

Su Ürünlerinde Modern Perspektifler

EDİTÖR
Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ

İKSAD
Publishing House

BÖLÜM 12

SU KALİTESİNİN YERİNDE İZLENMESİ İÇİN KULLANILAN BAZI İLERİ TEKNİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Asude ÇAVUŞ[1*]

Prof. Dr. Fazıl ŞEN[2]

[1]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, Van, TÜRKİYE. ORCID ID: 0000-0001-8328-4675. a.gultekin@yyu.edu.tr
[2]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, Van, TÜRKİYE. ORCID ID: 0000-0003-4242-3813. fazilsen@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su kalitesi ölçüm cihazları ile elde edilecek sonuçlar, kirliliğin nedenleri hakkında fikir sahibi olmamıza ve kirliliğin etkilerini tersine çevirmek için alınacak önlemleri belirlememize yardımcı olmaktadır. Mevcut yöntemler, bir bilim insanının sahaya gitmesi ve kaliteyi ölçmek için yerinde ölçüm yapması ve bir su numunesi almasını gerektiren geleneksel yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlarda verilerin toplanması için daha fazla zaman gerekmektedir ve gerçek zamanlı veri toplamak zordur. Özellikle ulaşımın zor olduğu yerlerde yapılan ölçümlerin maliyeti, daha fazladır. Bundan dolayı, son zamanlarda yapılan bazı yenilikçi çalışmalar sayesinde, su kalitesi gerçek zamanlı olarak, otonom bir şekilde ve geleneksel yöntemden daha kolay bir şekilde ölçülebilir. Bu bölümde, su kalitesi izleme ve değerlendirme için kullanılan son teknolojiler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, su kalitesi üzerine yapılan yenilikleri vurgulamak ve gelecekteki çalışmalarda keşfedilebilecek alanlar hakkında ipucu vermektir.

Bu araştırmanın amacı, yerinde ölçülen su kalitesi parametreleri ve su örneklerinin toplanması ile alakalı teknolojik yenilikleri incelemektir. Bahsi geçen sistemlerin hangi sensörleri kullandığı, kaç metre derinlikten örnek alabildiği, kaç metre derinliğe dalabildiği ve kullanılan cihazların özellikleri belirtilmiştir. Bu bölüm, su kalitesi parametrelerini gerçek zamanlı olarak elde edecek, değerlendirme süresini azaltacak ve araştırmacıların daha düşük maliyetler ile gözlem yapmalarına yardımcı olacak yenilikleri kapsamaktadır. Geliştirilen bu

sistemler su rezervuarlarının, sulak alanların, göllerin, nehirlerin veya havuzların periyodik olarak örneklenmesi ve izlenmesi için faydalı olacaktır.

Su kıtlığı üzerine yapılan çalışmalara göre, Türkiye'nin yakın gelecekte bir kıtlık tehdidiyle karşı karşıya kalacağı iddia edilmektedir. Birçok ülke gibi Türkiye de su kalitesini koruma, sınırlı su kaynaklarını verimli bir şekilde geliştirme ve yönetme konusunda zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorlu süreçte otonom su kalitesi ölçme cihazlarının geliştirilmesi ve kullanılması insan gücünü hafifletecektir.

Yerinde yapılan su kalitesi ölçümleri ve su örneklerinin toplanması özellikle bataklık tipi sulak alanlarda oldukça zordur. Çünkü örnekleme noktalarına ulaşım konusunda botun motoru dip yapısının sığ ve balçıklı olmasından dolayı her zaman kullanılamamaktadır. Böylece hektarlarca alanı gözlemlemek için insan gücüne (kürek kullanımı gibi) ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu da oldukça zahmetli bir iştir.

Suyu karakterize etmek ve zaman içinde su kalitesindeki değişiklikleri veya eğilimleri belirlemek için periyodik örnekleme ve analiz gereklidir (Koparan 2019).

Su kalitesinin izlenmesi çalışmaları, son yıllarda daha teknolojik cihazların kullanımı ile kolaylaşmıştır. Kullanım amaçları doğrultusunda suyun özelliklerini değerlendirmek için yapılan kalite analizlerinin, gerçek zamanlı yani yerinde ölçülerek yapılması daha doğru sonuçlar verecektir. Klasik yöntemlerde toplanan su örnekleri laboratuvara getirilir ve daha sonra farklı su parametrelerini ölçmek için

analiz edilir. Bu işlem, potansiyel hatalara neden olabileceği gibi yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu dezavantajlı durumu avantaja dönüştürmek amacıyla çeşitli yenilikçi teknolojiler ortaya atılmıştır. Bunların bazıları tasarım aşamasında kalmış bazıları ise üretilmiştir. Uygun maliyetli, daha az zaman ve güç tüketen su kalitesi çalışmaları için, nesnelerin interneti (IoT), kablosuz sensör ağı, modern iletişim teknolojisi, veri analiz teknikleri gibi teknolojilerden yararlanılmaktadır (Khaire ve Wahul, 2018). Buna karşılık Schaeffer ve ark., (2013) ve Xu ve Boyd, (2016) kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam fosfor, toplam azot, klorofil-a ve bulanıklık gibi göstergelerin bazılarının yerinde ölçülebileceğini, ancak en doğru sonuçların laboratuvar analizlerinden elde edilebileceğini bildirmiştir.

Su kalitesi ölçümünün manuel olarak yapılmasından kaynaklanan bazı problemler:

- İnsanlar, su kalitesi ölçümlerini manuel olarak yaparken hata yapmaya eğilimlidir.
- Hatalı ve kusurlu veriler, değerlendirmeyi önemli ölçüde etkiler.
- Manuel okumalar, zaman alıcı, emek yoğun olmasının yanı sıra yüksek maliyetlidir.
- Cihaz okumalarının uygun şekilde toplanmasını sağlamak için personelin eğitilmesi gereklidir.

- Sensörlerin, cihazların ve probların manuel olarak incelenmesi, üretken zaman, kaynak ve çabayı boşa harcatır (Bhardwaj ve ark., 2022).

Bu zorluklar nedeniyle, su kalitesinin manuel olarak hesaplanması işlemin hassasiyetini düşürebilmektedir. Bu sebeple su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli teknikler bu bölümde detaylıca verilmiştir.

2. NESNELERİN İNTERNETİ MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

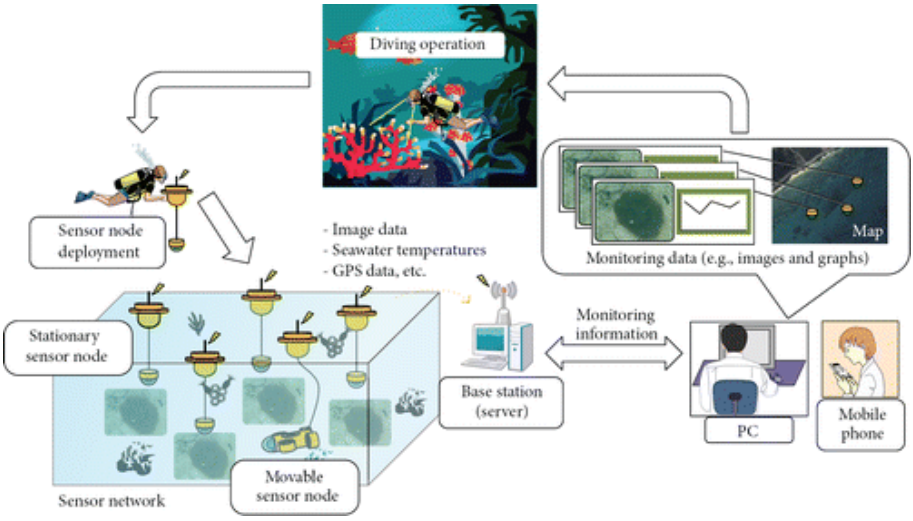
Bu bölüm, tanımlanmış iletişim ağlarını kullanarak su kalitesi izleme uygulamaları için yeni nesil kablosuz sensör ağ sistemlerinin verimliliğinin nasıl geliştirildiğini anlatmaktadır.

Milyarlarca cihaz günümüzde yalnızca elektronik ve sensörlerle değil, aynı zamanda veri toplama ve değişimine katkı sağlayan akıllı yazılımla da zenginleştirilmiştir (Kravari ve ark., 2021). IoT, çeşitli nesnelerin ortak bir hedefe ulaşmak için aralarında etkileşim ve işbirliği kurduğu bir teknolojidir (Marques ve Pitarma, 2020). Son yıllarda IoT, dünyanın birçok yönden derinlemesine ve kararlı bir şekilde değişeceği yeni bir çağı başlatıyor. Son yapılan araştırmalarda su kalitesi izleme ve değerlendirmesinde bir platform olarak IoT kullanılmaktadır. Kablosuz sensör ağı ve IoT ortamları son zamanlarda daha sık kullanılmaktadır (Ighalo ve ark., 2021). Bunun yanında deniz limanlarına entegre

edilebilen, kopyalanması kolay, su izleme ve bilgi sistemi içeren modeller de sunulmuştur (Kravari ve ark., 2021).

Su yönetimi faaliyeti su ürünleri, tarım, hayvancılık, sanayi, kamu hizmetleri, şehircilik gibi birden fazla sektör ile ilişkilidir. İçme suyunun izlenmesi, deniz, akarsu ve göllerde kirlilik unsurlarının tespiti, balık çiftlikleri veya yüzme havuzları gibi tesislerde su kalitesinin gerçek zamanlı kontrol edilmesi, borular boyunca basınç değişimlerinin izlenmesinde IoT teknolojisinden faydalanılmaktadır. Çözünmüş oksijen (ÇO), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık gibi su kalitesi kontrolü ile ilgili parametrelerin tespit edilmesinde kullanılan akıllı ürünler tasarlanmıştır. Bu ürünler herhangi bir bulut platformunda kablosuz ağ teknolojisine sahip gerçek zamanlı bilgi ve sürekli izlemeyi vaad eder. Örnel olarak, deniz ve göllere yerleştirilen şamandıralara güneş enerjisi ile çalışan hava koşullarına dayanıklı su geçirmez sensörler monte edilmektedir (Anonim 2022a).

Yerinde izleme için sualtı akustik sensör ağları (Şekil 1) kullanılarak su sıcaklığı, tuzluluk, pH, çözünmüş karbondioksit ve diğer kirleticilerin yüksek kaliteli verileri toplanmaktadır (Suzuki ve ark., 2014).



Şekil 1. Sualtı Durum İzleme Sensörü Ağ Sisteminin Kavramsal Çizimi (Suzuki ve ark., 2014).

Su arıtma ve su dolum tesislerindeki sensörlerin, gömülü ve akıllı cihazların, optimum performans için proaktif olarak izlenmesi gerekir. Geleneksel olarak su kalitesi ölçümleri sırasında ve cihazlar için, zamana, işgücüne ve kaynaklara büyük yatırımlar yapmak gerekir. IoT tabanlı teknolojiler ise, su kalitesinin izlenmesinde, kirlilik seviyeleri, cihaz ve uygulama performansıyla ilgili uyarıları gerçek zamanlı olarak yapmaktadır. Makine öğrenimi modelleriyle entegre IoT tabanlı teknolojiler, su izlemeyi ve su kalite parametrelerine erişimi daha verimli bir şekilde yönetmektedir. (Bhardwaj ve ark., 2022)

IoT cihazları ve sensörler, yeni Bulut tabanlı teknolojilerle entegre gömülü problar kullanılarak işlevselleştirilmiştir. Bunlar düşük maliyetli ve verimli su yönetim sistemlerini oluşturabilir. Ayrıca, yapay

Pitarma, 2020). Su ile ilgilenen çeşitli kurumlar tarafından bu uygulama ile vana, hidrant, sayaç, çapraz bağlantı, pompa istasyonları, kuyular, rezervuarlar, numune alma istasyonları ve sızıntılar tespit edilebilmektedir. Mevcut ve güncel durum infraMAP yazılımının kullanılmasıyla değerlendirilmektedir (Anonim, 2022b).

Sonuç olarak, IoT'ye dayalı akıllı su kalite kontrol sistemleri, farklı su kalite kriterlerinin otomatik olarak izlenmesini sağlamaktadır. Bazı su kalite parametreleri; sensörler ve problar gibi araçlar kullanılarak uzak konumlardan gerçek zamanlı olarak hesaplanır. Bu araçlar, bir su sisteminin durumu hakkında gerçek zamanlı verileri bir platform paketine gönderir.

3. İHA MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

İnsansız hava araçlarının (İHA) farklı alanlarda kullanılması geçmişe dayanmaktadır. Örneğin kirliliğin olabileceği farklı su sistemlerini hızlı ve verimli bir şekilde analiz etmek, yada su numuneleri toplamak için İHA'lar tasarlanmaktadır. Bunun için, İHA'ya bir pompalama sistemi monte edilmektedir. Yönetmelikte belirtilen standartlara göre daha fazla analiz yapmak için numune toplayacak bir sistem geliştirilmelidir (Krejci Garzon ve ark., 2018).

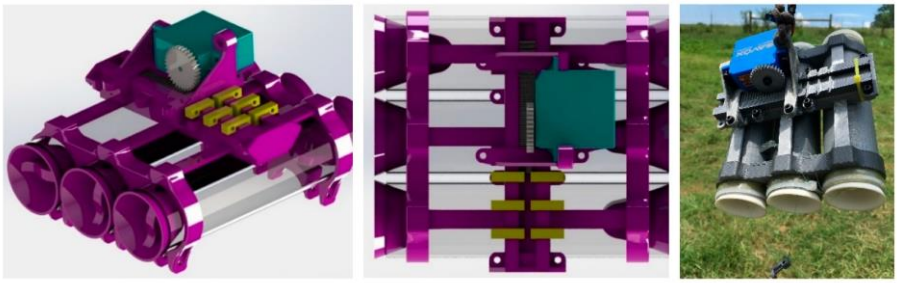
İç suların rakım ve batimetrisini izlemek için de İHA'lar kullanılmıştır. İHA rakım gözlemleri, bir radar ve küresel bir navigasyon uydu sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Su derinliği, İHA tarafından kontrol edilen bağlı bir yüzer sonar kullanılarak ölçülmektedir. Bu sonar, derin ve bulanık suda da derinlik ölçümlerinde kullanılmaktadır. Hata payı

rakım ölçümlerinde 5-7 cm'den daha az olduğu ve su derinliği ölçümlerinde ise yaklaşık %3,8 olduğu tahmin edilmektedir. Bu teknoloji, hem sığ sularda (sulak alanlarda) hem de derin sularda doğru rakım ve batimetri ölçümleri sağlamaktadır. İHA kaynaklı teknolojinin, mevcut uçaklara göre daha esnek ve daha düşük maliyetli bir alternatif olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda İHA'lar, operatörler tarafından ulaşılması zor olan uzak bölgelerin izlenmesinede izin vermektedir (Bandini ve ark., 2018).

Balıkçılık yapılan sularda su kalitesini belirlemek üzere bir tasarlanan İHA'da balıkçılık açısından önemli olan bazı parametreler bir elektrot sensör dizisi ile belirlenmiştir. Tasarlanan bu İHA, kaliteyi zamanında izleyerek gelecekteki su kalitesi eğilimini tahmin etmiştir (Cao ve ark., 2020).

Yüzey sularında kullanılmak üzere yerinde su kalitesi ölçümleri yapan ve su örnekleri de toplayabilen İHA'lar da geliştirilmektedir. Bu tip özel yapım İHA'lar 3 m'ye kadar farklı derinliklerden su örneklemesi yaparken su sıcaklığı, Eİ, ÇO ve pH gibi pek çok parametreyide eş zamanlı olarak ölçmektedir. Nansen şişelerinin kapanması için manuel olarak kullanılan messenger'lar, İHA'larda ilk etapta tercih edilmiş, fakat yapılan denemelerde şişelerin ağzının her seferinde kapanmamasından dolayı farklı su alma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin avantajı Messenger'a ihtiyaç duyulmamasıdır. Aynı zamanda başka bir avantajı ise istenilen derinlikte kapların ağızlarının kapanması için servo motor kullanılmasıdır. Servo motor dişlileri çalıştırarak kancaların açılmasına ve su kaplarının ağızlarının kapanmasına

yardımcı olmaktadır (Koparan ve ark., 2018a; Koparan ve ark., 2018b; Koparan ve ark., 2019; Şekil 2). Şekil 2'de 130 ml'lik 3 tane su örnekleme kabı verilmiş olup her bir örneklemede 390 ml su alınmaktadır.



Şekil 2. Su Örnekleme Kartuşu Ve Bileşenleri. (a) Yeşil bileşen servodur, sarı bileşenler kancalardır, şeffaf bileşenler kartuşlardır ve mor bileşenler çerçeve ve kapaklardır, (b) gri bileşenler pinon dişli ve dişli rafı, (c) örnekleyici. (Koparan ve ark., 2019)

Otonom cihazlar; istenilen sensörlerin kullanılmasında kolaylık sağlayan, ekonomik, tasarlanabilir veya hazır olarak satın alınabilir açık kaynaklı elektronik platformlarla donatılabilir (İstanbullu, 2015; Koparan ve ark., 2018a).

İHA kontrolü manuel veya otonom olarak yapılmaktadır. İHA'nın manuel kontrolü bir radyo kontrolörü ile otonom kontrolü ise, bir otopilot ile gerçekleştirilebilir. Otopilota, otonom kontrol ve yer iletişimi için bir GPS alıcısı ve radyo telemetrisi eşlik edebilir. Otopilot kontrolörü bir ana ivmeölçer, jiroskop, manyetometre ve barometre gibi sensörlerde içerebilir. Uçuş sınırını, yol noktalarını, otonom navigasyon

detaylarını belirlemek ve entegre sensörleri / aktüatörleri yapılandırmak için çeşitli yazılımlarda denenmektedir (Koparan ve ark., 2018a).

Su örneklemesinde kullanılan İHA'ların taşıma kapasiteleri birçok parametreye bağlı olarak artırılıp azaltılabilir. Örnek olarak; Koparan ve ark., 2019 tarafından üretilen su kalitesi ölçümü de yapabilen İHA destekli otonom su örnekleme sistemi, 10 dakika süre ve 6.3 kg toplam kalkış ağırlığı ile 106 N itme kuvveti üretmiştir. Sistemin itme / ağırlık oranı, %50 gazda 2.5 olarak ölçülmüştür.

Su kaynaklarının sedimantasyon hızını tespit etmek için İHA, USV ve ROV kullanılmaktadır (Erena ve ark., 2019). Örneğin; Segura Nehri Havzası (İspanya), yıllık su depolarının sedimantasyon hızının tespit edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada İHA'lar kullanılarak rezervuar yüzey alanının fotogrametrisi belirlenerek elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılmıştır.

Askeri alanlarda ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamak için İHA'lar kullanılmaya başlansada, günümüzde sivil uygulamalarda pek çok alanda İHA'lara yer verilmektedir. Su kaynaklarının izlenmesi, kalitesinin belirlenmesi sebebiyle kullanılmakta olan İHA'lar açık havada seyredeceğinden her türlü hava durumuna dayanıklı, aynı zamanda düşük ağırlıkta olması gerekmektedir. Bu sebeple içi boşluklu plastik yada hafif karbon kompozit materyaller kullanılması önerilmektedir (Korkmaz ve ark., 2016).

İHA'lar nano, mikro ve küçük İHA olmak üzere üç kategoride incelenmektedir. Yaklaşık olarak 450 gr'dan daha hafif, 30 cm'den

küçük, 40 km/saat'ten düşük uçuş hızı olan İHA'lara nano İHA; 0.45-20 kg arası ağırlıkta, 90 cm'den küçük, 16-40 km/saat arasında uçuş hızı olan İHA'lara mikro İHA; 20-25 kg arası, 3 m'den küçük,80-120 km/saat arasında uçuş hızı olan 4 saate kadar uçabilen İHA'lar ise küçük İHA olarak adlandırılmaktadır (Korkmaz ve ark., 2016). Su kalitesi çalışmalarının kapsamına göre tercih edilecek İHA'nın, taşıma kapasitesine göre su örnekleme kaplarının boyutu ve örnekleme derinliği artırılabilir (Koparan et.al 2019).

Yerinde ölçüm yapılan bir su kalitesi çalışmasında, klasik yöntem ve İHA kullanılarak su örnekleme ve su kalitesi izleme yöntemi arasında bazı farklar bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını, mali açıdan İHA'ların üretimi ve satın alınma durumu klasik yönteme göre daha az tercih edilmesi, klasik yöntemle can güvenliğini sağlamak zorunlu iken, İHA kullanımında can kaybı yada kaza riskinin olmaması, harcanacak yakıt miktarının klasik yöntemden daha az olması olarak sıralayabiliriz. Bununla beraber çevresindeki tehditlerin algılanması ve buna karşılık verilmesi ise klasik yöntemde daha mümkündür (Korkmaz ve ark., 2016).

İHA'ların gelecekte zebra midye veya sinyal kereviti gibi istilacı türlerin izlenmesinde, risklerin değerlendirilmesinde ve kontrolünde kullanılabileceği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Gallardo ve Aldridge, 2020). İHA'lar; sadece su kalitesi araştırmalarında değil aynı zamanda, kıyı erozyonu araştırmaları (Chen ve ark., 2018; Turner ve ark., 2016), nehir ve plaj çöplerinin izlenmesi (Martin ve ark., 2018)

gibi uzun vadeli izleme çalışmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Akarsularda fiziksel bir kirlilik kaynağı olan makroplastikler İHA'lar kullanılarak izlenmiştir. Uygun hava şartlarında İHA'ların akarsularda yüzen plastik parçalarını izlemesi, klasik yöntemlere (Atıcı ve ark., 2020) nazaran daha kolaydır. Akarsu kenarlarına biriken 2.5 cm'den büyük makroplastik parçalarının izlenmesinde İHA'ların veri toplama ve işleme özelliğinden yararlanılmaktadır. (Geraeds ve ark., 2019). Ayrıca, havadan görüntüleme, bir dizi çevresel araştırmada karmaşık nesneleri tanıma ve sınıflandırma sorunlarını çözmek için halihazırda uygulanmaktadır (Andrew ve ark., 2017; Kellenberger ve ark., 2019; Lyons ve ark., 2019; Geraeds ve ark., 2019).

İHA destekli su örnekleme teknolojisindeki gelişmeler, sucul ekosistemlerden su örneklerinin ve fiziko-kimyasal verilerin elde edilmesini her geçen gün kolaylaştırmaktadır. Su örneklemesi için İHA'ların kullanılması, araştırılan su kaynağının ayrıntılı su kalitesi profilinin ortaya konmasına yardımcı olmaktadır (Lally ve ark., 2019).

4. ASV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Otonom Yüzey Taşıtları (ASV)'nın kullanımı II. Dünya Savaşı'na kadar uzanmakla beraber, 1990'larda yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Birçok askeri uygulama da özellikle mayın tarama, keşif, gözetim ve sahil güvenlik için sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle 1990 yılından önce geliştirilen birçok mayın tarama yüzey teknesi, uzaktan kumanda yöntemiyle yapılmıştır (Veers ve Bertam, 2006).

ASV'lerin bir başka yaygın uygulaması ise bilimsel araştırmalardır, çünkü ASV'ler örnek toplama ve oşinografik araştırmalar için ideal bir platform olarak görülmektedir. ASV'nin kullanıma bir örnek, veri ve numune toplamak üzere tasarlanmış bir robot olan SESAMO'dur (Caccia ve ark., 2005). Bilimsel araştırmayı kolaylaştırmak için birçok ASV, Otonom Sualtı Araçlarını (AUV) desteklemek üzere tasarlanmıştır. Örneğin bir ASV, AUV'ye eşlik ederek rıhtım görevi görmüş ve akustik bir modem kullanılarak birbiriyle iletişim kurması sağlanmış, aynı zamanda, (Ferreira ve ark., 2006) batimetrik veri toplama ve hassas yol takip sistemi gibi görevleri ile AUV'ye yardımcı olmuştur (Pascoal ve ark., 2000).

ASV'ler kullanılarak yapılan bir çalışmada İngiltere sahil güvenlik yönetmeliklerine uygun yüzeyde bulunan diğer araçlardan kaçınan bir model geliştirilmiştir (Benjamin ve ark.). Bir başka çalışmada ise bir ASV türü olan SESAMO, navigasyon olarak insan tarafından programlanmış yol noktalarını kullanmıştır (Caccia ve ark., 2005). Aynı zamanda çeşitli otonom yüzey araçlarında deniz radarları arama ve kurtarma amacıyla da kullanılmıştır. Shi ve ark., (2008) denizde insanların olabileceği düşüncesi ile yakındaki küçük nesneleri tespit etmek için radar kullanmıştır. Larson ve ark., (2006) kısa menzilli engellerden kaçınmak için radar verilerini sensör verileriyle birleştirerek bu durumu çözmüşlerdir. Almeida ve ark., (2009) engelleri tespit etmek ve çarpışmaları önlemek için diğer sensörlerden oluşan bir ağ ile bütünleşmiş deniz radarı kullanmıştır (Oleynikova ve ark., 2010).

5. AUV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

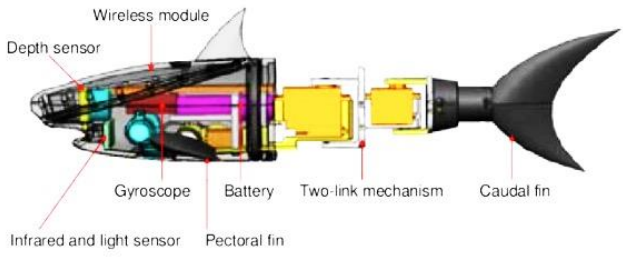
Otonom Sualtı Araçları (AUV'lar), tipik olarak bir yüzey gemisinden yerleştirilen insansız araçlardır ve birkaç saat ila birkaç gün arasında bu gemiden bağımsız olarak çalışabilirler (Amran ve ark., 2021). Bunun yanında su kalitesini ölçmek için pH sensörü, sıcaklık sensörü ve bulanıklık sensörüne sahip bir Otonom Sualtı Aracı (AUV) geliştirilmiştir (Amran ve ark., 2021).

AUV'ların yatay hareket edebilmesi için cihazın yan tarafına iki itici yerleştirilmektedir. Bu iticilerin kontrolü bir dijital pusula tarafından yapılmaktadır. Bunun yanında, AUV'ların dikey hareket edebilmesi için yine cihazın alt tarafına iki itici yerleştirilerek bunların kontrolü bir derinlik sensörü tarafından takip edilmektedir.Teknolojik ilerlemelerle beraber üzerinde pH sensörü, sıcaklık sensörü ve bulanıklık sensörü gibi çeşitli sensörlerin bulunduğu AUV'lar geliştirilmiştir. Sensörler, mikro denetleyici güç vermeye başladığında çalışmaya başlar. Su kalitesi parametrelerini ölçmek, su altında kalma yeteneğini belirlemek ve işlevselliğini test etmek için göl, gölet ve havuz gibi durgun sularda test edilebilmektedir. Aynı zamanda bir operatörün arayüzüne ihtiyaç duymadan da AUV, verilen bir görevi başarıyla gerçekleştirebilir (Amran ve ark., 2021).

Denizlerin keşfi için önemli bir araç olan otonom su altı aracı (AUV) yeniden şarj edilmek, tamir edilmek veya belirli aralıklarla bilgi alışverişi yapmak için bir kenetlenme istasyonuna (DS) girmelidir. Ancak, karmaşık su altı ortamı bu süreci zorlaştırmaktadır. AUV'nin

kenetlenme istasyonuna göre konumunu ve tutumunu belirlemek için yapılan bir çalışmada, polarize optik davranışa dayalı gerçek zamanlı bir yöntem önerilmiştir. Bununla beraber kenetlenme istasyonunda, AUV görüş sistemi tarafından tanınan dört polarize yapay su altı noktası konumlandırılmıştır. Bunlar ışık yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, bir ışık demetinin polarizasyonunun, özellikle su altı ortamlarında daha büyük yayılma mesafelerinde daha iyi korunduğu bilinmektedir. Deniz hayvanlarının iletişim yeteneğinden esinlenerek önerilen bu yöntem, poz parametrelerini başka herhangi bir seyir bilgisi olmadan 10 ms'den daha kısa sürede hesaplama yeteneğine sahiptir. Simülasyon sonuçları, kıyı okyanusunda 100 m içinde açı hatalarının küçük olduğunu ve konum hatalarının 0.116 m'den fazla olmadığını ortaya koymaktadır (Cheng *ve ark.,* 2020).

Bazı su kaynaklarında su kirliliği ve ötrofikasyon nedeniyle, su kalitesini izleme görevini gerçekleştirmek için tüm su kaynağını gezebilecek sualtı robotları geliştirilmektedir. Bu sualtı robotları aynı zamanda belli zaman aralıklarıyla belli noktalardan art arda ölçüm yapabilmektedir. Wuhan'daki East Gölü'nü bu amaçla izlemek için bir robot balık geliştirildiği bilinmektedir (Yu ve ark., 2012).



Şekil 3. Minyatür Robot Balıkların Mekanik Konfigürasyonu (Yu ve ark., 2016)

Biyonik sualtı robot balıkları ve kablosuz algılama teknolojisini birleştirerek otonom biyonik robot balıklara dayalı mobil su kalitesi izleme sistemleri oluşturulmuştur. Ana bilgisayar kontrol yazılımları, robot balığın sudaki hareketini serbestçe kontrol edebilir, birden fazla noktada ve farklı derinliklerde su kalitesi algılamasını gerçekleştirebilirler. Son zamanlarda yapılan balıklar esnek bir şekilde hareket etmekte, verileri hızlı bir şekilde iletmekte ve su kalitesinin gerçek zamanlı olarak tespit etmektedir (Yu ve ark., 2016).

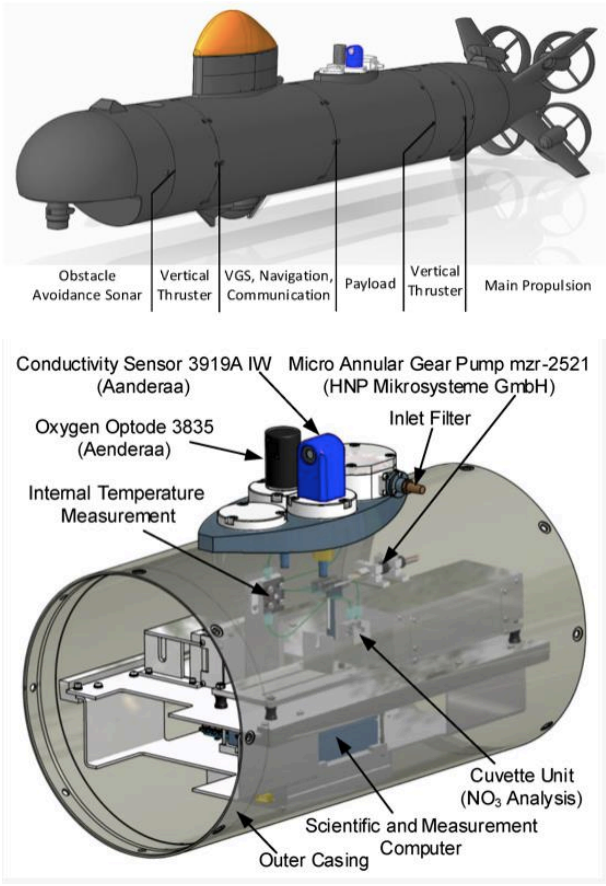
Suda ilerleme mekanizmalarını geneklikle dört temel grupta inceleyebiliriz. Birincisi, bentik su ürünleri gibi suyun dibinde yürüyen hareket tipidir. İkinci ilerleme şekli ise pelajik bölgede bulunan balıklar ve denizaltılar gibi bir füziform şekildir. Üçüncü ilerleme şekli, gemi, insan ve su kuşları gibi mekanizmanın bir bölümü su altında, kalan bölümü ise su üstünde olduğu ilerleme şeklidir. Sonuncusu ise nöstonlar (su yüzey filminde yaşamaya uyum sağlamış canlılar) ve mikro-robotların su yüzeyinde ve suya batmadan kendilerini itmek, yürümek ve zıplamak suretiyle yaptıkları ilerleme şeklidir. (Tapan 2019).

AUV'lar, su kalitesinin belirlenmesinin yanı sıra balık çiftliklerinin çevreye olası etkilerinin incelenmesi ve rezervuarların batimetrik haritasının çıkarılması amacıyla da kullanılmaktadır (Eichhorn ve ark., 2018; Erena ve ark., 2019).

Deniz bilimi üzerine insansız otonom sualtı araçları geliştirmek amacıyla 1988 yılında Birleşik Krallık Doğal Çevre Araştırma Konseyi

(NERC) tarafından Autosub Projesi kapsamında konvansiyonel araştırma gemilerinde, fizikokimyasal ve biyolojik analizler yapabilen, uzun menzilli ve suyun derinliklerine dalabilen bir sualtı aracı üretilmiştir (Kimber ve Scrimshaw, 1994).

Eichhorn ve ark., (2018), balık çiftliklerinin Norveç fiyortlarına etkisini incelemek amacıyla sodyum nitrat, ÇO, Eİ, sıcaklık ölçümü yapabilen otonom bir sualtı aracı (AUV) geliştirmişlerdir. Aynı zamanda ölçüm sistemi bir mühendislik şirketi tarafından tasarlanmış ve oluşturulmuştur. Sunulan konsept, ölçüm sisteminin minimum donanım ve yazılım teknik arayüzleri ile sualtı aracına nasıl kolayca entegre edilebileceğini göstermekte ve aracın tamamen otonom olarak çalışabilir veya fiber optik bağlantı ile uzaktan kontrol edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 4. AUV ve Sensör Sisteminin Bilgisayar Destekli Tasarım Çizimi (Eichhorn ve ark., 2018).

Bunların dışında, USV ve ROV yardımıyla rezervuarların batimetrik haritası çıkarılmış ve açık kaynaklı elektronik sensörler platformu ile donatılan ROV ile aynı zamanda bazı su kalitesi ölçümleri de (suyun sıcaklığını, Eİ, ÇO, ORP ve pH'sı) yapılmıştır (Erena ve ark., 2019).

Bununla beraber bazı araştırmacılar İHA ve AUV geliştirmek için harcadıkları enerjinin ve zamanın aslında bir kayıp olduğunu,

örnekleme noktalarına bizzat gidilerek analiz yapılmasının daha doğru sonuç vereceğini bildirmişlerdir.

6. İNSANSIZ AMFİBİ ARAÇ MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Petrol sızıntılarının izlenmesi, askeri sınırlar ve uzak su kütlelerinde su kalitesi ölçümü dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için insansız amfibi araçları kullanılmaktadır. Bu araçlar, çeşitli rüzgar koşullarında sürüklenmenin etkisinden dolayı zarar görebilmektedir. Bu sorunun çözümü üzerine yapılan bir çalışmada, sürtünmeyi en aza indirmek ve aerodinamik performans özelliklerini iyileştirmek amaçlanmıştır. Hesaplamalı akışkan dinamik analizi, tasarlanan amfibi aracın sürüklenmesinin ortak etkinliğini tahmin etmek için k-ω, k-ε ve SST k-ω (kayma gerilimi aktarımı) gibi çeşitli türbülanslı modeller dikkate alınarak gerçekleştirilir. Bu statik analiz, hücum açısının (AoA) 5, 8.3 ve 10 m/sn nispi hava hızı altında 0'dan 100'e çıkmasıyla gerçekleştirilir (Jaouad ve ark., 2020).

Dikey olarak kalkış ve iniş yapabilen bir multikopter ve bir hava yastıklı teknenin (hoverkraftın) hibrit versiyonuna sahip otonom bir amfibi insansız hava aracı sistemi tasarlanmış ve bir prototipi üretilmiştir. Bu araç; su kalitesi ölçümü, su numunesi alma, uzaktan algılama, batimetri haritası oluşturma özelliklerine sahiptir (Manoharan ve ark., 2021).



Şekil 5. Amfibi İnsansız Hava Aracı (Manoharan ve ark., 2021).

7. HROV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Otonom ve uzaktan kumandalı araç (ARV) olarak da bilinen hibrit bir sistem içeren (HROV), okyanusları nispeten geniş bir aralıkta keşfetmek için ROV teknolojisinin ve AUV teknolojisinin avantajlarını birleştirebilen insansız dalgıçların en son keşfi olarak düşünülmektedir (Xu, 2019).

HROV, geleneksel ROV'larla karşılaştırıldığında, araç kendi kendine güç sağlarken, ipinin fiber optik ve daha kısa olması avantajları olarak sayılabilir. Tipik bir HROV, su altı aracı, bağlama sistemi ve yüzey desteği olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Aynı zamanda fiber optik bağlama sistemi ve hibrit kontrol mimarisi, HROV'lerin dikkate değer özelliklerinden bazılarıdır (Xu, 2019).

8. ROV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Su kalitesi parametrelerini ölçmek ve izlemek için çok sayıda sualtı platformu olmasına rağmen ROV, yüksek maliyet ve sınırlı erişiminden dolayı kullanımı kısıtlıdır. Bununla beraber sualtı ekosistemini ölçmek ve izlemek için düşük maliyetli, kolay erişilebilir bir çözüm geliştirmek gerekmektedir. ROV, su parametrelerini ölçmek, kirliliği ve bunun sonucunda su altı ortamında meydana gelen değişiklikleri izlemek için geliştirilen bir sistemdir. Aynı zamanda bu teknoloji araştırılan su kütlesinin bulanıklığını, sıcaklığını ve pH'sını ölçebilen sensörlerde içerebilmektedir (Gawas ve ark., 2020).

ROV olarak geliştirilen bir mikro sualtı robotunun 3 boyutlu hareket kontrolü konusunda bazı gelişmeler gözlemlenmiştir. Üretiminde boyutunun küçüklüğünden dolayı motor takılamayan sualtı robotunda ısıya duyarlı (N-izopropilakrilamid) veya hidrojelden imal edilmiş malzeme kullanılmıştır. Böylece değişen sıcaklığa, elektrikli veya ultrasonik dalgalara yanıt olarak basit dalma ve çıkma hareketleri yapabilmektedir. Jeller ısıtıldığında su içinde yüzeye çıkmakta, soğutulduğunda ise batmaktadır. Poli içeren bu cihazlar, uzaktan kumandalı mikro sualtı robotları için iyi bir potansiyele sahip olarak düşünülmektedir (Choi ve ark., 2021).

9. SONUÇ

Su, insanın varoluşunu sürdürebilmesi için sınırlı ve temel bir kaynaktır. Ayrıca, su yönetimi sadece insani tüketim için değil, aynı zamanda tarım, sanayi, balıkçılık, rekreasyon gibi çeşitli uygulamalar

için de elzemdir. Sonuç olarak, halk sağlığı, su ürünlerinin üretimi, tarımsal üretkenliği artırmak, enerji üretimi için su kalitesi gerçek zamanlı olarak izlenmelidir. Gelişmiş ve akıllı şehirler, tarımsal faaliyetler için gerekli ve uygun maliyetli uygulamalar geliştirmek yukarıda belirtilen çeşitli teknolojilerle mümkün olabileceği gösterilmiştir. Geleceğin araştırmacıları, bu tür cihazların daha verimli çalışmasını sağlamak için, tasarımları geliştirebilirler. Doğal afetlerde, acil bir durumda yapılması gereken uyarı ve önleyici tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilirler (Khaire ve Wahul, 2018).

Iot elektronik sensörler ve internet kullanarak cihazları ve araçları birbirine bağlar. Makine öğrenmesi tekniği sayesinde ölçüm istasyonlarını otomatik olarak kaydetmesi, bir sonraki seferde aynı koordinatları bulup ölçüm yapması araştırıcılara kolaylık sağlayacaktır. Balık ve su omurgasızlarının yakalanması için çeşitli göz açıklıklarına sahip ağlar ve tuzaklar kullanılmaktadır. Avcılık sırasında kaybolan veya atılan ağlar, hayalet avcılığa sebep olmaktadır. İHA'ların hayalet ağların tespitinde kullanıldığı, derin sulardan ziyade sığ ve berrak sularda tespit çalışmalarında daha başarılı olduğu belirlenmiştir (Bloom ve ark., 2019). AUV'ların ise derin sulardaki hayalet ağların tespitinde kullanılması önerilebilir.

Su kalitesi çalışmalarında henüz başlangıç aşamasında olan İHA'ların ilerleyen zamanlarda boyut, ağırlık, güç, kullanıma uygunluk, sürdürülebilirlik, malzeme özellikleri ve dayanıklılığı konularında çalışılması gerekmektedir (Korkmaz ve ark., 2016).

Türkiye; içme, kullanma, sulama, enerji üretimi gibi farklı amaçlar için barajlar ve rezervuarları inşa ederek, yağışlardan doğrudan ve dolaylı olarak gelen suyu depolamıştır. Türkiye'nin mevcut su potansiyelini kullanmak için büyük projelerin inşası devam etmektedir. Böyle büyük projelerde barajlar ve rezervuarların yıllık veya mevsimlik batimetri haritalarının çıkarılması; dipte biriken sediment miktarını, su hacmini belirlemede fayda sağlayacaktır. Batimetri haritaları için GPS ve derinlik ölçer sensörü olan sualtı otonom cihazlarının kullanılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

Amran, I. Y., Isa, K., Kadir, H. A., Ambar, R., Ibrahim, N. S., Kadir, A. A. A., & Mangshor, M. H. A. (2021). Development of autonomous underwater vehicle for water quality measurement application. In *Proceedings of the 11th National Technical Seminar on Unmanned System Technology 2019* (pp. 139-161). Springer, Singapore.

Andrew, M. E., & Shephard, J. M. (2017). Semi-automated detection of eagle nests: an application of very high-resolution image data and advanced image analyses to wildlife surveys. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *3*(2), 66-80.

Anonim 2022a. https://www.libelium.com. Erişim tarihi 03.03.2022, saat 18:15.

Anonim, 2022b. iWater, infraMAP Software. https://iwater.org. Erişim tarihi ve saati: 02.03.2022, 17:00.

Atıcı, A. A., Sepil, A., & Şen, F. (2020). Evaluation of plastic pollution on the east coast of Zeve Campus (Van) using the clean coast index. *Review of hydrobiology*, *13*(1).

Ayırga, H. S. (2014). Şekil hafızalı aktuator ile biomekanik hareket edebilen sualtı robot tasarımı ve prototip geliştirilmesi.

Bandini, F., Lopez-Tamayo, A., Merediz-Alonso, G., Olesen, D., Jakobsen, J., Wang, S., ... & Bauer-Gottwein, P. (2018). Unmanned aerial vehicle observations of water surface elevation and bathymetry in the cenotes and lagoons of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Hydrogeology Journal*, *26*(7), 2213-2228.

Benjamin, M. R., Leonard, J. J., Curcio, J. A., & Newman, P. M. (2006). A method for protocol-based collision avoidance between autonomous marine surface craft. *Journal of Field Robotics*, *23*(5), 333-346.

Bhardwaj, A., Dagar, V., Khan, M. O., Aggarwal, A., Alvarado, R., Kumar, M., ... & Proshad, R. (2022). Smart IoT and Machine Learning-based Framework for Water Quality Assessment and Device Component Monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.

Bloom, D., Butcher, P. A., Colefax, A. P., Provost, E. J., Cullis, B. R., & Kelaher, B. P. (2019). Drones detect illegal and derelict crab traps in a shallow water estuary. *Fisheries Management and Ecology*, *26*(4), 311-318.

Caccia, M., Bono, R., Bruzzone, G., Spirandelli, E., Veruggio, G., Stortini, A. M., & Capodaglio, G. (2005). Sampling sea surfaces with SESAMO: an autonomous craft for the study of sea-air interactions. *IEEE robotics & automation magazine*, *12*(3), 95-105.

Cao, H., Cheng, L., Wu, B., & Gao, G. (2020). Research on Unmanned Aerial Vehicle Water Combined Quality Detection and Early-Warning System. In *Proceedings of the 11th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC2019)* (pp. 1107-1117). Springer, Singapore.

Chen, B., Yang, Y., Wen, H., Ruan, H., Zhou, Z., Luo, K., & Zhong, F. (2018). High-resolution monitoring of beach topography and its change using unmanned aerial vehicle imagery. *Ocean & Coastal Management*, *160*, 103-116.

Cheng, H., Chu, J., Zhang, R., Gui, X., & Tian, L. (2020). Real-time position and attitude estimation for homing and docking of an autonomous underwater vehicle based on bionic polarized optical guidance. *Journal of Ocean University of China*, *19*(5), 1042-1050.

Choi, J. G., Gwac, H., Jang, Y., Richards, C., Warren, H., Spinks, G., & Kim, S. J. (2021). Poly (N-isopropylacrylamide) hydrogel for diving/surfacing device. *Micromachines*, *12*(2), 210.

Eichhorn, M., Ament, C., Jacobi, M., Pfuetzenreuter, T., Karimanzira, D., Bley, K., ... & Wehde, H. (2018). Modular AUV system with integrated real-time water quality analysis. *Sensors*, *18*(6), 1837.

Erena, M., Atenza, J. F., García-Galiano, S., Domínguez, J. A., & Bernabé, J. M. (2019). Use of drones for the topo-bathymetric monitoring of the reservoirs of the Segura River Basin. *Water*, *11*(3), 445.

Ferreira, H., Martins, A., Dias, A., Almeida, C., Almeida, J. M., & Silva, E. P. (2007). Roaz autonomous surface vehicle design and implementation. *Robótica Controlo, Automação, instrumentação*.

Gallardo, B., & Aldridge, D. C. (2020). Priority setting for invasive species management by the water industry. *Water Research*, *178*, 115771. doi: https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115771.

Gawas, K., Khanolkar, S., Pereira, E., Rego, M., Naaz, M., & Braz, E. (2020, October). Development of a low cost remotely operated vehicle for monitoring underwater marine environment. In *Global Oceans 2020: Singapore–US Gulf Coast* (pp. 1-7). IEEE.

Geraeds, M., van Emmerik, T., de Vries, R., & bin Ab Razak, M. S. (2019). Riverine plastic litter monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Remote Sensing*, *11*(17), 2045.

Ighalo, J. O., Adeniyi, A. G., & Marques, G. (2021). Internet of things for water quality monitoring and assessment: a comprehensive review. *Artificial intelligence for sustainable development: theory, practice and future applications*, 245-259. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51920-9_13

İstanbullu, A. (2015). Açık kaynaklı donanım Arduino Platformu ile Sensörler Dersi Deneyimleri. *Akademik Bilişim Ulusal Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.*

Jaouad, H., Vikram, P., Balasubramanian, E., & Surendar, G. (2020). Computational Fluid Dynamic Analysis of Amphibious Vehicle. In *Advances in Engineering Design and Simulation* (pp. 303-313). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8468-4_23

Kellenberger, B., Marcos, D., Lobry, S., & Tuia, D. (2019). Half a percent of labels is enough: Efficient animal detection in UAV imagery using deep CNNs and active learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *57*(12), 9524-9533.

Khaire, S. R., & Wahul, R. M. (2018, October). Water Quality Data Analysis and Monitoring System in IoT Environment. In *2018 3rd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (pp. 326-330). IEEE.

Kimber, N., & Scrimshaw, K. (1994). Hydrodynamic testing of a 3/4 scale autosub model. In *Oceanology International* (Vol. 94).

Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., & Sawyer, C. B. (2018a). In situ water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Water*, *10*(3), 264.

Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., Sawyer, C. B., & Sharp, J. L. (2018b). Evaluation of a UAV-assisted autonomous water sampling. *Water*, *10*(5), 655.

Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., & Sawyer, C. B. (2019). Autonomous in situ measurements of noncontaminant water quality indicators and sample collection with a UAV. *Water*, *11*(3), 604.

Korkmaz, Y., İyibilgin, O., & Fındık, F. (2016). Geçmişten günümüze insansız hava araçlarının gelişimi. *Sakarya University Journal of Science*, *20*(2), 103-109.

Kravari, K., Tziourtzioumis, D., & Kosmanis, T. (2020, June). AIRUV: a remotely operated underwater vehicle with artificial intelligence perspectives. In *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence* (pp. 116-125). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53829-3_11

Krejci Garzon, E., Diaz Gutiérrez, Y., Salgado Alba, M. A., & Celis Florez, F. A. (2018, October). Design and Implementation of a Laboratory Sample Collection System Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In *Workshop on Engineering Applications*(pp. 161-172). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00353-1_14

Lally, H. T., O'Connor, I., Jensen, O. P., & Graham, C. T. (2019). Can drones be used to conduct water sampling in aquatic environments? A review. *Science of the total environment*, *670*, 569-575.

Larson, J., Bruch, M., & Ebken, J. (2006, May). Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicles. In *Unmanned systems technology VIII* (Vol. 6230, p. 623007). International Society for Optics and Photonics.

Lyons, M. B., Brandis, K. J., Murray, N. J., Wilshire, J. H., McCann, J. A., Kingsford, R. T., & Callaghan, C. T. (2019). Monitoring large and complex wildlife aggregations with drones. *Methods in Ecology and Evolution*, *10*(7), 1024-1035.

Manoharan, D., Gajendran, C., Padmanabhan, M. K., Vignesh, S., Rajesh, S., & Bhuvaneshwaran, G. D. (2021). Design and development of autonomous amphibious unmanned aerial vehicle for in situ water quality assessment and water sampling. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, *9*(1), 182-204.

Marques, G., & Pitarma, R. (2019, December). A Cost-Effective Real-Time Monitoring System for Water Quality Management Based on Internet of Things. In *International Summit Smart City 360°* (pp. 312-323). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51005-3_26

Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M. F., & Duarte, C. M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Marine pollution bulletin*, *131*, 662-673.

Mills, G., & Fones, G. (2012). A review of in situ methods and sensors for monitoring the marine environment. *Sensor Review*.

Olatinwo, S. O., & Joubert, T. H. (2019). Enabling communication networks for water quality monitoring applications: a survey. *IEEE Access*, *7*, 100332-100362.

Oleynikova, E., Lee, N. B., Barry, A. J., Holler, J., & Barrett, D. (2010). Perimeter patrol on autonomous surface vehicles using marine radar. In *OCEANS'10 IEEE SYDNEY* (pp. 1-5). IEEE.

Pascoal, A., Oliveira, P., Silvestre, C., Sebastião, L., Rufino, M., Barroso, V., ... & Dando, P. (2000, September). Robotic ocean vehicles for marine science applications: the european asimov project. In *OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37158)* (Vol. 1, pp. 409-415). IEEE.

Priya, S. K., Shenbagalakshmi, G., & Revathi, T. (2018, April). IoT based automation of real time in-pipe contamination detection system in drinking water. In *2018 International conference on communication and signal processing (ICCSP)*(pp. 1014-1018). IEEE.

Schaeffer, B. A., Schaeffer, K. G., Keith, D., Lunetta, R. S., Conmy, R., & Gould, R. W. (2013). Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management. *International Journal of Remote Sensing*, *34*(21), 7534-7544.

Shi, C., Xu, K., Peng, J., & Ren, L. (2008). Architecture of vision enhancement system for maritime search and rescue. In *2008 8th International Conference on ITS Telecommunications* (pp. 12-17). IEEE.

Suzuki, T., Kato, K., Makihara, E., Kobayashi, T., Kono, H., Sawai, K., ... & Yamashiro, H. (2014). Development of underwater monitoring wireless sensor network to support coral reef observation. *International Journal of Distributed sensor networks*, *10*(4), 189643.

Tapan, A. B. (2019). *Su yüzeyinde titreşime dayalı hareket ile gidebilen yeni bir robot tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi). FBE Enstitüsü. Bursa. 67 s.

Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, *114*, 19-24.

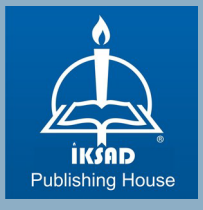
Veers, J., & Bertram, V. (2006). Development of the USV multi-mission surface vehicle III. In *5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*.

Xu, P. (2019). Hybrid Remotely Operated Vehicle (HROV)/Autonomous and Remotely Operated Vehicle (ARV). In *Encyclopedia of Ocean Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6963-5_47-1

Xu, Z., & Boyd, C. E. (2016). Reducing the monitoring parameters of fish pond water quality. *Aquaculture*, *465*, 359-366.

Yu, H., Shen, A., & Peng, L. (2012). A new autonomous underwater robotic fish designed for water quality monitoring. In *2012 Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control* (pp. 561-566). IEEE.

Yu, J., Chen, S., Wu, Z., & Wang, W. (2016). On a miniature free-swimming robotic fish with multiple sensors. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, *13*(2), 62.





ISBN: 978-625-8405-95-8