkenlik, meteoroloji, basınç, ADCP (akıntı hızı ölçümü), hidrofona-akustik sensör, biyoluminesans (canlı organizma ışığı duyarlı sensör), eDNA sensörleri, Akustik Telemetri gibi)
- Sabit Sistemler (Şamandıra) ve Drifterler (Sürüklenen Şamandıra)



## DOĞANIN SESİ

- Gemilere Bağlı Sistemler
    - Uzaktan Kumanda Edilebilen Çekilen Araçlar (ör: Scanfish, Yandan Taramalı Sonar)
    - Sürekli Ölçüm Cihazları (ör: Ferry Box, Termosalinographi Florometre)
    - Gemi Karinasına Monteli Sürekli Ölçüm sistemleri (Ör. Akıntı Ölçer, Balıkçılık akustiği)
  - Otonom (insansız ve hareketli) sistemler
    - USV (insansız yüzey aracı)
    - AUV (otonom su altı aracı)
    - ROV (uzaktan kumandalı su altı aracı)
    - HOV (Hadal iniş aracı-derin deniz)
    - UUV (insansız su altı aracı)
    - Argo Yüzücüler (profil)
    - Glider (Su altı planörleri- profil)
  - Uzaktan Algılama Araçları (Dron, Uydu, HF radarlar)
  - Dijital İkiz ve Modelleme Araçları
- Yapay Zeka, Makine Öğrenme, Derin Öğrenmedir.

### ***IoT Sensörler, Sabit ve Otonom Sistemler***

Geçtiğimiz yıllarda, sensörler daha verimli ve akıllı hale gelerek farklı platformlara entegre edilebilmektedir. , Öyle ki drifterler, şamandıralar, planörler ve otonom su altı araçları, daha geniş alanlar için bile ölçümler yapmak üzere su yüzeyinde veya altında bağımsız olarak hareket edebilmektedirler (Miedtank vd., 2024). Denize veya gemilere yerleştirilen sensörler çok sayıda gözlem yaparak verileri kıyıya veya uydulara iletir. Verileri analiz eden algoritmalar ise bu verilerden büyük miktarda bilgi elde edilmesini sağlar (Muppala, 2025). Gemiler ve uydu sensörleri de dahil olmak üzere birden fazla platform tarafından elde edilen veri setleri, okyanus biyojeokimyasal modellerinin iyileştirilmesi, okyanus ekosistemlerinin mevcut durumunun daha iyi değerlendirilmesi ve değişikliklerinin tahmin edilmesi açısından çok önemlidir (Chai vd., 2020). Akıllı Okyanuslar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve ekonometriye dayalı yeni yaklaşımların kullanımı bu bakımdan önemlidir (Muppala, 2025). Ayrıca, uzaktan algılama, tüm okyanusun mekansal kapsamını neredeyse gerçek zamanlı olacak şekilde büyük ölçüde iyileştirmiştir (Chai vd., 2020).

Sensörler; birçok Dijital Okyanus uygulamasında çevre koşulları, kimyasal özellikler, deniz memelisi popülasyonları ve ekipman performansı hakkında veri toplamak için kullanılır. Optik, hareket, iletkenlik, manyetometre, interferometre, meteoroloji, basınç, ADCP, hidrofon, biyoluminesans ve eDNA sensörleri de dahil olmak üzere çok çeşitli sensör türleri mevcuttur. Bu sensörler genellikle boyutları, güç tüketimleri ve algılama kapasiteleri ile karakterize edilir. Boyut ve güç sınırları, sensörlerin mobil şamandıralara ve otonom araçlara mı yoksa motorlu gemilere mi monte edildiğine bağlıdır (Muppala, 2025).



## DOĞANIN SESİ



**Şekil 9.** Okyanus Gözlem Araçları (a:Glider, b:uydu, c:AUV, ç:USV, d:AUV, e:HOV, f:şamandıra, g:scanfish, ğ:ferrybox)

Gemi platformları, tüm platformlardaki birçok biyojeokimyasal değişken için temel referans verileri, uzaktan algılama sistemleri, deniz yüzeyi değişkenlerinin sürekli uzaysal-zamansal kapsamını sağlar. Argo ve BGC-Argo dizileri, su kolonu boyunca okyanuslardaki fiziksel ve kimyasal değişkenlerini ölçer (<https://argo.ucsd.edu/about/>.) Glider (su altı planörü), kıyı ve sığ okyanuslarda çeşitli derinliklerde gözlem için uygundur, USV'ler, hava-deniz akısı verisini, oşinografik ve atmosferik veri toplar. (Chai vd., 2020). Glider belirlenen bir rota boyunca balastını azaltarak ve dalış açısını değiştirerek düşeyde de yol kat edecek şekilde dalar. İstenilen derinliğe ulaştığında balastı kaldırılarak ve çıkış açısı değiştirilerek tekrar yüzeye çıkabilen ve bu salınımı sürekli yapabilen otonom bir sistemdir. Argo yüzücüler ise balastlarını ayarlayarak park edildikleri derinliklerdeki akıntılarla sürüklenen ve sadece dikey hareket yapabilen pasif sistemlerdir. Planörler sık sık dalıp çıktıkları için yüksek çözünürlüklü veri sağlamakla birlikte, optimum hıza sahip olduğundan, yavaş hareket ederler (Lin ve Yang, 2020). ROV, uzaktan kumandalı su altı araçları, deniz tabanını ve su altı yapılarını incelemek için kullanılır. Akustik sensörler, deniz tabanında ve su sütununda ses dalgaları kullanarak nesnelere ve hareketleri tespit eder. AUV'ler, jeolojik keşif, petrol sızıntısı tespiti, batimetri ve termoklin izleme gibi çeşitli oşinografik görevleri otonom olarak yerine getirmek için güçlü manevra kabiliyetine sahip insansız su altı robotlarıdır (Lin ve Yang, 2020). AUV'nin en büyük avantajı daha iyi manevra kabiliyetidir (Lin ve Yang, 2020). Robotik Araçlar, deniz tabanında örnek toplama ve yapı tespiti gibi görevler için kullanılır. Uydular, Deniz yüzeyi yüksekliği, buzullar, deniz suyu sıcaklığı ve rengi gibi çeşitli parametreleri ölçen uydu görüntüleri kullanılır (**Şekil 9**).

Okyanus izlemede günümüzde onlarca yıldır farklı amaçlar için kullanılan yaygın izleme çözümü ölçümşamandıralarıdır. Şamandıra, genellikle su sütununda farklı derinliklere yerleştirilmiş çeşitli sensörleri destekleyen sabit bir platform olarak çalışır (Muppala, 2025). Demirli şamandıralar ayrıca, ortam iletkenliği, sıcaklığı ve derinliği (CTD) ölçmek için fiziksel sensörlerle bağlama halatı boyunca yükselip alçalarak su sütununu örneklemek için otonom profilleyicilere sahip olabilir (Lin ve Yang, 2020). Drifters; NOAA'nın Küresel Drifter Programı (GDP) tarafından konuşlandırılan Lagrange (yüzey su hareketleri/akıntıları ile sürüklenen) drifter'ları, 1979'dan beri temel iklim değişkenlerini gözlemlemektedir.



## DOĞANIN SESİ

GDP drifter, 15 m nominal derinlikte delikli çoraplı bir deniz çapası bir ip ile bağlanan bir yüzey şamandırasından oluşur (Drifter, 2025).

Gemiye bağlı sistemlerden; Scanfish dalış-çıkış açısını değiştirmek için elektrikle çalışan küçük kanatlar kullanan, geminin arkasından çekilen bir araçtır. Scanfish, çok yüksek çözünürlüklü bir CTD'ye sahiptir (Scanfish, Scanning the water column, 2025). Gemiye bağlı sistemlerden biri olan FerryBox (Feribot Kutuları), yüzey deniz suyundaki fiziksel ve biyojeokimyasal değişkenleri belirlemek için otomatik bir ölçüm sistemidir. Düzenli olarak tarifeli rotalarda seyreden gemilere kurulur. Sistem, suyun birden fazla sensör içeren ölçüm devresine pompalandığı bir su girişinden oluşur. Ferry Box sistemi, gözlemleri de kaydeden bir bilgisayar tarafından kontrol edilir. GPS bilgisi ile birlikte veriler, cep telefonu bağlantısı veya uydu iletişimi yoluyla kıyıya iletilir (Ferry Box, 2025).

### ***Uzaktan Algılama Sistemleri***

Uzay kaynaklı sensörlerle uzaktan algılama, küresel okyanus gözlem sistemleri için çok önemlidir. Bu sensörler aracılığıyla, deniz yüzeyi sıcaklığı, dalga yüksekliği, klorofil-a, tuzluluk vb. gibi deniz yüzeyi parametrelerinin çoğu doğrudan veya dolaylı olarak elde edilebilir. Birçok yerde gözlemevinden (demirli şamandıralar ve gemiler gibi) farklı olarak, oşinografik uydular küresel ölçekte gözlemler sağlayabilir. (Lin ve Yang, 2020). Küresel okyanus genelinde tutarlı ve sık veri elde etmenin tek pratik yaklaşımı Uzaktan algılamadır. (UA). Ancak, uydu gözlemlerinin varlığının yerinde izleme yaklaşımlarının gerekliliğini ortadan kaldırmadığı unutulmamalıdır. Aslında, UA verilerinin mevcut eşi benzeri görülmemiş miktardaki yerinde ölçümle doğrulanması, daha üstün yöntemlerin geliştirilmesini mümkün kılar. Deniz hayvanları, okyanus biyojeokimyasal süreçleri ve okyanuslar ile iklim değişikliği arasındaki ilişki de dahil olmak üzere okyanus ortamlarına dair anlayışımız, küresel, tekrarlayan ve tutarlı arşivlenmiş uydu gözlemlerinin kullanılabilirliği sayesinde önemli ölçüde gelişmiştir. (Amani vd., 2022). Herhangi bir UA sisteminin iki temel bileşeni vardır: 1) platform ve 2) sensör. Platform, sensörü yerleştirmek için kullanılan bir araçtır ve çeşitli sensörleri barındarabilir, sensörler verileri, algılayıp kaydeden cihazlardır. Her uzak sensör, Dünya'dan yansıyan, yayılan veya ileri geri saçılan elektromanyetik radyasyonu ölçer. Örneğin, UA sistemleri genel olarak pasif ve aktif olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Amani vd., 2022). Pasif sistemler; optik, TIR radyometre, mikrodalya radyometre, reflektometri, aktif sistemleri ise, SAR (sentetik açıklıklı radar), saçılım ölçer, altimetre, LİDAR, Gravimetre, SONAR, HF Radar ve Deniz Radarıdır. Oşinografik parametreleri UA veri kümelerinden türetmek için bugüne kadar istatistiksel, fiziksel ve Makine Öğrenmesi (ML) modelleri gibi farklı yöntemler geliştirilmiştir. Son zamanlarda, geleneksel (örneğin, Rastgele Orman (RF) ve Destek Vektör Makinesi (SVM)) veya daha gelişmiş modeller (örneğin, Evrişimli Sinir Ağı (CNN)) makine öğrenimi (MÖ) algoritmaları çeşitli oşinografik uygulamalar için sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak, Derin Öğrenme (DL) yöntemleri istatistiksel, fiziksel ve geleneksel MÖ algoritmalarına kıyasla daha yüksek doğruluklar sağlar (Amani vd., 2022).

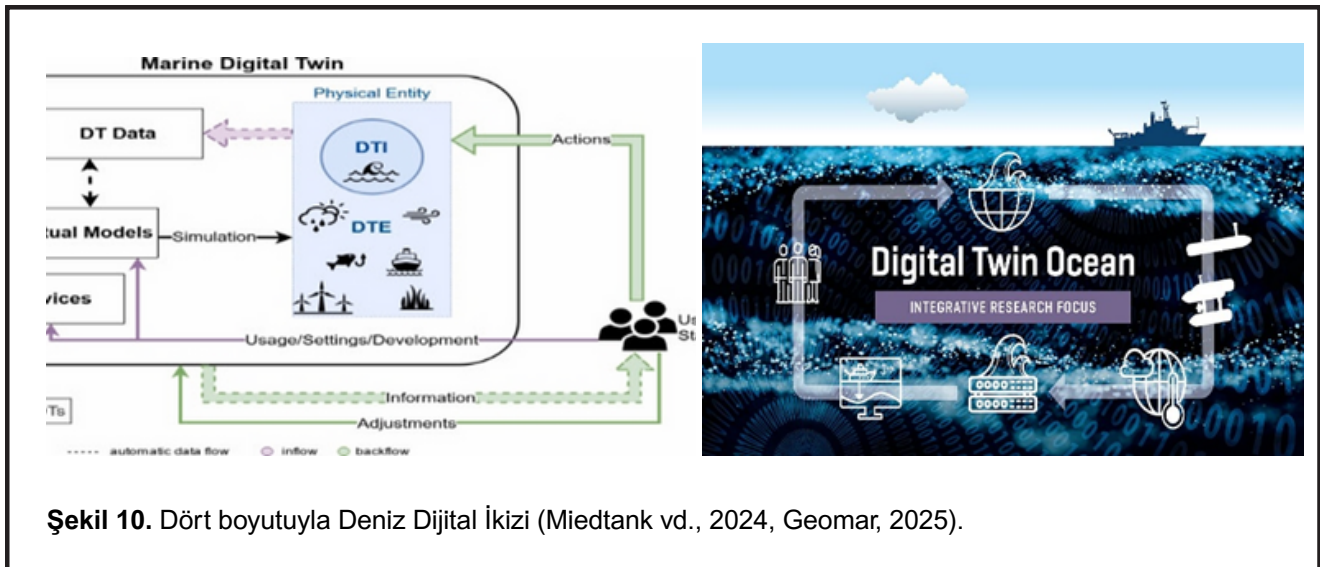


## DOĞANIN SESİ

### Deniz Dijital İkizleri

Okyanusların büyüklüğü ve erişilebilirliği nedeniyle sürdürülebilir izleme birçok nedenden dolayı zordur. Birincisi, gemiler maliyetli ve zaman alıcıdır, sınırlı bir zamansal ve mekansal aralığı kapsar. İkincisi, şamandıralar iyi bir zamansal çözünürlük sağlar ancak statiktir. Üçüncüsü, ölçümler genellikle farklı kurum ve kuruluşlar tarafından başlatılır, öyle ki tüm verilerin kaynaştırılması zordur. Bu noktada mevcut tüm veri kaynakları için bir veri deposu ve bağlantı görevi gören okyanusların açık ve dijital bir temsili gerekli olacaktır. Deniz dijital ikizleri, sürdürülebilir bir mavi ekonomiye giden yolda bilgiyi teşvik etmek için çözümün bir parçası olabilmektedir (Miedtank vd., 2024).

Dijital İkiz bilgi işlem altyapısı ve veri kaynakları ve arayüzlerden oluşan sanal bir ortamda çalıştırılır. Deniz dijital ikizi, deniz sistemleriyle ilgilenen fiziksel bir ortamın sanal bir temsidir (**Şekil 10**). Dijital ikiz boyutları fiziksel varlık, veri, sanal modeller ve hizmetlerdir. Fiziksel varlık, modelin temsil ettiği okyanus bölgesi veya süreçtir. Dijital ikiz örneği (DTI) ve dijital ikiz ortamı (DTE), fiziksel varlığı oluşturur ve dijital ikiz (DT) verilerini otomatik olarak sağlar. Dijital İkiz'in fiziksel-sanal bağlantısı çoğunlukla, sensörlerle verileri sağlayan okyanus gözlemlerine dayanır. Sanal varlıktaki manuel gözlemler sanal etkileşimli görselleştirme sürecine dayanırken, otomatik gözlemler sanal süreçler (örneğin veri madenciliği, API'ler) gerektirebilir. Fiziksel varlığı simüle eden sanal modeller ve ek veri sağlayan hizmetler kullanıcı tarafından kullanılır ve kurulur. Tüm bu bilgiler DT'ye akarken, kullanıcılar ve paydaşlar için erişim ve sonuçlar bir çıktı olarak sağlanır. Geri akış, DT'nin çıktısından ve kullanıcılar ile paydaşların aktif müdahalesinden oluşur. Bu, fiziksel ve dijital ikiz arasında çift yönlü veri akışını sağlar (Miedtank vd., 2024). Ocean Digital Twins'in sanal-fiziksel bağlantısındaki fiziksel gerçekleştirme adımı, insan müdahalesi ile kolaylaştırılabilir (örneğin, balıkçılık yönetimi, örnekleme stratejisi geliştirme, okyanus yönetimi, paydaş katılımı, korunan alanların belirlenmesi, seyir planlaması) (Geomar, 2025).



Şekil 10. Dört boyutuyla Deniz Dijital İkizi (Miedtank vd., 2024, Geomar, 2025).



## DOĞANIN SESİ

DT'nin temel kısmı, DTE ve DTI ile etkileşime giren yapay zeka modelleri ve makine öğrenimi algoritmalarından oluşan sanal varlıktır (sanal modeller). DT'ler daha geniş alanları kapsar, karmaşık verilere dayanır ve disiplinler arası etkileşimli modeller ve algoritmalar kullanır. Makine öğrenimi veya derin öğrenme algoritmalarının açıklanabilirliği, bu algoritmaları diğer alanların kullanıcıları için şeffaf hale getirir (Miedtank vd., 2024).

Avrupa Birliği, 2022'de Tek Okyanus Zirvesi'nde deniz ve kıyı ortamlarının dijital bir kopyasını oluşturan Avrupa Dijital İkiz Okyanusu'nun (ABDTO) geliştirilmesini başlatmış, 2024'te dijital okyanus ikizi prototipini piyasaya sürmüştür. Mercator Ocean International ve Flanders Denizcilik Enstitüsü ile ortaklaşa düzenlenen 2024 yılı forum, ABDTO'nun mavi ekonomileri yönlendirme, okyanusların korunmasını destekleme ve bilinçli karar alma için bilgi sağlama potansiyelini göstermiştir. ABDTO, AB'nin iki amiral gemisi denizcilik hizmeti olan Copernicus Denizcilik Hizmeti ve Avrupa Deniz Gözlem ve Veri Ağı'nı (EMODnet) tek bir dijital çerçevede birleştirir ve entegre eder. Yapay zeka ve gelişmiş bilgi işlem alanındaki son gelişmelerden güç alan dijital Okyanus artık tahminlerde benzeri görülmemiş bir hız ve doğruluk sunarak Mavi (fiziksel değişkenler), Beyaz (Deniz Buzu değişkenleri) ve Yeşil (biyojeokimyasal değişkenler) Okyanus'u daha iyi korumak için eyleme geçirilebilir içgörüler sağlamaktadır ([www.mercator-ocean.eu/ocean-data/ocean-monitoring-forecasting/](http://www.mercator-ocean.eu/ocean-data/ocean-monitoring-forecasting/)).

### ÜLKEMİZDE ÇEVRESEL İZLEMELERDE DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI

Ülkemizde çevresel izleme çalışmalarında son yıllarda daha fazla dijital araçlardan yararlanılmaktadır. Çevre mevzuatı kapsamında “çevresel izlemenin veri tabanında yönetilmesi” hükmü getirilmektedir. 22.03.2015 tarihli ve 29303 sayılı Sürekli Atıksu İzleme Sistemleri Tebliği ile kurulu kapasitesi 5.000 m<sup>3</sup>/gün ve üzerinde olan; atıksu arıtma tesisleri, ön arıtma tesisleri, derin deniz deşarjı yapan ve suyu ısı transferi amaçlı kullanarak alıcı ortama deşarj eden tesislerin çıkışlarına sürekli atıksu izleme istasyonlarının kurulması zorunluluğu getirilmiştir. Bu istasyonlarda IoT ile elde edilen veriler Bakanlık merkezi veri tabanı olan Sürekli İzleme Merkezine (ŞİM) aktarılmaktadır. 2021 yılında Marmara Denizde yaşanan müsilaj sorunu neticesinde Marmara Denizi Eylem Planı ve Marmara Denizi Bütünleşik Strateji Planı hazırlanmıştır. Plan kapsamında, 02/07/2021 tarih ve 2021/14 sayılı “Marmara Bölgesi'nde Bulunan Atık Su Arıtma Tesislerinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi” konulu Genelge yayımlanmıştır. Genelge ile Marmara Bölgesinde yer alan kurulu kapasitesi 1.000 m<sup>3</sup>/gün ile 5.000 m<sup>3</sup>/gün aralığında olan atıksu arıtma tesisleri, ön arıtma tesisleri, derin deniz deşarjı yaparak çıkış sularını alıcı ortama deşarj eden tesisler; arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu debi ölçüm verilerini ve otomatik numune alma cihazlarını on-line bağlantı yaparak Sürekli İzleme Merkezine aktarılması hükmü getirilmiştir. 11.11.2023 tarihli ve 32366 sayılı Atıksu Arıtma Tesisi Enerji Teşviki Yönetmeliği kapsamında arıtılmış atıksuyu yeniden kullanacak/kullandıracak tesisler yeniden kullanım miktarının tespiti amacıyla atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışı ile yeniden kullanım noktası girişine sürekli ve otomatik olarak ölçüm yapabilen, sonuçları periyodik ve gerçek zamanlı olarak Bakanlık merkezi veri tabanına aktarabilen debimetre kurma zorunluluğu getirilmiştir.



## DOĞANIN SESİ

06.06.2008 tarihli ve 26898 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında sabit sürekli izleme istasyonu bulundurulur. Ölçümler, özellikle bu yönetmeliğin gerekliliklerine göre kurulan kent ve kent çevresindeki alanlardaki herhangi bir izleme yerinde yapılır. Yine, 12.10.2011 tarihli ve 28082 sayılı Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri Tebliği ile ilgili tesislere tesislerin baca gazı emisyonlarının ölçülmesi amacıyla Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi kurma zorunluluğu getirilmiştir. Bu istasyonlarda IoT ile elde edilen veriler Bakanlık merkezi veri tabanına Sürekli İzleme Merkezine aktarılmaktadır. 30.11.2022 tarihli ve 32029 sayılı Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliğince çevresel gürültü düzeyini tespit etmek amacıyla; özel kurumlar (Ana havalimanları), İl Müdürlüğünün talebine istinaden endüstri tesisleri ve işyerleri, müzik yayını yapan deniz araçları ve müzik yayını yapan işyerleri çevresel gürültü sürekli izleme sistemi kurduklarıyla yükümlüdür.

Ülkemizde çevre mevzuatı kapsamında çevresel izlemelerin dijital platformdan yönetildiği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde 2018 yılında kurulan Sürekli İzleme Merkezi (SİM) bulunmaktadır. SİM'de 383 adet Hava Kalitesi İzleme İstasyonu, 454 adet Sürekli Atıksu İzleme Sistemi, 798 adet sürekli emisyon ölçüm sistemi ile 428 istasyon ile ulusal deniz izleme ağı ve 110 istasyonda Havza izleme verileri etkin yönetilmektedir (<https://sim.csb.gov.tr>).

Karar vericilerin ve yetkili otoritelerin hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla politika, strateji ve eylem planlarını en doğru, güvenilir ve temsiliyeti yüksek hava kalitesi verisi ile desteklemek amacıyla 2005 yılında kurulmuş olan Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı, ülke geneline yayılmış olan izleme istasyonları ile görev yapmakta ve sürekli olarak geliştirilmektedir. Halkın hava kalitesi verisine erişim hakkı kapsamında izleme verisi ve Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) denilen hava kalitesini iyi, orta, hassas, sağlıklı, kötü ve tehlikeli şeklinde derecelendiren bir sınıflama sistemi ile paylaşılmaktadır. [www.havaizleme.gov.tr](http://www.havaizleme.gov.tr) internet adresinde kamuoyu ile paylaşılmakta olan SİM, Türkiye'nin Hava Kalitesini tüm kullanıcılara sunmaktadır.

Sürekli İzleme Merkezinde yer alan modüllerden biri de Deniz İzleme Modülüdür. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca Tübitak-MAM koordinesinde yürütülen Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı kapsamında İzmit Körfezine kurulu şamandıradan SİM'e sürekli veri aktarılmaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü ile Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi Projesi yürütülmektedir. Proje ile dijital çevresel izleme sistemlerinde önemli bir yeri olan Marmara Denizi Dijital İkizinin alt yapısı geliştirmiştir.

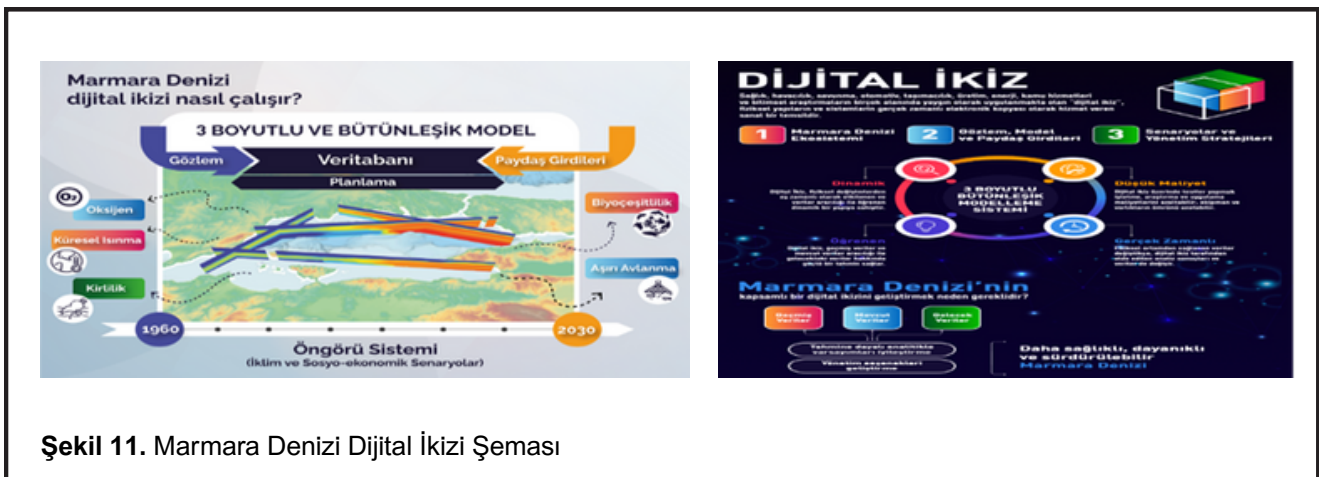
Marmara Denizi ortalama 40 m derinlikli İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e ve 80 m derinlikli Çanakkale Boğazı ile Akdeniz'e bağlanır. Her iki boğazın sığ olması Marmara Denizi'ni yarı kapalı bir deniz haline getirmektedir. Üç adet derin basenden oluşan Marmara'da, maksimum derinliğe (1270 m) Doğu Marmara'daki Çınarcık Baseni'nde ulaşılır. Marmara'da oluşan iki tabakalı hidrodinamik yapıya bağlı olarak kendine özgü iki tabakalı ekosistem gelişmiştir. Komşu denizlerle su değişimi sınırlı olduğundan iklimsel ve karasal kaynaklı baskılara karşı çok hassastır.



## DOĞANIN SESİ

Kirliliğin zayıf olduğu 1970 öncesi dönemde alt tabaka sularında 2.5-4 mg/L aralığında olan çözünmüş oksijen, son 50 yıllık dönemde ötrofik duruma gelmiş ve alt tabaka oksijen değerleri 2.0 mg/L'nin altına düşmüş, doğu baseni ve İzmit Körfezi dip sularında ise tamamen tüketilmiştir (<https://marmod.ims.metu.edu.tr/marmara-denizi/>).

Marmara Denizi üzerindeki baskı unsurları oldukça çeşitlidir ve gelinen noktada sektörel çözümler yeterli olmamaktadır. Bunun yerine bütüncül ve sorumlulukların paylaşıldığı yaklaşım ve önlemlere ihtiyaç vardır. Bu kapsamda, Marmara Denizi'nin mevcut durumu açısından bütüncül bir değerlendirmenin ortaya konması, senaryolara dayalı modelleme simülasyonları ile desteklenerek kirlilik yüklerinin azaltım tedbirlerinin alınması, noktasal kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, ekosistem temelli yaklaşım esas alınarak Marmara Denizi'nin korunmasına yönelik eylemlerin oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Kalkan Tezcan, 2023). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Marmara Denizi'nin bugün ve gelecekte sürdürülebilir sağlıklı bir ekosisteme sahip olmasını sağlamak amacıyla 'Marmara Denizi Bütünlük Modelleme Sistemi (MARMOD) Projesi'ni başlatılmıştır. Projenin ilk fazında ilk kez Marmara Denizi'ne özgü, fiziksel ve biyojeokimyasal özelliklerini temsil eden ulusal kaynaklarla geliştirilen bütünlük bir model oluşturulmuş, II. Fazında ODTÜ-DEKOSİM altyapısında olan ScanFish cihazı ile seçili hatlar boyunca sürekli ölçümler yapılmıştır. Faz II, oksijensizleşme sürecine dair yeni ve hızlanan gidişatı ortaya koyarken, oksijensizleşmenin tetiklediği yeni süreçleri de ortaya çıkarmıştır (<https://marmod.ims.metu.edu.tr/marmara-denizi/>). MARMOD FAZ II projesi ile 2021 yılında meydana gelen müsilajın oluşum mekanizmaları ve deniz ekosisteminde etkileri çalışılmıştır. Ayrıca, Marmara Denizinin "Dijital İkizini" oluşturma çalışmaları başlamış (**Şekil 11**), Marmara Denizinin fiziksel, biyojeokimyasal ve ekosistem modüllerini içeren 3-boyutlu bir model geliştirilmiştir (ÇŞİDB, ODTÜ-DBE (2025). Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik yüküne ilişkin tüm verileri girerek oluşturulacak Dijital İkizi sayesinde Marmara Denizi'nde yaşanan müsilaj ve diğer kirlilik problemlerini oluşmadan engellemeyi, iyi kalite deniz ekosisteminin tekrar gelişmesini, biyolojik çeşitliliğin artırılmasını ve Marmara Denizi'nde ekolojik dengenin korunması hedeflenmektedir.



Şekil 11. Marmara Denizi Dijital İkizi Şeması



## DOĞANIN SESİ

MARMOD'un yanısıra, 5 ülkenin işbirliği ile ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından yürütülen AB Horizon 2020 projesi olan BRIDGE-BS projesi ile Karadeniz'in dijital ikizi geliştirilmiştir. Karadeniz ekosisteminin mevcut durumunu, insan kaynaklı baskıları ve geleceğe yönelik senaryoları modelleyen bu dijital sistem, bölgesel bilimsel işbirliği ve sürdürülebilir mavi ekonomi planlaması için önemli bir adım olmuştur (<https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-dto/>).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yanı sıra çeşitli kurum ve kuruluşlar da dijital çevresel izleme verisi üretmektedir. Uygulamaların etkinliği, veri entegrasyonu, mükerrerliğin önlenmesi, sürdürülebilir kapsamından zaman ve maliyetten tasarruf sağlamada koordinasyonun ve işbirliğinin sağlanması oldukça önemlidir.

### ÇEVRESEL İZLEMELERDE DİJİTAL SİSTEMLERİN SAĞLADIĞI FIRSATLAR

Geleneksel çevresel izleme; program hedefli yaklaşım sorunu, optimum izleme kapsamı sorunu, izleme karmaşıklığı, yerinde gözlem sıklığı, cihaz-ekipman, sarf-yedek malzeme, kimyasallar, personel maliyeti gibi yüksek maliyetler, zaman yoğunluğu, gözlem istasyonu yerlerinin seçilmesi sorunu, izleme metodolojisi sağlama sorunu, tahmin sorunu, insan hatası potansiyeli, gözlem dönemi boyunca çevresel izleme verilerinin işlenmesi sorunu, veri eksikliği veya dağınık veri sunulması, uzun prosedürler ve düşük doğruluk sorunu, verinin yönetilememesi gibi nedenler ile çevresel önlemlerin uygulanmasında gecikme ve sınırlama yaşanmasına sebebiyet vermektedir (Wegner-Kozlova ve Guman, 2020, Olawade vd., 2024, <https://www.biz4intellia.com/blog/undeniable-benefits-of-water-quality-monitoring-solutions/>). Sonuç olarak, düzenli izleme sağlamak, özellikle sınırlı kaynaklara sahip bölgelerde zorlu bir görev haline gelmektedir. Bu durum, özellikle teknolojik altyapı ve uzmanlıktan yoksun bölgelerde belirgindir (Li vd., 2020, Olawade vd., 2024).

Günümüzde dijital bilgi ve iletişim teknolojileri yeni etkileşim düzeylerini mümkün kılmakta, etkin ve hızlı veri yönetimi sunmaktadır. Dijital sistemler üzerinden çevresel veriye hızla ve güvenilir biçimde ulaşabilmek hızlı ve doğru aksiyon almak için en önemli kriterdir. Dijital izleme araçlarını kullanmanın pek çok avatanjı bulunmaktadır: Mekansal ve zamansal ölçekte gerçek zamanlı veri üreterek, veriyi analiz etme, algılama, görselleştirme sağlar (Mărcuță C., 2024).

- Kapsamlı saha çalışmasına olan ihtiyacı azaltır. Gözlemlere bir standart getirir. Kurmak basit ve uygun maliyetlidir (Defferrard, 2023).
- Parametrelerin gündüz ve gece 7/24 sürekli ölçümünü sağlar, mevcut durumu anında yansıtır.
- Çevre mevzuatını uygulamak, takibini yapmak, teknolojik denetim sağlamak, kirlenici parmak izi analizleri ile kirlenici kaynağı belirlemek ve gelecek kirlilik tahmini yapmayı sağlar.
- Verinin farklı gruplar için erişilebilir ve anlaşılabilir olmasına imkan verir. Çevrimiçi platformlar, mobil uygulamalar ile kolektif etkileşimin yayılmasını sağlar (Saeed, 2022). vatandaş bilimi sayesinde bireylerin çevresel veri üretiminde aktif katılımını sağlar.



## DOĞANIN SESİ

- Kapsamlı saha çalışmasına olan ihtiyacı azaltır. Gözlemlere bir standart getirir. Kurmak basit ve uygun maliyetlidir (Defferrard, 2023).
- Parametrelerin gündüz ve gece 7/24 sürekli ölçümünü sağlar, mevcut durumu anında yansıtır.
- Çevre mevzuatını uygulamak, takibini yapmak, teknolojik denetim sağlamak, kirlenici parmak izi analizleri ile kirlenici kaynağı belirlemek ve gelecek kirlilik tahmini yapmayı sağlar.
- Verinin farklı gruplar için erişilebilir ve anlaşılabilir olmasına imkan verir. Çevrimiçi platformlar, mobil uygulamalar ile kolektif etkileşimin yayılmasını sağlar (Saeed, 2022). vatandaş bilimi sayesinde bireylerin çevresel veri üretmede aktif katılımını sağlar.
- Kanıta dayalı karar almayı sağlar. Proaktif uyarı sistemleri aracılığıyla yönetim stratejilerinin etkinliğini artırır (Mărcuță C., 2024).
- Ekipmanlarının işleyişini uzaktan izlemelerine ve sahada bulunmadan sorunları gidermelerine olanak tanır. Bu özellik sayesinde zamandan tasarruf edilir, servis maliyetleri düşer.
- Erken uyarı sistemleri ve afetlere hazırlık açısından etkilidir. Yapay zekanın çevresel izlemeye getirdiği kritik faydalardan biri, tahmine dayalı içgörülerin geliştirilmesidir. Yapay zeka tabanlı çevresel izleme sistemleri, çok sayıda kaynaktan gelen muazzam miktarda veriyi değerlendirme kapasitesine sahiptir (Zhang vd., 2021).
- Dijital ikiz, üretim planlamasının etkili bir şekilde yapılmasını, üretim sürecinin minimuma düşürülmesini, kaynakların olumlu yönde etkilenmesini, her aşamada risklerin ve tehditlerin açığa çıkarılmasını sağlar (Koyuncu Hışım, 2025). Farklı senaryoların potansiyel sonuçlarını ileten etkileşimli bileşenler içerir (Durden, 2025).

2023'te, Londra, gerçek zamanlı kirlilik izleme sistemleri sayesinde hava kalitesinde %20'lik bir iyileşme görülmüştür. Kaliforniya'nın su kullanımında %20'lik bir azalma ve ürün veriminde artış görülmüştür. Pekin'in hava kalitesi izlemesi, duman seviyelerinde %30'luk bir azalma sağlamış, Avustralya'nın yangın algılama sistemleri 500 milyon dolarlık hasarı önlemiştir. Almanya'daki Neurath kömür yakıtlı enerji santrali, gerçek zamanlı CO<sub>2</sub> izleme, yüksek hassasiyetli sensörler ve makine öğrenme algoritmalarıyla yanma sürecinin optimizasyonu sayesinde yaklaşık %15'lik bir karbon azaltımına ulaşmıştır (Ding vd., 2025). Bu örnekler, IoT'nin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki dönüştürücü etkisini göstererek, daha etkili izleme ve yönetim için daha geniş bir benimsemeyi teşvik etmektedir (Defferrard, 2023).

### ÇEVRESEL İZLEMELERDE DİJİTAL SİSTEMLERİN ZORLUKLARI

Dijital teknolojilerin faydalarının yanında bir takım dezavantajları, zorlukları ve sınırlamaları bulunmaktadır. Dijital teknolojiler güvenlik saldırılarına (sensörlere fiziksel saldırılar, klonlama, veri hırsızlığı, merkezi sunuculara yüksek bağımlılık) ve siber saldırılara maruz kalmaktadır. Bazı durumlarda programlanmaları ve kalibrasyonları yıllarca veri toplama ve değerlendirme gerektirebilir (Quaranta vd., 2023). Başlangıç maliyetleri, veri gizliliği; veri güvenliği, veri sahipliği ve paylaşımı, etik unsurlar, topluluk katılımı, birlikte çalışabilirlik, diğer cihazlar ile uyum gibi zorlukları bulunmaktadır.



## DOĞANIN SESİ

Dijital teknolojilerin faydalarının yanında bir takım dezavantajları, zorlukları ve sınırlamaları bulunmaktadır. Dijital teknolojiler güvenlik saldırılarına (sensörlere fiziksel saldırılar, klonlama, veri hırsızlığı, merkezi sunuculara yüksek bağımlılık) ve siber saldırılara maruz kalmaktadır. Bazı durumlarda programlanmaları ve kalibrasyonları yıllarca veri toplama ve değerlendirme gerektirebilir (Quaranta vd., 2023). Başlangıç maliyetleri, veri gizliliği; veri güvenliği, veri sahipliği ve paylaşımı, etik unsurlar, topluluk katılımı, birlikte çalışabilirlik, diğer cihazlar ile uyum gibi zorlukları bulunmaktadır. Ayrıca teknik olarak; sensörlerin kalibrasyon sorunları, pille çalışması nedeniyle enerji verimliliği, cihazların dışarıda, gözetimsiz ve korumasız bulunması sebebi ile fiziksel güvenlik, ürün yazılımının güncelleme ihtiyacı, donanım ihtiyacı, bakım, onarım ve işletme problemleri mevcuttur. (Ullo ve Sinha, 2020, IoT for Wildlife Conservation and Environmental Monitoring, 2025). Önemli bir dezavantajı da enerji yüküdür ve bu sera gazı emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, yapay zeka donanımı için nadir toprak elementleri gibi kaynakların çıkarılması, habitat tahribatı, toprak ve su kirliliği ve toksik atık üretimi de dahil olmak üzere önemli çevresel bozulmalara yol açmaktadır (Olawade vd, 2024). Yapay zekâ sistemlerinin piyasa manipülasyonu veya afet tahmini istismarı gibi kişisel çıkarlar için kötüye kullanılmasını önlemek için veri erişimi, kontrolü ve gizlilik sorunları ele alınmalıdır. Bu sistemlerin dezavantajları;

- Veri bağımlı sistemler olması sebebiyle veri eksikliği ve kalitesiz, yetersiz, ön yargılı veri sorunu sınırlamaya yol açar. Veri sahipliği, gizlilik ve veri kötüye kullanımı olasılığı sebebiyle etik etkileri bulunmaktadır.
- Aşırı uyum sorunu nedeni ile eğitilmiş ortam dışındafarklı ortamlarda doğruluğu etkiler.
- Kaynak yoğunluğu başka bir kısıtlamadır. Kurulum için kapsamlı bir altyapı gerektirir (Rao, 2024). Afet müdahalesi için bir yapay zeka modeli, önyargılı tarihsel verilere dayanarak bölgelere öncelik verirse, savunmasız toplulukları haksız yere ihmal edebilir.
- Güvenlik riskleri gerçek bir endişe kaynağıdır. Mobil cihazlar veya IoT sensörleri aracılığıyla vatandaşlardan kişisel veriler toplanabilir. Bu veri gizli kalması gereken kritik veridir.
- Büyük ölçekli yapay zeka eğitimi önemli enerji kaynakları tüketerek çevresel endişelere katkıda bulunmaktadır. Sunucular ve veri depolama sistemleri de dahil olmak üzere yapay zekada kullanılan donanım, genellikle nadir toprak elementlerinin ve diğer yenilenemeyen kaynakların çıkarılmasını içeren üretim süreçleri gerektirir (Olawade vd., 2024).

Dijital İkiz uygulamalarında da veri bulunabilirliği, kalitesi ve kullanılabilirliği kritik öneme sahiptir; yanlış veya eksik veriler yanıltıcı model sonuçlarına yol açabilir. Ek olarak, çevresel sistemlerin karmaşıklığı ve disiplinler arası uzmanlığa duyulan ihtiyaç, Dijital İkizlerin geliştirilmesini ve uygulanmasını zorlaştırabilir. Özellikle hassas çevresel veriler söz konusu olduğunda, gizlilik ve güvenlik endişelerinin de ele alınması gerekir. Sağlam bir teknolojik altyapı, paydaşların karar alma süreçlerinde dijital ikizi etkili bir şekilde kullanabilmeleri için eğitim ve kapasite geliştirme yanı sıra finansman mekanizmasına ihtiyaçları vardır. (Bhoda, 2024).



## DOĞANIN SESİ

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dijitalleşme çağında, çevre yönetimi, yeşil teknolojilerin entegrasyonundan büyük ölçüde faydalanmaya hazır bir kavşakta durmaktadır (Amirova vd., 2024). Çevrenin korunması, kaliteli ve güvenilir verinin üretilerek değerlendirilmesini ve bu doğrultuda çevresel önlemler alınmasını gerektirir. Çevresel verinin, özellikle de büyük verinin işlenmesi ve yönetimi karar süreci ve çevre politikaları için oldukça önemlidir.

Son zamanlarda insan hayatının tüm yönlerini derinden etkileyen ve yaşam biçimini değiştiren dijital dönüşüm, çevresel izleme çalışmalarında da büyük rol oynamaktadır. Büyük çevresel verinin işlenmesi ve yönetimi için kullanılan dijital destekli çözümler çevresel izleme çalışmalarında büyük ölçüde yerini almış ve giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Dijital teknolojilerin hızla gelişmesi, izleme ve veri toplama sistemleri, etkin çevre yönetimi, iklim değişikliği gözlemleri ve erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasına kadar çeşitli alanlarda çok çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Dijital teknolojiler, çevrenin korunması için etkili bir strateji olarak ortaya çıkarmakta, hem yeşil hem de dijital dönüşümleri teşvik etmektedir. Veri boşluklarını doldurarak, mekânsal-zamansal veri toplamayı, veri sentezlerinin gerçekleştirilmesini, bulguların karar vericilere iletimini sağlayarak çevre korumada proaktif önlemlerinin alınmasını sağlamaktadır. Veri erişimi, kontrolü ve gizlilik sorunları, etik sorunlar, sınırlamalar bulunmakla birlikte bu riskleri azaltmak, adil ve etik kullanımını sağlamak için güvenli veri yönetim çerçeveleri şarttır. Gelecek kuşaklara sağlıklı bir ekosistem bırakmak için çevresel izleme faaliyetlerinde de yerel, bölgesel, ulusal ve uluslararası işbirliklerinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, büyük miktarda çevresel verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve yönetilmesini sağlayan dijital platformlara dayalı çevresel izlemeye yönelik dijital yaklaşım ele alınmış, izlemelerde neden ve nasıl kullanıldığı incelenmiş, çevresel izlemelerde kullanılan dijital teknolojik araçlar sunularak, bu teknolojilerin olası zorlukları ve fırsatları ortaya konulmuştur. Ayrıca, ülkemizde kullanılan dijital çevresel izleme çalışmalarından kısaca bahsedilmiştir. Bu çalışma ile dijital çevresel izlemede karşılaşılan temel zorluklar ve geleceğin etkin çevre yönetimi uygulamalarını destekleyecek fırsatlar sunularak, ülkemizde sürdürülebilir çevre politikası için kurumlar arası ortak bir stratejinin geliştirilebileceğine yönelik vizyon sunmak amaçlanmıştır. Dijital platformlar, veri toplamayı, arşivlemeyi, paylaşmayı, veri kullanımını kolaylaştırır ve diğer platformlarla bağlantı kurarak daha büyük ölçekli çevresel modellerin anlaşılmasını desteklemektedir. Kısa, orta ve uzun vadeli stratejiler ile kurumlar arası iş bölümü yapılması bilgi kirliliği ve kavram kargaşasının önüne geçerek zaman kaybını azaltacaktır. Artan veri erişiminin ve güçlendirilmiş teknik kapasitenin, karar alma süreçlerine yardımcı olan etik olarak geliştirilmiş platformlara yönelik daha fazla talep yaratacağı öngörülmektedir.



## DOĞANIN SESİ

### KAYNAKLAR

- Amirova E., Garbuzova, T., Gazieva, L. (2024). "Environmental management in the era of digitalization: opportunities and challenges for green Technologies". *BIO Web of Conferences* 140, 04009 (2024), SDEA2024, <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414004009>
- Ahmed, M., Rahim, M., Nordin, R., F., Ebu-Samah, E., Abdullah N. (2021). "Ionizing Radiation Monitoring Technology at the Verge of Internet of Things, Sensörler". 21 (22), 7629; <https://doi.org/10.3390/s21227629>.
- Alkhanov, N., Inalkaev, A., Khatsieva, L. (2022). "Early Warning And Environmental Monitoring Systems In The Context of Economic Digitalization". *RT&A, Special Issue No (70) Volume 17, November 2022*, 464-470.
- Amani vd., (2022). "Ocean Remote Sensing Techniques and Applications: A Review (Part I)". *Water*, 14(21), 3400; <https://doi.org/10.3390/w14213400>.
- Bhoda, S. K., (2024). "Driving 4IR Adoption - Geospatial & BIM Expert | Enabling Smart Infrastructure through AI & Digital Twins".
- Bychkov IV., Fereferov E.S (2022). "Digital Technologies for Monitoring and Forecasting the Environmental Situation in Siberia". *May 15;92 (2):133–140*. [doi: 10.1134/S101933162202006X](https://doi.org/10.1134/S101933162202006X).
- Chai, F. vd.,(2020). "Monitoring ocean biogeochemistry with autonomous platforms". Article in *Nature Reviews Earth & Environment*, [DOI: 10.1038/s43017-020-0053](https://doi.org/10.1038/s43017-020-0053).
- Chavhan N.,Resham Bhattad R.,Khot S. Patil S., Pawar A., Pawar T., Gawli P., (2025). "APAH: An autonomous IoT driven real-time monitoring system for Industrial wastewater". *Digital Chemical Engineering* 14, 100217.
- Çevresel İzleme Kılavuzu, 2025. <https://safetyculture.com/topics/environmental-monitoring/>, Erişim:15.09.2025
- ÇŞİDB, 2024. "Ulusal Uzaktan Algılama Verilerinin Entegre Yönetimi Stratejisi Çalışma Heyeti Sonuç Raporu".
- ÇŞİDB, ODTÜ-DBE (2025). "Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi (MARMOD): Faz II Projesi". Ana Çıktıları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Defferrard, J. (2023). "Successfully Digitalize Your Environmental Monitoring Program - Quality Assurance & Food Safety". Associate Director, Augmented Diagnostics – Americas bioMérieux, [www.qualityassurancemag.com/article/successfully-digitalize-your-environmental-monitoring-program](http://www.qualityassurancemag.com/article/successfully-digitalize-your-environmental-monitoring-program).
- Ding N., Yanheng Xi, Jiang W., Li H., Su J., Yang, S., Lie, T. T. (2025). "State-of-the-art carbon metering: Continuous emission monitoring systems for industrial applications". *Heliyon* 11 (2025) e42308, *Volume 11, Issue 3*, 15 February 2025, e42308
- Drifter (oceanography) (2025). [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Drifter\\_\(oceanography\)#Surface\\_drifters](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Drifter_(oceanography)#Surface_drifters)
- Durden, J., M.(2025). "Environmental Management Using A Digital Twin". *Environmental Science and Policy* 164: (2025) 104018.
- EC, (2021). "Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade". Brussels, 9.3.2021, COM(2021) 118 final,
- EU, (2025). "EU Data Act gives users control over data from connected devices". [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_25\\_2078](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_2078).
- FerryBox (2025). [www.hereon.de/institutes/carbon\\_cycles/coastal\\_productivity/ferrybox/index.php.en](http://www.hereon.de/institutes/carbon_cycles/coastal_productivity/ferrybox/index.php.en)
- GreenData4All, EC (2025). "Updated Rules On Geospatial Environmental Data And Access To Environmental Information". [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14541-European-Data-Union-Strategy\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14541-European-Data-Union-Strategy_en)



## DOĞANIN SESİ

Gajare, K. (2025). "IoT Air Pollution Monitoring System". <https://www.ppsthane.com/blog/iot-air-pollution-monitoring-system>.

IoT for Wildlife Conservation and Environmental Monitoring, (2025). <https://www.smartsight.in/industry-insights/iot-for-wildlife-conservation-and-environmental-monitoring/>.

İzlemenin Faydaları, (2025). <https://www.qualityplanning.org.nz/node/1024>, Erişim tarihi: 15.09.2025.

JRC (2022). "Towards a green and digital future". EUR 31075 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-52451-9, [doi:10.2760/977331](https://doi.org/10.2760/977331), [JRC129319](https://www.jrc.ec.europa.eu/en/publications-and-communications/jrc129319).

Kalkan Tezcan, Yücel, M., E., Örek, H., Fach, B., Tezcan, D., Arkin, S., Sadihgrad, E., Acar, A.O., Mantıkçı, M., Özkan, K., Özhan, K., Hüsrevoğlu, S., Ak Örek, Y., Tuğrul, S., Salıhoğlu, B., (2023). "MARMOD Projesi ile Yeni Oşinografik Yaklaşımlar Işığında Marmara Denizi'nde Oksijensizleşme ve Müsilajın Yayılımı". *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(3):82-96.

Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ. (2025). "Uzaktan Algılama Teknolojileri Ve Uygulama Alanları". [https://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/80/jeodezi/yayinlar/pdf/kavzoglu\\_Colkesen\\_Calistay.pdf](https://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/80/jeodezi/yayinlar/pdf/kavzoglu_Colkesen_Calistay.pdf)

Koundouri, P., Landis, C., Plataniotis, A., (2023). "Contribution of Digitalization to the Sustainable Development in Europe". European Commission, Seville, Spain, 2023, JRC134441.

Koyuncu Hışım, B., (2025). "Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi". *Kayseri Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 7, Sayı: 1, Haziran 2025, 125-149

Koning K., Broekhuijsen, J., Kühn, I., Ovaskainen, O., Taubert, F., Endresen, D., Dmitry, S., Grimm, V., (2023). "Digital twins: dynamic model-data fusion for ecology". *Opinion*, Volume 38, Issue 10p916-926 October 2023.

Koedel, U., Dietrich, P., Herrmann, T., Liang, C., Ritter, O., Roettenbacher, J., Schuetze, F., Schuetze, S., Thoboell, J., Schuetze J., (2024). "Enhancing citizen science impact in environmental monitoring: Targeted engagement strategies with stakeholder groups". *Hypothesis And Theory*, Volume 12 – 2024, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375675>.

Lin, M., Yang, C. (2020). "Ocean Observation Technologies: A Review". *Chin. J. Mech. Eng.* 33, 32. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00449-z>

Mondejar, M., E., Avtar, R., Lellani, H., Diaz, B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez-Morales, A., vd., (2021), "Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet". *Science of The Total Environment*, Volume 794, 10 November 2021, 148539

MGM, (2025). "Hava Tahmini, Otomatik Gözlem İstasyonu". <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?s=9>

Maillard, O.; Michme, G.; Azurduy, H.; Vides-Almonacid, R. (2024). "Citizen Science for Environmental Monitoring in the Eastern Region of Bolivia". *Sustainability*, 16, 2333. <https://doi.org/10.3390/su16062333>.

Muppala, M. (2025). "Digital Oceans: Artificial Intelligence, IoT, and Sensor Technologies for Marine Monitoring and Climate Resilience". *Deep Science*, Publishing. <https://doi.org/10.70593/978-93-7185-787-1>

Miedtank, A., Schneider, J., Manss., C., Zielinski., O., (2024). "Marine digital twins for enhanced ocean understanding". *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 36, November 2024, 101268, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101268>.

MARMOD, (2025). "Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi". <https://marmod.ims.metu.edu.tr/marmara-denizi/>.

Mărcuță C., (2024). "How Digital Transformation Enhances Data-driven Decision-making in Environmental Monitoring Software". <https://moldstud.com/articles/p-leveraging-digital-transformation-for-data-driven-decision-making-in-environmental-monitoring-software>



## DOĞANIN SESİ

Nakhle, P., Stamos, I., Proietti, P., Siragusa, A., (2024). "Environmental monitoring in European regions using the sustainable development goals (SDG) framework". *Environmental and Sustainability Indicators* 21 (2024) 100332.

Olawade, D., Wada, O., Ige, A., Egbewole, B., Olojo, A., Oladapo, B., (2024). "Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions". *Hygiene and Environmental Health Advances* 12 (2024) 100114.

Puig, M. and Darbra R., (2024). "Innovations and insights in environmental monitoring and assessment in port areas". *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2024, 70:101472

Reid, J., Castka, P., (2023). "The impact of remote sensing on monitoring and reporting - The case of conformance systems". *Journal of Cleaner Production*, Volume 393, 20 March 2023, 136331

Rao, V. (2024). "AI for Environmental Monitoring". <https://www.linkedin.com/pulse/ai-environmental-monitoring-vasu-rao-pkmuc/>

Saeed, A. F., (2022). "Environmental sustainability and digitization". *International Journal Of Modern Agriculture And Environment Print* ISSN 2974-4407 Online ISSN 2974-4415 VOLUME 1, ISSUE 2, 2021:83 – 98.

Scanning the water column, (2025). [www.hereon.de/institutes/carbon\\_cycles/cosyna/observations/scanfish/index.php.en](http://www.hereon.de/institutes/carbon_cycles/cosyna/observations/scanfish/index.php.en)

Taştan, M. (2019). "Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15):229-236.

Ullo, S. V., Sinha G.R., (2020). "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors, Sensors". 2020, 20, 3113; [doi:10.3390/s20113113](https://doi.org/10.3390/s20113113)

Wegner-Kozlova E.O., Guman, O.M., (2020). "Digitalization of Environmental Monitoring as an Enabler of Circular Economy Transition". *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 138, 2nd International Scientific and Practical Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth" (MTDE 2020), s.1282-1286.

What is Argo?, (2025). <https://argo.ucsd.edu/about/>.

Wilkinson vd., 2016. "The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship". *Scientific Data*.

WMO, (2024). "Low-cost sensors can improve air quality monitoring and people's health". [wmo.int/news/media-centre/low-cost-sensors-can-improve-air-quality-monitoring-and-peoples-health?utm\\_source=](https://wmo.int/news/media-centre/low-cost-sensors-can-improve-air-quality-monitoring-and-peoples-health?utm_source=Press+Release) Press Release, 13 June 2024.

Zaralı, F. & Kılıçarslan, Z. & Dumrul, Y. (2024). "AB Ülkelerinin Dijital Dönüşümünün Entropi Tabanlı TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi". *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 69:195-203, [doi: 10.18070/erciyesiiibd.1540002](https://doi.org/10.18070/erciyesiiibd.1540002)

<https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-dto/>

<http://tr.boquinstruments.com/news/iot-water-quality-sensor-2>

<https://www.geomar.de/en/research/irf/digital-twin-ocean>

<http://www.mercator-ocean.eu/ocean-data/ocean-monitoring-forecasting/>

<https://www.marinebiodiversity.ca/advanced-technologies-reveal-our-three-major-marine-ecosystems/>

<https://www.marineboard.eu/marine-habitat-mapping>