

Bölgesel Su Kalitesi Araştırmaları için Arduino Tabanlı Bir Su Analizi Sistemi Prototipinin Tasarımı

Ebru KARAKÖSE^{1*}, Mehmet Ali IŞIK²

^{1,2} Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{*1} eozbay@firat.edu.tr, ² mehmet36507@gmail.com

(Geliş/Received: 15/08/2023;

Kabul/Accepted: 13/12/2023)

Öz: Su, canlıların yaşamlarını devam ettirebilmesi için hayati önem taşımakta ancak artan kirlilik unsurları nedeniyle yapısı giderek bozulmaktadır. Su kalitesinin azaldığı bilinmektedir, bu sebeple su kaynaklarının birçok faktör dikkate alınarak incelenmesi ve buna bağlı olarak gerekli tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmektedir. İnsansız su altı araçları, doğal kaynakların korunması, çevrenin denetlenmesi, arama kurtarma çalışması yapılması, su altından numune alınması gibi birçok alanda insan yaşamına yararlı uygulamalar yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, su kirliliğinin araştırılması ve denetlenmesinde kullanılacak, sudaki çözünmüş oksijen seviyesi, sıcaklık ve basınç verilerini alıp daha sonra bu verileri aktararak su kalitesini anlık olarak analiz edilmesini sağlayan bir sistem geliştirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen Arduino tabanlı sistem, içerisinde suyun analizinin yapılmasını sağlayan farklı sensörler barındırmaktadır. Ayrıca sistem yazılımı sayesinde sensörlerden alınıp işlenen veriler sistem arayüzüne aktarılarak eşzamanlı verilere ulaşılmakta ve sensörlerden normal aralığın dışında bir değer tespit edilmesi halinde sistem uyarı vermektedir. Bu amaçla, öncelikle sistem için gerekli malzemeler tespit edilerek sistem tasarımı yapılmıştır. Daha sonra, sistem yazılımı için uygun kütüphaneler tespit edilerek sistem yazılımı geliştirilmiş ve verilerin alınacağı arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulama sayesinde üretilen sistem prototipinin insansız su altı araçlarına entegre edilerek su arıtma sistemleri, balık çiftlikleri, deniz araştırmaları gibi su kaynaklarında kullanılması ve sürdürülebilir yaşama katkı sunulması düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: İnsansız su altı araçları, su analizi, su kalitesi, su kirliliği.

Design of an Arduino-Based Water Analysis System Prototype for Regional Water Quality Research

Abstract: Water is vital for living organisms to survive, but its structure is gradually deteriorating due to increasing pollution. It is known that water quality is decreasing; therefore, it becomes necessary to examine water resources by taking into account many factors and taking necessary precautions accordingly. Unmanned underwater vehicles make it possible to carry out applications beneficial to human life in many areas, such as protecting natural resources, monitoring the environment, conducting search and rescue operations, and taking underwater samples. Within the scope of this study, it is aimed to develop a system that will be used in the research and control of water pollution that allows instantaneous analysis of water quality by obtaining the amount of dissolved oxygen levels in water, temperature, and pressure data, and then transferring these data. The developed Arduino-based system contains different sensors that enable water analysis. In addition, through the system software, the data received from the sensors and processed are transferred to the system interface to access simultaneous data, and if a value outside the normal range is detected from the sensors, the system gives a warning. For this purpose, the system design has been made by first determining the materials required for the system. Subsequently, appropriate libraries for the system software have been identified, the system software has been developed, and the interface from which the data would be received has been designed. It is planned that the system prototype produced through the application will be integrated into unmanned underwater vehicles and used in water resources such as water purification systems, fish farms, marine research, and to contribute to sustainable living.

Key words: Unmanned underwater vehicles, water analysis, water quality, water pollution.

1. Giriş

Su, tüm yaşam formları için hayati önem taşıyan bir unsurdur. Giderek artan çevre kirliliği, kentleşme, sanayi atıkları, zararlı sızıntılar ve yanlış tüketici uygulamaları gibi nedenlerden dolayı sular kirlenmekte ve bu durum da canlılar için büyük tehlike oluşturmaktadır. Su kalitesi, doğal çevreyi ve besin zincirini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, su kalitesinin ölçülmesi ve açıklanabilmesi için bazı tanımlamalar yapılmış ve uygulanmıştır. Dünya genelinde belirli kurumlar tarafından su kalitesi ölçümü için bazı yönetmelikler ve standartlar belirlenmiştir.

* Sorumlu yazar: eozybay@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1191-6375, ² 0009-0001-8629-2758

Belirleyici kurumlar ve yerel yönetimler tarafından istenen şartları sağlayacak ölçümler yapılması ve standartların karşılanması beklenmektedir. Su kalitesi ölçümü için farklı yöntemler kullanılmakta ve birçok parametrenin değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle laboratuvar ortamında alınan numuneler için yapılan değerlendirmeler daha doğru ve kesin sonuçlar vermektedir.

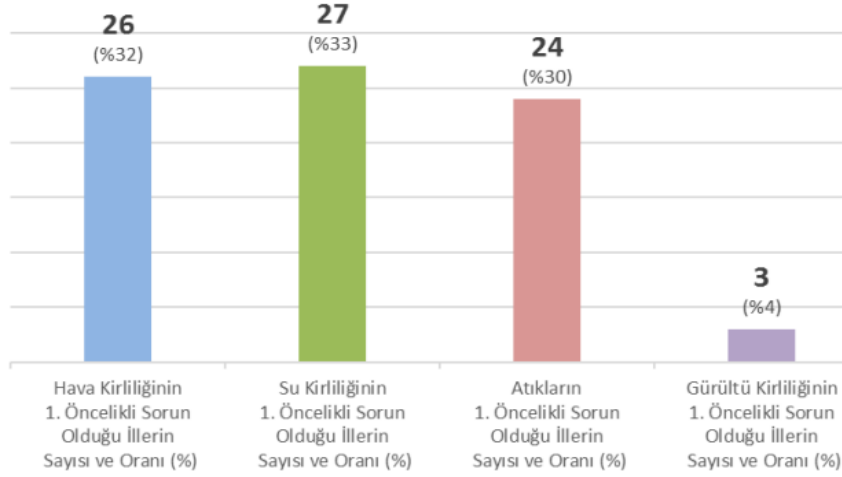
Detaylı bir su kalitesi analizi yapılabilmesi için en temelde suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Suyun rengi, tadı, sıcaklığı gibi parametreler fiziksel özelliklerini yansıtırken, pH seviyesi ve çözünmüş oksijen miktarı gibi parametreler ise kimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. Suda bulunabilecek biyolojik parametreler ise biyolojik inceleme aşamasında bakılan noktalardır. Ek olarak, çevresel şartlar da su kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunlar dışında suyun nerede ve ne amaçla kullanılacağı da su kalitesi için gerekli bir parametredir. Örneğin, evlerde insanların içmesi için kullanılacak suyun kalitesi ile endüstriyel amaçlı kullanılacak suyun kalitesinin aynı olması beklenmemelidir. Su kalitesi belirlenen parametrelerde ve istenen standartlara uygun olarak sağlanırsa son kullanıcıya gelene kadar uygun ve sağlıklı bir su tüketimi sağlanmış olur. Ancak, Dünya üzerinde hala kaliteli suya erişemeyen insanlar bulunmakta ve bununla birlikte birçok sağlık problemleri yaşanmaktadır [1-5].

Canlıların yaşamlarını devam ettirebilmesi için çok önemli bir ihtiyaç olan suyun kalitesinin ölçülebilmesi, kirlilik seviyesinin belirlenebilmesi ve buna uygun önlemlerin alınabilmesi için gerekli araştırma ve izleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar için ise sürdürülebilir ve yenilikçi uygulamaların geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Literatür incelendiğinde çalışma kapsamında hedeflenen konu ile benzer ve kirlilik odaklı çalışmalar olduğu görülmüştür [6-10]. İncelenen çalışmalar içerisinde, Yılmaz vd. [11] tarafından yapılan uygulamada su altı yön ve derinlik denetimi yapabilen bir araç geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada su altı kalitesinin araştırılmasına yönelik bir uygulama da önerilmiştir. Zeydan vd. [12] ise belirli bölgelerden su numuneleri alınarak laboratuvar ortamında kalite analizlerinin yapıldığı bir çalışma tasarlamışlardır. Yine Yılmaz vd. [13] tarafından yapılan başka bir çalışmada sualtı araçlarının genel tasarım aşamasında otonom çalışabilmeleri için gerekli olan ilkeler incelenmiştir. Çalışmada ek olarak mekanik, iç donanım ve algoritma konuları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Vasilijevic vd. [14] su altı araçlarının konumlarının tespiti için sensör füzyonu tasarımı geliştirmişlerdir. Sensör füzyonu ile sensörlerden elde edilen veriler işlenerek algoritma, filtre veya yapay zekâ ile değerlendirilir. Bu sayede su altı araçlarının konumunu tespit etmek için bir çalışma önerilmiştir. Manoj vd. [15] su altı sensörleri kullanılarak balık havuzları için su kalitesinin izlendiği bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada su kalitesini belirleyen söz konusu parametreleri izlemek için sensörler, arduino, raspberry pi tabanlı bir sistem geliştirerek tam otomatik, insansız bir balık yetiştirme sistemi önerilmiştir. Shuo vd. [16] yaptıkları çalışmada, su kalitesi izleme ve numune alma konusunda otonom bir araç tasarlamışlardır. Bu sayede, belirledikleri rotaya otonom olarak hareket eden ve o bölgelerden numune alarak su kalitesini izleyen bir araç önermişlerdir. IoT teknolojisinin kullanılarak havuzlardaki su kalitesinin incelenmesinin önerildiği diğer bir çalışmada, yüzme havuzlarındaki suyun sıcaklık ve pH seviyesinin anlık olarak takip edilmesi amaçlanmıştır. İlgili sistem, pH seviyesinin hedef değer aralıklarının dışına çıkması halinde kısa mesaj ile bildirim yapabilmekte ve sisteme dâhil olan pompalar ile suyun pH seviyesinin otomatik olarak dengede tutulmasını sağlamaktadır [17]. Bu alanda yapılan diğer çalışmalarda IoT teknolojisi ve derin öğrenme uygulamaları kullanılarak iletim, veri toplama ve gerçek zamanlı su kalitesinin izlenmesi yöntemlerini içeren sistemler de önerilmiştir. Yapılan farklı çalışmalar incelendiğinde ise değişik amaçlar için kullanılabilir otonom su altı araçlarının geliştirilmesini hedefleyen uygulamaların olduğu görülmüştür. Ayrıca numunelerin toplanarak laboratuvar ortamında su kalitesinin analiz edildiği araştırmaların olduğu da anlaşılmaktadır [18- 24].

Bu çalışmada, numune alma gereksinimi bulunmadan istenilen bölgede su analizi gerçekleştiren, su kalitesinde meydana gelebilecek anormal değişiklikleri eş zamanlı saptayarak meydana gelen değişiklikleri analiz edebilecek bir sistem önerilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle literatür incelemesi verilmiş ve ardından yöntem ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra önerilen algoritma açıklanarak elde edilen bulgular verilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.1. Problemin tanımı

Dünyamızın %75'i okyanus, deniz, göl, nehir gibi su kaynaklarından oluşmaktadır. Ancak artan nüfus ve sanayileşme gibi faktörlere bağlı olarak endüstriyel atıkların çoğalması canlılar için hayati önem taşıyan su kaynaklarımızın her geçen gün giderek daha fazla kirlenmesine ve su kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Türkiye'de yapılan araştırmalarda da illere göre çevre kirliliği sorunları istatistikinde su kirliliğinin önemli bir sorun olduğu tespit edilmiştir [25]. Şekil 1'de, Türkiye'deki illere göre 1. öncelikli kirlilik sorunları grafiği verilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'deki illerin 1. öncelikli sorunları istatistiği [25].

Özellikle ülkemizde yaşanan müsilaj sorunundan sonra Bilim-2 gemisi ile yapılan araştırmalarda Ege Denizindeki oksijen miktarının önceki yıllara göre azalarak bir tehdit oluşturduğu saptanmıştır [26]. Ayrıca tarım alanlarından kaynaklı kirleticiler, yeterli arıtma yapılmamış evsel ve endüstriyel atık su deşarjları nedeniyle sucul ekosistemler kendini temizleyebilme kapasitesini kaybetmekte ve su kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Bu durum suyun kullanım alanlarını olumsuz etkilenmekte ve su ortamında yaşayan canlıların varlığını da tehlikeye atmaktadır [27,28].

Suları kirletme potansiyeli bakımından kirletici kaynakları; tarımsal atıklar, kanalizasyon atıkları, asit maden suları, petrol ve yağ kirlenmeleri, endüstriyel organik atıklar, endüstriyel inorganik atıklar olarak sıralanabilir. Yüzeysel sularında doğal olarak bulunan veya kirletici kaynaklardan sulara ulaşan çeşitli organik maddeler, ortamdaki mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu anaerobik veya aerobik olarak belirli düzeyde ayrışır ve bu sırada suyun oksijen dengesini etkilerler [29]. Su kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri suda çözülmüş oksijen miktarıdır. Bitki ve hayvanların yaşamasına yetecek kadar çözülmüş oksijene sahip olmaması sudaki kirliliğin başlıca göstergesidir.

Yapılan araştırmalarda sıcak sularda canlıların, özellikle de balıkların yaşayabilmeleri için suyun litresinde en az 5 mg, soğuk sular için ise en az 6 mg çözülmüş oksijene ihtiyaçları olduğu görülmüştür. Sudaki doymuş oksijen miktarı sıcaklığa ve basınca göre değişmektedir. Deniz seviyesinde 20°C de oksijenin suda çözünürlüğü 9,1 mg/L, aynı sıcaklıkta 1000 m yükseklikte 8,2 mg/L, 2000 m yükseklikte 7,4 mg/L'dir. Buna karşın 0°C'de 14,6 mg/L; 18°C'de 9,5 mg/L; 30°C'de 7,6 mg/L çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür [30]. Tablo 1'de bazı su canlıları için uygun su sıcaklığı değerleri ve çözülmüş oksijen miktarı değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Bazı su canlıları için uygun su sıcaklığı ve çözülmüş oksijen miktarı değerleri [30].

Canlının İsmi	Optimum Su Sıcaklığı (°C)	Optimum Çözülmüş Oksijen Mik. (mg/L)
Kalkan (<i>Scopthalmus Maximus</i>)	6-22	4.5-8
Somon Balığı (<i>Salmo Salar</i>)	2-18	5-10
Aynalı Sazan (<i>Cyprinus Carpio</i>)	1-30	4-7
Kara Midye (<i>Mytilus Galloprovincialis</i>)	6-24	2-8
Çipura (<i>Sparus Aurata</i>)	6-32	4.5-8
Gökkuşluğu Alabalığı (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	1-20	5-10

Bu çalışmada, suyun sıcaklığı, çözülmüş oksijen miktarı gibi bilgilere anlık olarak ulaşılmasına imkân sağlayacak, su kalitesinin kontrollerini gerçekleştiren, risklere karşı veriler elde eden ve denetim sağlayan bir sistem geliştirmesi planlanmıştır. Gerçekleştirilen uygulama ile kirletilen su kaynaklarının eşzamanlı tespit edilmesi hedeflenmektedir. Böylece, su kaynaklarının ıslah edilmesine, tatlı ve tuzlu doğal su kaynaklarının korunarak canlılar için sağlıklı bir yaşam ortamının sürdürülmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle sudaki çözülmüş oksijen miktarı, sıcaklık, derinlik gibi bilgileri alarak su kalitesinin tespit edilmesini sağlayan bir sistem geliştirilmiş ve uygulanabilir hale getirilmiştir. Daha sonra sistemden alınan veriler aktarılarak, su kalitesinde bozulma yaşandığında da uyarı veren bir arayüz yazılımı gerçekleştirilmiştir.

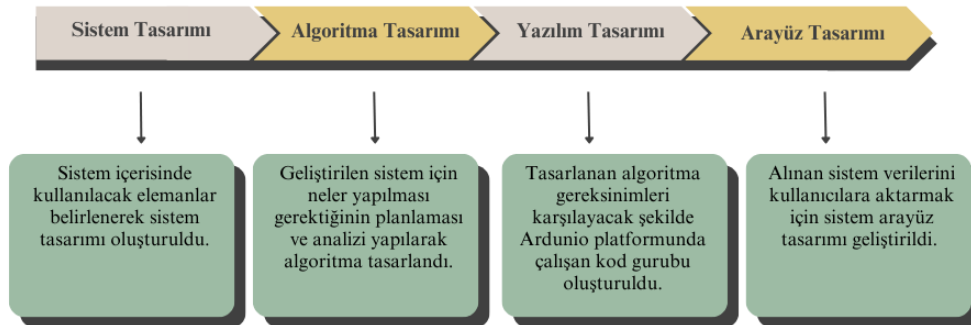
2. Yöntem

Önerilen su kalitesi analiz sistemi; oksijen sensörü, 3 eksenli jiroskop, arduino mega (mikro denetleyici), basınç ve derinlik sensörü, canbus (seri haberleşme portu), haberleşme kablosu gibi elektronik malzemelerden oluşan bir sistemdir. Tasarlanan su altı kitinin, insansız su altı araçları, tekneler ya da sızdırmaz bir haznenin içine entegre edilerek uygun alanlarda kullanılabilir düzeyde olması istenmektedir. Sistemde kullanılan elektronik parçalar ve açıklamaları Tablo 2’de verilmiştir. Bu çalışmada, öncelikle kullanılacak elektronik parçalar belirlenerek sistem tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin analizi ve planlaması yapılarak algoritma tasarımı yapılmış ve akış şemasına dönüştürülmüştür. Tasarlanan algoritma gereksinimlerini karşılayacak şekilde Arduino platformunda çalışan kod gurubu oluşturulmuştur. Son olarak ise sistem verilerine ve uyarılara kolay erişim sağlamak amacıyla arayüz tasarımı geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin tasarım aşamaları Şekil 2’de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 2. Elektronik elemanların listesi.

ELEKTRONİK PARÇALAR	AÇIKLAMA	MARKA/MODEL
Oksijen Sensörü	Su içerisindeki çözülmüş oksijen miktarının ölçülmesi	Gravity Oksijen sensörü
Sıcaklık ve Nem Sensörü	Su içindeki sıcaklık değerinin ölçülmesi	SI7021
Basınç Sensörü	Su basıncının ölçülerek derinlik verisi alınması	Lenta Marine
Mikro Denetleyici	Sistemdeki yazılımsal kontrol ve komut işlemlerinin yapılması	Arduino Uno
Haberleşme ve Güç Kabloları	Sistem içerisinde bulunan tüm sensör ve elektronik bileşenler arası iletişimin sağlanması	

Yöntem Aşamaları



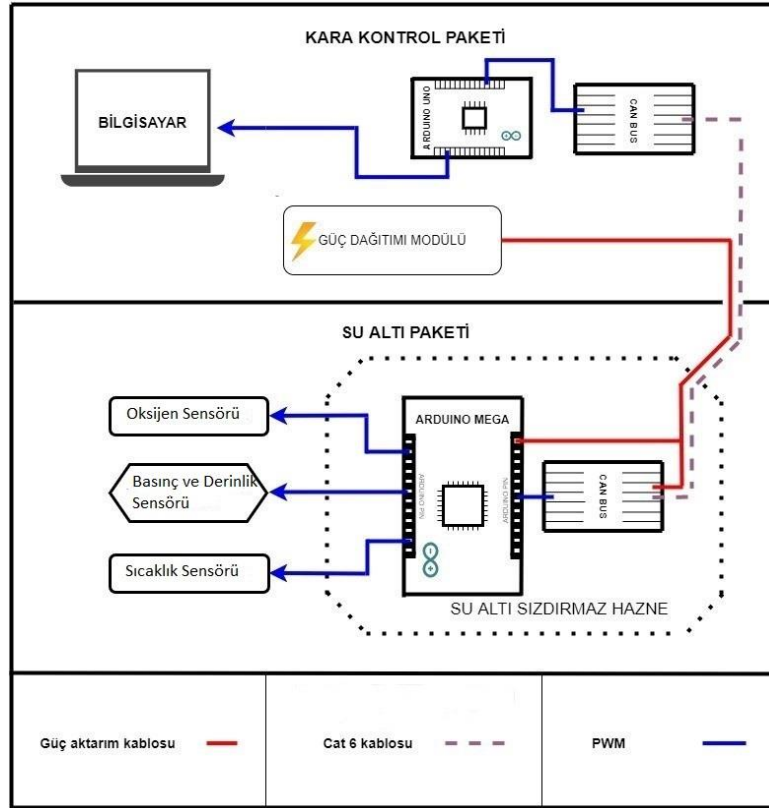
Şekil 2. Yöntem tasarım aşamaları.

2.1. Sistem tasarımı

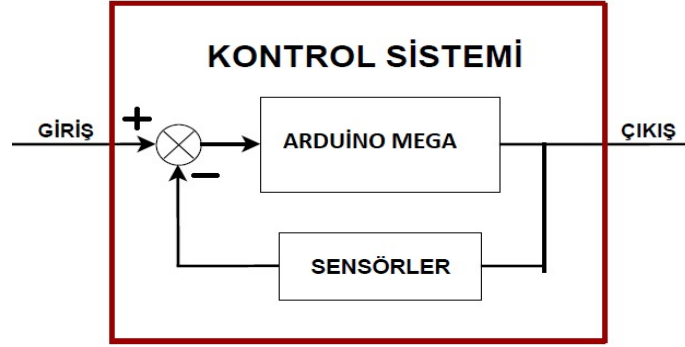
Çalışmada oluşturulan su altı kiti iki ana üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler su altı veri paketi ve kara kontrol paketidir. Su altı veri paketinden giden sinyaller seri haberleşme kablosu ile kara kontrol paketine iletilerek bilgi aktarımı gerçekleştirilmektedir.

- **Su altı veri paketi:** Oksijen sensörü, Arduino mega, canbus, seri haberleşme kablosu gibi elektronik parçalardan oluşmaktadır. Arduino mega, jiroskop ve canbus gibi sudan etkilenecek elektronik parçalar sudan izole edilmiştir. Oksijen sensörü, derinlik sensörü ve sıcaklık sensörü gibi elemanlar ise su ile temas halinde bulunmaktadır.
- **Kara kontrol paketi:** Canbus, Arduino uno ve ekran/kullanıcı bilgisayarından oluşmaktadır.

Oksijen sensörü üzerindeki galvin prop (galvanik uç) ile sudaki çözünmüş oksijeni mg/L cinsinden anlık olarak ölçülür. Basınç sensörü de sudaki derinlik hakkında bilgi verir ve konum algoritmasına yardımcı olur. Arduino mega, su altı sensörlerinden gelen analog ve lojik sinyalleri kendi gömülü devreleri ve yazılımı ile işleyerek anlamlı değerlere çevirip, canbusa aktarır. Canbus ise su altı paketi ve kara kontrol paketi arasında seri haberleşmeyi sağlayan elektronik baskı devre kartıdır. Bu devre haberleşme kablosuyla kara kontrol paketine verinin iletilmesini sağlar. Kara kontrol paketi, seri haberleşme kablosundan gelen veriyi kendi modülünde bulunan canbus ile işler, mikro denetleyici olan Arduino Uno'ya aktarır. Arduino uno, bir kullanıcı ekranına sahip ise ona aktarır ya da kullanıcı bilgisayarındaki Arduino IDE verileri izler. Şekil 3'te sistem tasarımının elektronik şeması ve Şekil 4'te kontrol sistemi su altı veri paketi blok diyagramı verilmiştir. Blok diyagramında giriş, sisteme giren temel sensör verilerini ve yazılımsal girdileri temsil eder. Arduino bloğu, verileri almak, işlemek ve kontrol etmek için kullanılan mikro denetleyici veya kontrol ünitesini gösterir. Yani Arduino, gelen verileri işler, kararlar alır ayrıca çeşitli sensörlerden ve veri kaynaklarından bilgi toplar. Sensörler bloğu, bir geri besleme bloğudur. Sistemdeki sensörler, çevresel verileri ölçer ve sürecin kontrolünü sağlamak için arduinoya iletir. Blok diyagramı çıkışı ise sistemden gelen sonuçları temsil eder.



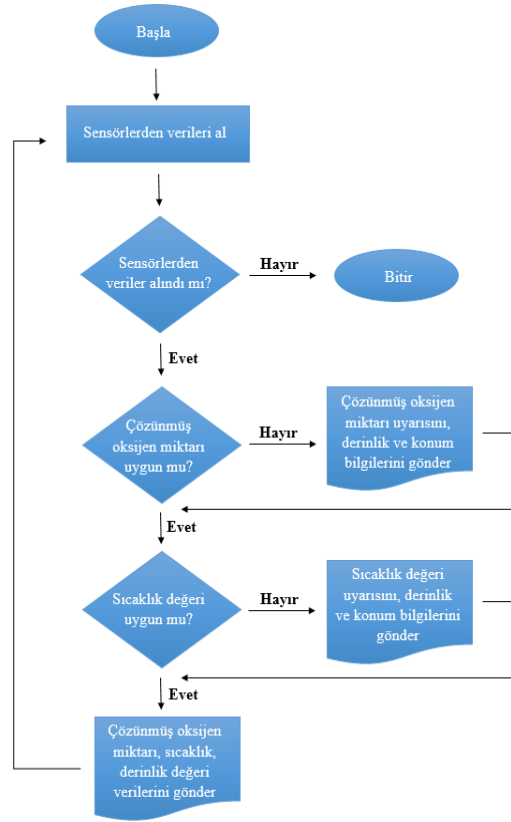
Şekil 3. Tasarlanan sistemin elektronik şeması.



Şekil 4. Kontrol sistemi su altı veri paketi için blok diyagramı.

2.2. Algoritma tasarımı

Yazılım uygulamalarında kodlamadan önce planlama, analiz ve tasarım aşamaları gelir. Bu çalışmada geliştirilen sistem için ilk olarak neler yapılması gerektiğinin planlaması yapılmış daha sonra analizi gerçekleştirilip, algoritması tasarlanmıştır. Bu algoritmanın genel hatları UML (Unified Modeling Language) diyagramları ile görsel olarak ortaya koyulmuştur. Gerçekleştirilen algoritmaya göre sistem ilk olarak kullanılan sensörlerden verileri toplamakta daha sonra sensörlerden alınan bu verileri belirlenen her bir sınır değerine göre işlemektedir. İşlenen bu verilerden her biri belirlenen sınır değerlerinin dışına çıkarsa sistem arayüze uyarı bilgisi göndermektedir. Aynı zamanda tüm veri değerleri arayüz üzerinden görüntülenebilmektedir. Sistemin algoritma şeması Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sistem algoritma tasarımının UML diyagramı.

2.3. Yazılım tasarımı

Çalışma kapsamında yazılmış olan aşağıdaki kod grubu, Arduino platformunda çalışan suyun sıcaklığını, çözünmüş oksijen seviyesini ve su derinliğini ölçmek için üç farklı sensörü kullanan bir Arduino programıdır. Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra kullanılan pinler ve sabit değerler belirlenir. Örneğin, ana döngü olan loop fonksiyonunda A1 pinine bağlanan çözünmüş oksijen sensöründen suyun içindeki çözünmüş oksijen miktarı verisi, 2 numaralı pine bağlı olan su geçirmez sıcaklık sensöründen su sıcaklık verisi alınır. Son olarak, derinlik ölçümü için A0 pinine bağlı basınç sensöründen alınan basınç değeri verisi kullanılır. Yazılan kod sayesinde basınç değişimi verisi derinlik değişimine dönüştürülür. Şekil 6'da tanımlamaların yapıldığı ilk giriş kod bloğu ve Şekil 7'de değişken ve sabit fonksiyonların tanımlandığı kod bloğu verilmiştir.

```

1  #include <Arduino.h>
2  #include <OneWire.h>
3  #include <DallasTemperature.h>
4  #include <Wire.h>
5
6  #define DO_PIN A1
7  #define VREF 5000 //VREF (mv)
8  #define ADC_RES 1024 //ADC Resolution
9
10 #define ONE_WIRE_BUS 2
11 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
12 DallasTemperature sensors(&oneWire);
13 DeviceAddress insideThermometer;
14
15 //Single-point calibration Mode=0
16 //Two-point calibration Mode=1
17 #define TWO_POINT_CALIBRATION 0
18
19 #define READ_TEMP (10) //Current water temperature °C, Or temperature sensor function
20
21 //Single point calibration needs to be filled CAL1_V and CAL1_T
22 #define CAL1_V (1855) //mv
23 #define CAL1_T (20) //°C
24 //Two-point calibration needs to be filled CAL2_V and CAL2_T
25 //CAL1 High temperature point, CAL2 Low temperature point
26 #define CAL2_V (1300) //mv
27 #define CAL2_T (15) //°C
28
29 const uint16_t DO_Table[41] = {
30     14460, 14220, 13820, 13440, 13090, 12740, 12420, 12110, 11810, 11530,
31     11260, 11010, 10770, 10530, 10300, 10080, 9860, 9660, 9460, 9270,
32     9080, 8900, 8730, 8570, 8410, 8250, 8110, 7960, 7820, 7690,
33     7560, 7430, 7300, 7180, 7070, 6950, 6840, 6730, 6630, 6530, 6410};
34

```

Şekil 6. Tanımlamaların yapıldığı ilk giriş kod bloğu.

```

35 const int pressureInput = A0; // Basınç transdüseri için analog giriş pini
36 const float pressureZero = 94; // 0 psi'da basınç transdüserinin analog okuması
37 const int pressureMax = 1140; // 100 psi'da basınç transdüserinin analog okuması
38 const int pressuretransducermaxPSI = 174; // Kullanılan transdüserin psi değeri
39 const int baudRate = 9600; // Seri monitör için baud hızı
40 const int sensorreadDelay = 250; // Sensör okuma gecikmesi
41
42 float firstSensorValue = 0; // birinci sensörden okunan değer
43
44 float pressureChangePerCM = 0.5 / 35; // her 35 cm'deki basınç değişimi
45 float cmToPsiConversion = 1 / 2.54; // santimetreyi psi'ye dönüştürme faktörü
46
47 uint8_t Temperature;
48 uint16_t ADC_Raw;
49 uint16_t ADC_Voltage;
50 uint16_t DO;
51
52 int16_t readDO(uint32_t voltage_mv, uint8_t temperature_c)
53 {
54     #if TWO_POINT_CALIBRATION == 0
55         uint16_t V_saturation = (uint32_t)CAL1_V + (uint32_t)35 * temperature_c - (uint32_t)CAL1_T * 35;
56         return (voltage_mv * DO_Table[temperature_c] / V_saturation);
57     #else
58         uint16_t V_saturation = (int16_t)((int8_t)temperature_c - CAL2_T) * ((uint16_t)CAL1_V - CAL2_V) / ((uint8_t)CAL1_T - CAL2_T) + CAL2_V;
59         return (voltage_mv * DO_Table[temperature_c] / V_saturation);
60     #endif
61 }
62 float printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
63 {
64     float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
65     if(tempC == DEVICE_DISCONNECTED_C)
66     {
67         Serial.println("Error: Could not read temperature data");
68         return;

```

Şekil 7. Hesaplamaların yapıldığı kod bloğu.

Kodlar sayesinde su içinde bulunan sensörlerden elde edilen suyun sıcaklığı, çözülmüş oksijen miktarı, derinlik değeri bilgileri seri monitör ekranına aktarılmış olur. Bu verileri kullanarak suyun kalitesi ve derinlik değişimi izlenebilmektedir. Şekil 8’de kurulumun yapıldığı kod bloğu ve Şekil 9’da çıktıların alındığı ve seri monitöre yazdırıldığı döngü kod bloğu verilmiştir.

```

68     return;
69   }
70 }
71 return tempC;
72 }
73
74 void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
75 {
76   for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
77   {
78     if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
79     Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
80   }
81 }
82
83 void setup()
84 {
85   Serial.begin(9600);
86
87   Serial.print("Locating devices...");
88   sensors.begin();
89   Serial.print("Found ");
90   Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
91   Serial.println(" devices.");
92
93   // report parasite power requirements
94   Serial.print("Parasite power is: ");
95   if (sensors.isParasitePowerMode()) Serial.println("ON");
96   else Serial.println("OFF");
97
98   if (!sensors.getAddress(insideThermometer, 0)) Serial.println("Unable to find address for Device 0");
99
100

```

Şekil 8. Kurulumun yapıldığı kod bloğu.

```

100 Serial.print("Device 0 Address: ");
101 printAddress(insideThermometer);
102 Serial.println();
103 sensors.setResolution(insideThermometer, 9);
104
105 Serial.print("Device 0 Resolution: ");
106 Serial.print(sensors.getResolution(insideThermometer), DEC);
107 Serial.println();
108 }
109
110 void loop()
111 {
112   firstSensorValue = analogRead(pressureInput); // birinci sensörden analog değeri oku
113   firstSensorValue = ((firstSensorValue - pressureZero) * pressuretransducermaxPSI) / (pressureMax - pressureZero); // birinci sensörün psi değerine dönüştür
114
115   float pressureChange = firstSensorValue * cmToPsiConversion; // basınç değişimini hesapla
116   float depthChange = pressureChange / pressureChangePerCM; // derinlik değişimini hesapla
117
118
119   Serial.print("Derinlik (cm): ");
120   Serial.println(depthChange);
121
122   Temperature = (uint8_t) printTemperature(insideThermometer);
123   ADC_Raw = analogRead(DO_PIN);
124   ADC_Voltage = uint32_t(VREF) * ADC_Raw / ADC_RES;
125
126   Serial.print("Sıcaklık:\t" + String(Temperature) + "\t");
127   //Serial.print("ADC RAW:\t" + String(ADC_Raw) + "\t");
128   //Serial.print("ADC Voltage:\t" + String(ADC_Voltage) + "\t");
129   Serial.println("çözülmüş oksijen:\t" + String(readDO(ADC_Voltage, Temperature)/1000) + "\t");
130
131   delay(1000);
132 }

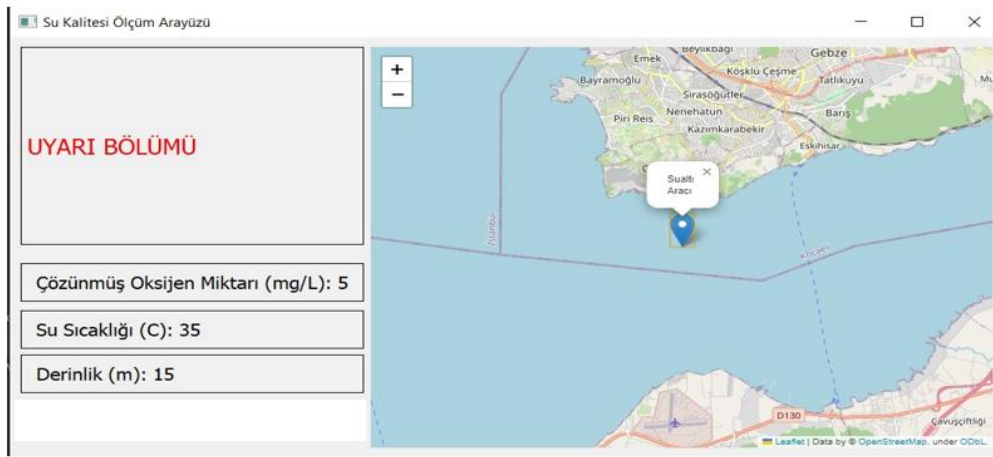
```

Şekil 9. Çıktıların alındığı ve seri monitöre yazdırıldığı döngü kod bloğu.

Aynı zamanda, Python programı, Arduino ile seri iletişim kurarak verileri okuyabilir. Python programı ile tasarlanan kod fonksiyonları sayesinde seri monitör ekranında görülen veriler, arayüz ekranından takip edilmiştir. Arduino ile ölçülen su sıcaklığı, çözülmüş oksijen seviyesi ve su derinliği gibi veriler Python ile tasarlanan arayüz ekranına aktarılmıştır. Böylece, bu veriler anlık olarak görüntülenmiştir.

2.4. Arayüz tasarımı

Arayüz tasarımında Pythonun bir geliştirme ortamı olan Pycharm IDE kullanılmış ve visual studio grafiklerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen algoritmaya göre sistem ilk olarak sensörlerden verileri toplamakta daha sonra sensörlerden alınan veriler, kod bloklarında belirlenen her bir sınır değere göre işlemektedir. İşlenen bu verilerden her biri tarafımızca belirlenen sınır değerlerinin dışına çıkarsa sistem arayüze uyarı bilgisi göndermektedir. Arayüz kullanıcı dostu olup verileri daha hızlı ve efektif analiz etmeye olanak sağlamaktadır. Şekil 10'da sistem arayüz tasarımı ekranı verilmiştir.

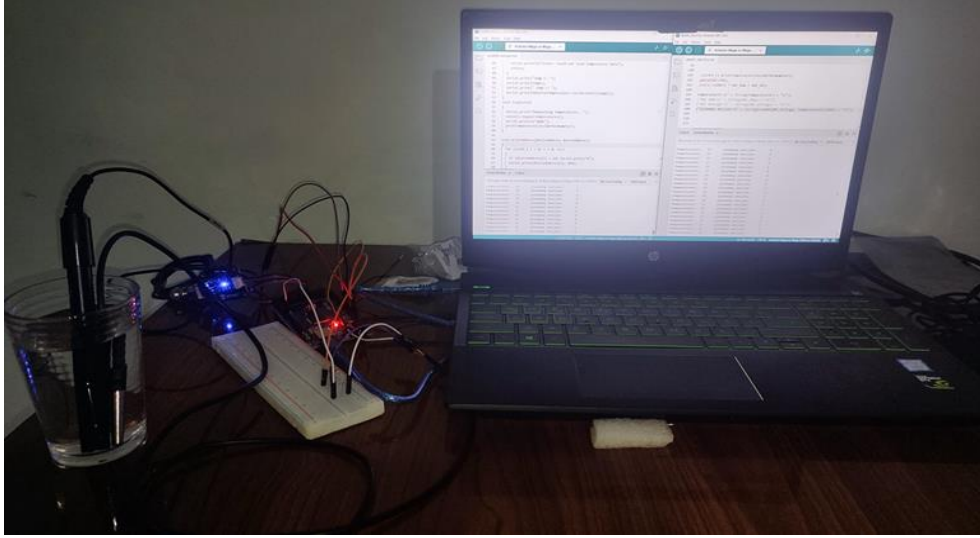


Şekil 10. Sistem arayüz tasarım ekranı.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma, Arduino tabanlı bir su analizi sistemi prototipinin oluşturulmasını kapsamaktadır. Sistem, önemli su parametrelerini içeren çözülmüş oksijen miktarı, derinlik ve sıcaklık gibi değerleri ölçen sensörlerle donatılmıştır. Geliştirilen sistemin kodları, Arduino geliştirme kartına yüklenerek sistemin işlevselliği sağlanmıştır. Ayrıca, algoritma blok diyagramı Python'ın geliştirme ortamı olan PyCharm IDE'de tasarlanmış ve bu algoritma Arduino üzerinde derlenmiştir. Kod blokları tamamlandıktan sonra, sensörler Arduino kartına entegre edilerek sistem başarıyla çalıştırılmıştır. Yapılan deneylerde, çözülmüş oksijen miktarı, sıcaklık ve basınç değerlerini ölçen sensörlerden doğru ve sağlıklı veriler elde edilmiştir. Bu veriler, sistemin doğruluk ve güvenilirlik açısından başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Bu aşamalar, sistem prototipinin temel işlevselliğini ve su analizi yeteneklerini doğrulamak için önemli adımlardır.

Çalışma kapsamında, gerçekleştirilen tasarım ve kodlama süreçleri, dikkatli bir planlama, analiz ve test sürecini içermiştir. Algoritma ve yazılım tasarımı, su kalitesi ile ilgili verilerin etkili bir şekilde işlenmesini ve anlamlı sonuçlar elde edilmesini hedeflemiştir. Bu durum, su kaynaklarının yönetimi, su kirliliğinin izlenmesi ve su ekosistemlerinin korunması gibi önemli konularda çözümler sunmak için büyük önem taşımaktadır. Şekil 11'de yapılan sisteme ait iki veri paketinin birleştirilmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 11. Çalışmada önerilen iki veri paketinin birleştirilmesi.

Gerçekleştirilen denemelerde, çözünmüş oksijen miktarını, sıcaklık ve basınç değerlerini ölçen sensörlerden doğru verilerin alınması sağlanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında içi su dolu bir cam kaptaki gerçekleştirilmiştir. İlk denemelerde suyun sıcaklık değeri 21 °C ve çözünmüş oksijen değeri 3 mg/L olarak bulunmuştur. Bu deneyden sonra sensör kalibrasyon ayarlarının yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Şekil 12’de ilk deneme sonucunda Arduino IDE’ye iletilen verilerin görüntüsü yer almaktadır.

```
101 (uint32_t) printTemperature(insideThermometer);
102 digitalWrite(DO_PIN);
103 uint32_t(VREF) * ADC_Raw / ADC_RES;
104
105 Temperaturet:\t" + String(Temperaturet) + "\t";
106 ("ADC RAW:\t" + String(ADC_Raw) + "\t");
107 ("ADC Voltage:\t" + String(ADC_Voltage) + "\t");
108 ("çözünmüş oksijen:\t" + String(readDO(ADC_Voltage, Temperaturet)
109
110
111
```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'Arduino Mega or Mega 2560' on 'COM10' No Line Ending

Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3
Temperaturet:	21	çözünmüş oksijen:	3

Şekil 12. Arduino IDE’ye iletilen verilerin görüntülenmesi.

Oksijen sensörünün probunda parçalanmış oksijen atomları analog sinyal ile çevrilerek Arduino geliştirme kartına iletilir. Basınç sensöründe ise algılanan analog basınç Arduino IDE’ye iletilir. Alınan bu analog sinyaller kod içinde çevrilerek bilgisayar bilgi ekranına ya da sistem arayüzüne aktarılır. Sisteme basınç sensörü de dahil edilerek bütün sensörlerin kalibrasyonları gerçekleştirildikten sonra yapılan denemede suyun sıcaklık değeri 25 °C, derinlik değeri 4.58 cm, çözünmüş oksijen miktarı değeri 6 mg/L olarak bulunmuştur. Gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra gerçekleştirilen deneme sonucunda Arduino seri monitöründen alınan veriler Şekil 13’te gösterilmiştir.

15:56:48.048 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:48.048 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6
15:56:49.074 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:49.074 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6
15:56:50.079 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:50.079 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6
15:56:51.101 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:51.101 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6
15:56:52.133 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:52.133 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6
15:56:53.154 -> Derinlik (cm):	4.58		
15:56:53.154 -> Sıcaklık:	25	çözünmüş oksijen:	6

Şekil 13. Arduino seri monitöründen alınan veriler.

Ayrıca, tasarlanan arayüz ekranında uyarı bölümü de bulunmaktadır. Sistem tarafından sensörlerden alınan veriler, kod bloklarında belirlenen her bir sınır değerine göre işlenmektedir. Alınan veriler, belirlenen sınır değerlerinin dışında bir değer olarak elde edilir ise sistem arayüze uyarı bilgisi göndermektedir. Bu sayede sudaki istenmeyen durumlar tespit edilebilmekte ve böylece önlem alınması sağlanmaktadır. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, tuzluluk oranı artışı, sıcaklığın yükselmesi ve basıncın düşmesiyle azalmaktadır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda balıkların çoğunun büyüme ve üreme faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için en düşük 5 mg/L oksijene ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Su sıcaklığının yükselmesinden kaynaklı olarak da su canlılarının faaliyetlerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür [31]. Sınır değerleri verilen referanslar ve Tablo1’de verilen değerler doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenen sınır değerler; çözünmüş oksijen miktarı değeri için en az 5 mg/L, sıcaklık değeri için en düşük 6 °C, en fazla 35 °C olarak seçilmiştir. Aynı zamanda kullanılan basınç sensörü sayesinde ölçüm aralığı olarak 15 metreye kadar derinlik bilgisi alınabilmektedir. Arayüz uyarı sistemi için sınır dışı değerler ortaya çıkması durumunda elde edilen ekran görüntüsü Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Arayüz uyarı ekranı.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, su kalitesi analiz sistemi prototipi tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Geliştirilen su analizi sistemi, su altındaki çevresel değişkenlerin izlenmesi, su kalitesiyle ilgili verilerin kolaylıkla elde edilmesi, su kirliliğinin araştırılması ve denetlenmesinde etkili bir araç olma potansiyeline sahiptir. Ayrıca sistem, Arduino tabanlı tasarımı sayesinde su altı araçlarına entegre edilebilirlik özelliği taşımakta ve sensörlerden elde edilen verilerin analizi ile su kalitesi hakkında anlık bilgilere erişim sağlanabilmektedir. Bu yönüyle çalışma, literatüre katkı sunmakta ve yeni sistemler geliştirilmesinin öncülüğünü yapacağı düşünülmektedir.

Tasarım aşamasında öncelikle oksijen sensörü, sıcaklık sensörü, basınç sensörü, Arduino mega (mikro denetleyici) ve haberleşme kablosu gibi elektronik parçalardan oluşan bir su altı kiti geliştirilmiştir. Daha sonra Arduino platformunda çalışan kod grubu oluşturulmuştur. Yazılım, suyun sıcaklığını, çözünmüş oksijen miktarı seviyesini ve su derinliğini seri monitör ekranına aktararak anlık olarak izlenmesini sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemin çözünmüş oksijen miktarı, derinlik, sıcaklık değerleri ölçümünü ve eşzamanlı veri transferini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini göstermiştir. Çalışmada, oda sıcaklığında içi su dolu cam bir kaptaki gerçekleştirilen deneylerde su sıcaklık değeri sensörlerin gerekli kalibrasyonları yapıldıktan sonra 25 °C, derinlik değeri 4.58 cm ve çözünmüş oksijen miktarı değeri 6 mg/L olarak bulunmuş ve bu değerlerin belirlenen sınır değerlere uygun olduğu görülmüştür. Ek olarak, sistemin uyarı mekanizması sayesinde sorunlu durumlar tespit edilebilmekte ve zamanında müdahale imkânı sağlanmaktadır. Bunun dışında, çalışmada geliştirilmiş olan su analiz sistemi prototipinin ileriki çalışmalar ile nihai ürüne dönüştürülmesi durumunda, su arıtma sistemleri, balık çiftlikleri, deniz araştırmaları gibi çeşitli su kaynaklarında kullanılabilmesi mümkündür. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sisteme eklenecek olan pH sensörü gibi sensörlerin çeşitliliği ve özellikleri artırılabilir böylece farklı parametrelerin ölçümü sağlanabilir. Ayrıca, verilerin uzaktan izlenebilmesi ve analiz edilebilmesi için iletişim modülleri veya veri kaydedici gibi özelliklerin de sisteme eklenmesi düşünülebilir.

Teşekkür

Makalede sunulan çalışmalar, 1919B012210474 nolu TÜBİTAK 2209-A projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Zulkifli CZ, Garfan S, Talal M, Alamoodi AH, Alamlah A, Ahmaro IYY, Sulaiman S, Ibrahim AB, Zaidan BB, Ismail AR, Albahri OS, Albahri AS, Soon CF, Harun NH, Chiang HH. IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review. *Water*, 2022; 14: 3621.
- [2] Gunia M, Laine M, Malve O, Kallio K, Kervinen M, Anttila S, Kotamaki N, Siivola E, Kettunen J, Kauranne T. Data Fusion System for Monitoring Water Quality: Application to Chlorophyll-A in Baltic Sea Coast. *Environmental Modelling & Software*, September 2022; 155: 105465.
- [3] Liu Q. Intelligent Water Quality Monitoring System Based on Multi-Sensor Data Fusion Technology. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)*, 2021; 12(4): 21.
- [4] Zhu M, Wang J, Yang X, Zhang Y, Zhang L, Ren H, Wu B, Ye L. A Review of the Application of Machine Learning in Water Quality Evaluation. *Eco-Environment & Health*, June 2022; 1(2): 107-116.
- [5] Sun X, Zhang Y, Shi K, Zhang Y, Li N, Wang W, Huang X, Qin B. Monitoring Water Quality Using Proximal Remote Sensing Technology. *Science of The Total Environment*, 10 January 2022; 80: 149805.
- [6] Terzioğlu S. „Bahadır Koca S, Didinen B, Yiğit Ö. Sürdürülebilir Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Çevre Dostu Üretim, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2011; 3(1).
- [7] Canlı A, Kurtuluş İ, Canlı M, Tuna Ö. Dünyada ve Ülkemizde İnsansız Sualtı Araçları (İSAA-AUV & ROV) Tasarım ve Uygulamaları, *GİDP Dergisi*, 2016; 4: 43-75.
- [8] Selamoğlu ÇH, Aytan ÜK. Mikroplastiklerin Deniz Çevresinde Neden Olduğu Etkiler. *Doğanın Sesi*, 2020; (6): 44-56.
- [9] Özünlü C. Su Yönetimi, Dora Yayınevi, 2016; Bursa, 1. Baskı: 70-76.
- [10] Güven KC, Öztürk B. Deniz Kirliliği. İstanbul, Türkiye, TÜDAV Yayınları No: 21, 2005.
- [11] Yılmaz S, Yakut M, İnce S, Otçu M, Aygün E. Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Su Altı Aracı Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015; Part C, 3(1): 343-355.
- [12] Zeydan Ö, Özdoğan N, Taştepe Ş, Demirtaş D. Kozlu Deresinde (Zonguldak) Su Kalitesinin İncelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2019; 187-197.
- [13] Yılmaz S, Kılıcı SB. Otonom Sualtı Araçlarında Genel Tasarım İlkeleri, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2021.
- [14] Vasilijevic A, Borovic B, Vukic Z. Underwater Vehicle Localization with Complementary Filter: Performance Analysis in the Shallow Water Environment. *J Intell Robot Syst* 2012; 373-386.
- [15] Manoj M, Dhilip Kumar V, Arif M, Bulai E-R, Bulai P, Geman O. State of the Art Techniques for Water Quality Monitoring Systems for Fish Ponds Using IoT and Underwater Sensors: A Review. *Sensors* 2022; 6: 2088.
- [16] Shuo J, Yonghui Z, Wen R, Kebin M. The Unmanned Autonomous Cruise Ship for Water Quality Monitoring and Sampling. 2017 International Conference on Computer Systems, Electronics and Control (ICCSEC), Dalian, China, 2017; 700-703.

- [17] Hamid SA, Rahim AMA, Fadhullah SY, Abdullah S, Muhammad Z, Leh NAM. IoT based Water Quality Monitoring System and Evaluation. 2020 10th IEEE International Conference on Control System. Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malezya, 2020; 102-106.
- [18] Kai C, Weiwei Z, Lu D. Research on Mobile Water Quality Monitoring System Based on Underwater Bionic Robot Fish Platform, 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications(AEECA), Dalian, Çin, 2020; 457-461.
- [19] Pokhrel S, Pant A, Gautam R, Kshatri DB. Water Quality Monitoring System Using IoT. Journal of Innovations in Engineering Education 2020; 3(1): 155-164.
- [20] Pasika S, Gandla ST. Smart Water Quality Monitoring System with Cost-Effective Using IoT. Heliyon 2020; 6-7.
- [21] Moparthi NR, Mukesh C, Sagar PV. Water Quality Monitoring System Using IOT, 2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), Chennai, India, 2018; 1-5.
- [22] Madhavireddy V, Koteswarrao B. Smart Water Quality Monitoring System Using IoT Technology. Int. J. Eng. Technol 2018; 7 (4.36): 636-639.
- [23] Sung WT, Isa IGT, Hsiao SJ. Designing Aquaculture Monitoring System Based on Data Fusion through Deep Reinforcement Learning (DRL), Electronics, 2023; 12 (2032).
- [24] Oruç İN, Tilki U, Otonom Sualtı Aracı Yörünge İzleme Kontrol Algoritmalarının Analizleri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2023; 29(2): 131-145.
- [25] Anonim, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu, 2019; Yayın no: 43, Ankara.
- [26] Kayhan F. E, Ertuğ N. D. Y. Müsilaj Sorunu ve Karakterizasyonu. Doğanın Sesi Dergisi, Haziran 2022; 5 (9): 4-16.
- [27] Toroğlu E, Toroğlu S, Alaeddinoğlu F. Aksu Çayında (Kahramanmaraş) akarsu kirliliği, Coğrafi Bilimler Dergisi, 2006; 4 (1): 93- 103.
- [28] Hacıoğlu N, Dulger B. Monthly Variation of Some Physico-Chemical and Microbiological Parameters in Biga Stream (Biga, Canakkale, Turkey), African Journal of Biotechnology, 2009; 8(9): 1929-1937.
- [29] Anonim, Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, Çevre Kirliliği, 1998; Bölüm 5, 111-112.
- [30] Çelikkale MS, Düzgüneş E, Okumuş İ. Fisheries Sector in Turkey: Potential, Current State, Constraints and Recommendations (in Turkish), İstanbul Ticaret Odası, 1999; 414, Lebib A.S., İstanbul.
- [31] Yanık T, Aras NM, Çiltaş AK. Su Kalitesine Giriş Ders Notları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği, 2001; Erzurum.