



**TATLI SU KAYNAKLARINDAKİ pH ve KLOR SEVİYESİNİN
KOLORİMETRİK YÖNTEMLE ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman YAMAN

Danışman

Doç. Dr. Uçman Ergün

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TATLI SU KAYNAKLARINDAKİ pH ve KLOR SEVİYESİNİN
KOLORİMETRİK YÖNTEMLE ÖLÇÜLMESİ

Süleyman YAMAN

Danışman
Doç. Dr. Uçman ERGÜN

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Süleyman YAMAN tarafından hazırlanan “İçme Sularındaki Bazı Kimyasal Parametrelerin Kolorimetrik Yöntemle Tespiti ve Uzaktan İzlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 27/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Uçman ERGÜN

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Uçman Ergün
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Biyomedikal Mühendisliği

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Uğur Fidan
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Biyomedikal Mühendisliği



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

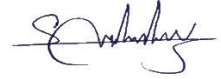
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27/06/2019



Süleyman YAMAN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**TATLI SU KAYNAKLARINDAKİ pH ve KLOR SEVİYESİNİN KOLORİMETRİK
YÖNTEMLE ÖLÇÜLMESİ**

Süleyman YAMAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Uçman Ergün

Bu araştırmada, içme ve kullanma sularında serbest klor ve pH parametrelerini hızlı ve güvenilir bir şekilde görüntü işleme tabanlı kolorimetrik yöntemle analiz eden mevcut yöntemlere alternatif portatif bir sistem sunulmuştur. Önerilen sistem, sulardan alınan su numunelerine ilgili ajan damlatılarak oluşan rengin, kamera ile algılanması ve görüntü işleme teknikleri ve yapay sinir ağı (YSA) ile analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Gerçekleştirilen sistemden elde edilen ölçüm sonuçlarına göre önerilen yöntemin serbest klor konsantrasyonu için % 99,39, pH değeri için % 99,64 doğrulukta olduğu bulunmuştur. Analiz sonuçları önerilen yöntemin içme sularında, yüzme havuzlarında, kuyu sularında, aquaparklarda serbest klor ve pH değerlerinin belirmesinde kullanılabileceğinin göstermiştir.

2019, ix + 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Su Analizi, Görüntü İşleme, Kolorimetrik Yöntem, Yapay Sinir Ağı, Serbest Klor, pH, Su Kalitesi, Uzaktan İzleme

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**COLORIMETRIC MEASUREMENT OF pH AND CHLOR LEVEL IN FRESH
WATER SOURCES**

Süleyman YAMAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Uçman ERGÜN

In this research, an alternative portable system has been presented to analyze the free chlorine and pH parameters in drinking and utility water using the colorimetric method based on image processing. The proposed system is based on the detection of the color of the water from the water samples as a result of the drip of the agent, and the analysis by image processing techniques and artificial neural network. According to the measurement results obtained from the system, the proposed method was found to have an accuracy of 99.39% for free chlorine concentration and 99.64% for pH value. The results of the analysis showed that the proposed method can be used to determine the free chlorine and pH values in drinking water, swimming pools, well waters, aquaparks.

2019, ix + 55 pages

Keywords: Water Analysis, Image Processing, Colorimetric Method, Artificial Neural Network, Free Chlorine, pH, Water Quality, Remote Monitoring

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Uçman ERGÜN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her daim yanımda olan, literatürde bu şekilde bir çalışmanın yer alması için desteklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Naim KARASEKRETER, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Dr. Öğr. Üyesi. Uğur FİDAN'a ve diğer hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmam boyunca kullandığım ajanları ve gerekli ekipmanları gönderen, desteklerini esirgemeyen “ChemBio Laboratory Research” ve “Hach” firmalarına ayrı ayrı teşekkür ederim.

Son olarak beni bu yaşıma kadar yetiştiren, hayatımın her döneminde yanımda olan, yüce Türk milletine yararlı bir birey olmam için gereken maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme ve tez çalışmamın başından itibaren yanımda olan, karamsarlığa düştüğümde beni tutup kaldıran, her türlü desteğini esirgemeyen nişanlım ve ilerdeki evdeşime tüm kalbi duygularıyla teşekkür ediyorum.

Süleyman YAMAN

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Literatür Taraması.....	11
3. MATERYAL ve METOT	16
3.1 Cihaz Tasarımı	17
3.1.1 Mekanik.....	18
3.1.2 Donanım	18
3.1.2.1 Raspberry Pi (RP)	19
3.1.2.2 Kamera Modülü	20
3.2 Deney Metodolojisi.....	22
3.2.1 Farklı pH Değerlerindeki Su Numunelerinin Hazırlanması	22
3.2.2 Farklı Serbest Klor Konsantrasyonundaki Su Numunelerinin Hazırlanması	23
3.2.3 Diğer Materyaller	24
3.3 Görüntü İşleme Yazılımı	25
3.3.1 Su Numunesinin Fotoğrafının Çekilmesi	26
3.3.2 Bulanıklaştırma.....	27
3.3.3 HSV Renk Uzayına Dönüştürme.....	27
3.3.4 Maskeleme.....	28
3.3.5 Morfolojik İşlemler	29
3.3.6 H, S, V Renk Değerlerinin Çıkarılması	30
3.3.7 YSA Fonksiyonunun Uygulanması	31
3.3.7.1 Geriye Yayılım (GY) Algoritması	32
3.3.7.2 Levenberg-Marquardt (LM) Algoritması	34

3.4 Uzak Sunucu Yazılımı	35
3.4.1 Web Sunucusu	35
4. BULGULAR	38
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	48
6. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ.....	55



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Fe	Demir
Cr(VI)	Hekzavalent krom
Ca	Kalsiyum
NaOH	Sodyum Hidroksit
HCl	Hidroklorik asit
As(III)	Arsin
DPC	Difenilkarbozid
KSCN	Potasyum Tiyosiyanat
NaClO	Sodyum Hipoklorür
AgNO ₃	Gümüş Nitrat
AgNPrs	Gümüş Nanoprizma
μM	Mikromolar
mg	Miligram
μL	Mikrolitre
L	Litre

Kısaltmalar

CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key
DSSMÖ	Dağıtıcı Sıvı Sıvı Mikro Özütlemesi
GY	Geriye Yayılım
HSV	Hue, Saturation, Value
LM	Levenberg-Marquardt
RAM	Random Access Memory
RGB	Red, Green, Blue
RP	Raspberry Pi
RPKM	Raspberry Pi Kamera Modülü
WHO	World Healty Organization
WSN	Wireless Sensor Network
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 İçme ve Kullanma Suyu Arıtımında Temel İşlemler.....	5
Şekil 3.1 Sistemin blok şeması.....	17
Şekil 3.2 Raspberry Pi 3 Model B+.....	19
Şekil 3.3 Raspberry Pi kamera modülü.....	21
Şekil 3.4 Led panel.....	22
Şekil 3.5 PH metre.....	23
Şekil 3.6 Serbest klor kolorimetre cihazı.....	24
Şekil 3.7 Serbest klor ve pH test kiti.....	24
Şekil 3.8 Numune kabı.....	25
Şekil 3.9 Görüntü işleme genel blok diyagramı.....	26
Şekil 3.10 YSA ağ modeli.....	32
Şekil 4.1 YSA çıkışından elde edilen fonksiyonun algoritması.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Bir dağıtım şebekesinden ya da bir tankerden sağlanan ya da gıda üretiminde kullanılan içme-kullanma amaçlı su için minimum numune alma ve analiz sıklığı (RESMÎ GAZETE:28580 2013).....	8
Çizelge 1.2 Yüzme havuzlarında işletmeciler tarafından yapılması gereken analizler (RESMÎ GAZETE:27866 2011).....	10
Çizelge 3.1 Raspberry Pi 3 Model B+ teknik özellikleri.	20
Çizelge 3.2 Raspberry Pi kamera modülü teknik özellikleri.....	21
Çizelge 4.1 PH eğitim veri seti.....	38
Çizelge 4.3 YSA'dan elde edilen pH değeri tahmini için ağırlık değerleri (Noktadan sonra üç hane).	42
Çizelge 4.4 YSA'dan elde edilen serbest klor konsantrasyonu tahmini için ağırlık değerleri (Noktadan sonra üç hane).	43
Çizelge 4.5 Eğitim seti dışında farklı pH değerlerinde hazırlanan numunelerden elde edilen pH ölçümleri.	45
Çizelge 4.6 Eğitim seti dışında farklı serbest klor konsantrasyonlarında hazırlanan numunelerden elde edilen serbest klor konsantrasyonu ölçümleri.	46

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Kirli su deposu örneği.....	9
Resim 3.1 Geliştirilen sistemin fotoğrafı.....	16
Resim 3.2 Geliştirilen cihazın farklı açılardan fotoğrafları.....	18
Resim 3.3 Yakalanan renkli su numunesi.....	27
Resim 3.4 Maskeleye işlemi neticesinde elde edilen görüntü.....	29
Resim 3.5 Morfolojik işlemler neticesinde elde edilen görüntü.....	30
Resim 3.6 Yakalanan görüntünün renkli bölgesinin çıkarılması.....	31
Resim 3.7 Web sitesi giriş sayfası.....	36
Resim 3.8 Cihazlardan gelen son veriler.....	36
Resim 3.9 Cihazlardan gelen tüm veriler.....	37
Resim 3.10 Cihazlardan gelen verilerin grafiksel gösterimi.....	37
Resim 4.1 PH değeri tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları.....	40
Resim 4.2 Serbest klor konsantrasyonu tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları.....	41

1. GİRİŞ

Günümüzde, küresel ısınmadan kaynaklanan yağış azlığı, aşırı buharlaşma, kirlilik gibi nedenlerden ötürü içme su kaynaklarındaki fark edilebilir azalmalar, gelecekte sağlıklı bir içme suyunun temininin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir (Karaman *et al.* 2010). Geçmişte insanlar sağlıklı bir suyu tanımlamak için lezzetini, sertliğinin azlığını ve tadını referans alırlardı. Fakat gelişen teknoloji ve artan imkanlar ile birlikte bu parametrelerin suyun kalitesini belirlemede ve güvenli bir suyu tanımlamada yeterli olmadığı görülmektedir (Hasde *et al.* 2004). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve UNICEF tarafından hazırlanan bir raporda, hâlâ dünya çapındaki her 10 kişiden 3 kişinin evde güvenli bir suya, her 10 kişiden 6 kişinin de güvenli bir sanitasyon sürecine sahip olmadığı ortaya koyulmuştur (İnt.Kyn.1).

Her gün tonlarca su işlenerek insanların kullanımına sunulmakta ve patojenik mikroorganizmaların ve kimyasal kirleticilerin bulunmaması istenmektedir. Bu nedenle, içme ve kullanma suları; kimyasal maddeler, mikroorganizmalar, tat, koku, pH vb. yönünden standartlara uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmaların tümü suyun arıtılması işlemi olarak adlandırılmaktadır. Suyun arıtılmasında izlenen temel basamaklar, flokülasyon (veya koagülasyon), sedimentasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon olarak sıralanabilir. Arıtma işleminin son basamağı olan dezenfeksiyonda kullanılan yöntemler ise kaynatma, ozon ile dezenfeksiyon, ultraviyole ile dezenfeksiyon, iyotla dezenfeksiyon, potasyum permanganat ile dezenfeksiyon ve klorlamadır (Hasde *et al.* 2004, WHO 2017).

Klorlama işlemi; maliyetinin düşük olması, kimyasal kontrol sağlaması, suda bulunan sülfiti, amonyak ve diğer nitrojenli bileşikler parçalaması, biyolojik büyümeyi kontrol altına alması, suyun fiziksel kalite parametrelerinden olan koku ve tadı kontrol altında tutması ve su deposundan musluğa kadar rezidüel koruma sağlaması gibi avantajlarından dolayı en çok tercih edilen dezenfeksiyon yönteminin başında gelmektedir (Hasde *et al.* 2004, Gray 2014, WHO 2017). Sularda standartlara uygunluğu önem arz eden diğer bir parametrede pH'dır. pH'ın sağlık üzerinde direkt bir etkisi yoktur ama etkin bir dezenfeksiyon için kontrol altında tutulması ve izlenmesi gerekmektedir. Bölgelere göre değişmekle birlikte, pH değerlerinin anormal şekilde değişim göstermesi endüstriyel kirliliğin, herhangi bir kirleticinin suya karışımının veya kirletici üzerinden beslenen

alglerin fotosentez ve solunumlarının bir göstergesi olabilir (Doğanay 2014).

Yukarıda verilen bilgiler göz önüne alındığında, içme ve kullanma amaçlı sularda, yüzme havuzlarında ve kuyu sularında, suyun içindeki klorun varlığı ile miktarının ve suyun seyrini gösteren pH parametrelerinin düzenli bir şekilde takip edilmesi gerekliliği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Sudaki klorun ve pH değerlerinin ölçülmesinde farklı yöntemler ve sistemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en sık kullanılan yöntem test kitleridir. Test kitleri ile suyun analizi; su numunesine karıştırılan bir kimyasal (ajan) yardımıyla numunede oluşan rengin, test kitinde verilen renk skalası ile gözle karşılaştırma temeline dayanmaktadır. Bu yöntem kolorimetrik analiz olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem insan gözünün seçiciliğine göre değişkenlik gösterebildiğinden hassasiyet oranı düşüktür. Diğer önemli yöntem ise spektrofotometrik yöntemdir. Spektrofotometrik temelli analiz sistemlerinin doğruluk ve güvenilirlik oranının yüksek olmasının yanında maliyetide oldukça yüksektir. Bu nedenle bu sistemler sahada pek tercih edilmemekte genelde laboratuvar ortamında yapılan analizlerde en kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; sudaki klor ve pH seviyesinin belirlenebilmesi için görüntü işleme tabanlı kolorimetrik bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde, uygun kimyasal ajan katılması sonucu suda oluşan renk değişimi kamera ile algılanarak HSV (Hue, Saturation, Value) renk uzayına dönüştürülmektedir. HSV formundaki sayısal veri, daha önce eğitilen Yapay Sinir Ağından (YSA) elde edilen fonksiyona sokularak klor ve pH seviyeleri belirlenebilmektedir. Önerilen bu sistem piyasadaki mevcut sistemlere ve ekipmanlara alternatif bir yöntem sunmaktadır. Klor ve pH parametrelerini yerinde, hızlı, güvenilir bir şekilde ölçülmesini amaçlamayan bu sistem sayesinde insan gözünün seçiciliğinden, analizi yapan personelden, numunenin alınmasından analizine kadar geçen süreden dolayı oluşabilecek hatalar, aksaklıklar ve yanlışlar en aza indirilecektir.

Tez çalışması; giriş, literatür bilgileri, materyal ve metot, bulgular, tartışma ve sonuç, kaynakça olmak üzere altı ana bölümden oluşmaktadır. Literatür bilgileri bölümünde; konuyla ilgili genel bilgiler, mevcut sistemler ve cihazlar, çalışmanın literatürdeki yeri değerlendirilmiştir. Materyal ve metot bölümünde çalışmada kullanılan materyaller ve metotlardan bahsedilmiştir. Bulgular kısmında; önerilen ve tasarlanan sistem kullanılarak, farklı pH ve klor seviyesindeki su numunelerinden elde edilen veriler ile

referans alınan diğ er cihazlardan elde edilen veriler sunulmuş ve analiz edilmiştir. Tartışma ve sonuç kısımda; elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve literatürdeki benzer çalışmalarla tartışılmıştır. Kaynaklar bölümünde yapılan tez çalışmasında yararlanılan kaynaklar yazım formatına uygun olarak verilmiştir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Su canlıların yaşaması için temel ihtiyaçlardan birisidir. İnsanoğlunun ulaşmak için savaştığı, gelişmenin temel yapı taşı olan su, tarih boyunca birçok medeniyetin var oluş ya da yok oluş sebebi olmuştur. Dünya üzerindeki suyun %97,6'sı denizler ve okyanuslarda tuzlu su olarak bulunmaktadır. Kutuplarda katı halde yani buz formunda bulunan su ise Dünya üzerinde %1,9'luk bir orana sahiptir. İnsanların kullanabileceği, su miktarı akarsular, yeraltı suları, göller olmak üzere %0,5'lik bir dilime sahiptir (Güler 1997, WHO 2017). İnsanların kullanabileceği su miktarı küresel ısınma, aşırı buharlaşma, kirlilik, endüstriyel atıklar vb. gibi ileri gelen sebeplerden ötürü gün geçtikçe temiz ve sağlıklı su miktarı azalmaktadır.

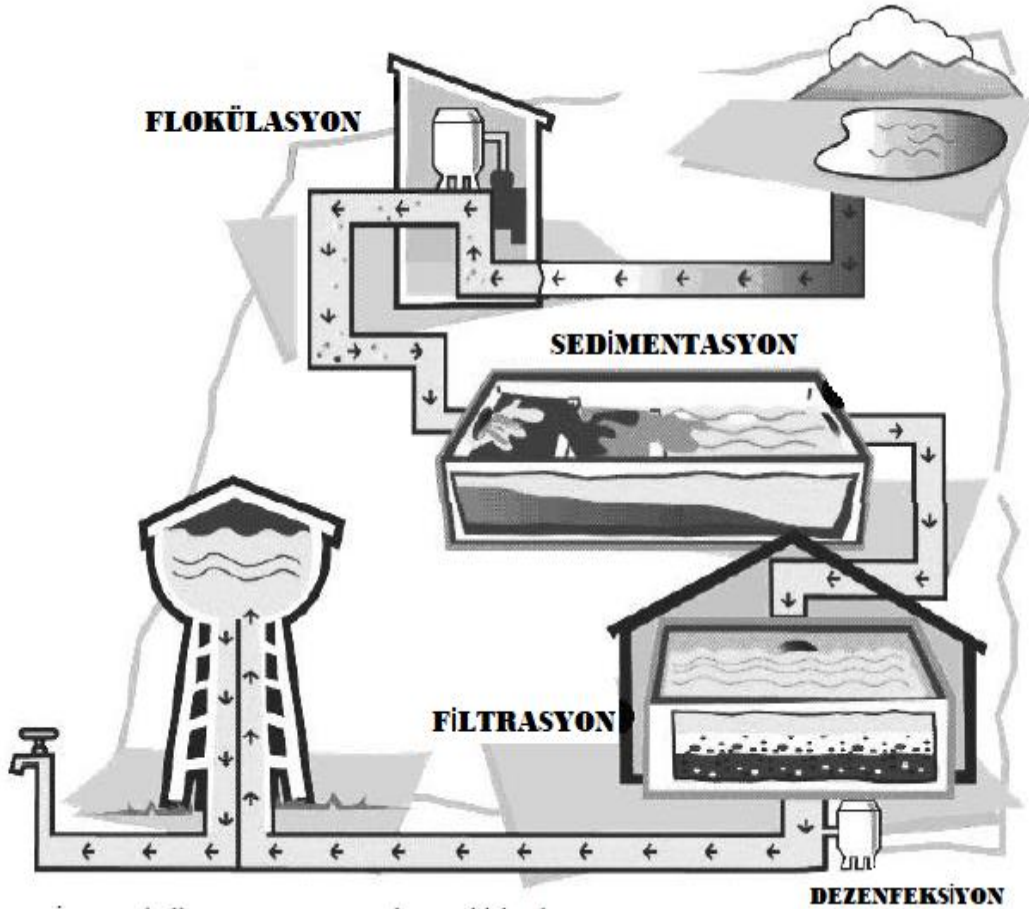
Her gün tonlarca su işlenerek insanların kullanımına hazır hale getirilmektedir. İçme ve kullanma suları; kimyasal maddeler, mikroorganizmalar, tat, koku, pH vb. yönünden dünya genelinde kabul görmüş, yetkililerce hazırlanan kriterlere uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmaların tümü suyun arıtılması işlemi olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanında Amerikan Mühendislik Akademisi suyun arıtılması işlemini 20 yüzyılda insanlığın yaşam standardını arttıran beş büyük gelişmeden birisi olarak kabul etmiştir (Hasde *et al.* 2004). İçme ve kullanma suları ile insan sağlığı arasında doğrudan bir ilişki olduğu bilinmektedir. İnsan sağlığı açısından içme sularında, patojenik mikroorganizmaların ve tarımda aşırı gübreleme, artan endüstrileşme, hatalı endüstriyel yerleşim gibi sebeplerden ileri gelen kimyasal kirleticilerin bulunmaması istenmektedir.

Suda bulunan kimyasal kirleticilerden nitratin bebeklerde mavi bebek sendromuna, bakırın yüksek dozlarda alımı sindirim sistemi rahatsızlığına ve karaciğer hasarına, düşük konsantrasyon miktarında (min. 0,5 mg/L) dış çürümesini engelleyen florürün, yüksek konsantrasyonlarda (0,9- 6 mg/L) alımı dış florozisi ve iskelet florozisi rahatsızlığına, suda birçok formda bulunan (arsenit, arsenat) arseniğin cilt kanserine ve akciğer kanserine, kadmiyumun kusma, ishal bazen de ölüme, baryumun kalp ritmi bozukluğuna ve felce, siyanürün beyin hasarı, kalp hasarı ve ölüme, kurşunun parmaklarda ve bileklerde güçsüzlüğe neden olduğu bilinmektedir (Oğuz 2015).

Sudaki diğer kirleticilerden olan patojenik mikroorganizmaların ise; ishal, basilli ve amipli dizanteri, giardiyaz, bağırsak parazitizmaları, paratifolar ve tifo , yersinya

gastroenteriti, kolera, kampilobakter enfeksiyonu, hepatit A ve hepatit E, leptospiroz, anemi, trohom, siyano bakteri toksinlerine bağılı zehirlenmeler, şistomiyazis gibi sağıık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir (WHO 2017, Flaherty 2017).

Hayat için vazgeçilmez bir madde olan su yukarıda bahsedilen kimyasal kirleticiler ve patojenik mikroorganizmalar sebebi ile sağıık için tehlikeli bir taşıyıcı ya da aracı durumuna gelebilir. İçme ve kullanma sularında, patojenik mikroorganizmaların ve kimyasal kirleticilerin yukarıda bahsedilen sağıık sorunlarına yol açabileceğinden içme ve kullanma sularının kullanımdan önce arıtılması gerekmektedir. Şekil 1.1’de gösterilen arıtma işleminin aşamaları, flokülasyon (veya koagülasyon), sedimentasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyondur. Arıtma işleminin son basamağı olan dezenfeksiyonda kullanılan yöntemler ise kaynatma, ozon ile dezenfeksiyon, ultraviyole ile dezenfeksiyon, iyotla dezenfeksiyon, potasyum permanganat ile dezenfeksiyon ve klorlamadır (Hasde *et al.* 2004, WHO 2017).



Şekil 1.1 İçme ve Kullanma Suyu Arıtımında Temel İşlemler (Hasde *et al.* 2004).

En önemli ve en çok kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinden olan klorlama ülkemizde ilk olarak 1932 yılında İstanbul’da yapılmıştır. 1940 yılından itibaren de ülke çapında klorlama yaygınlaşmıştır. Günümüzde ise klorlama su depolarında, ticari amaçlı su tesislerinde, yüzme havuzlarında, kuyu sularında, aquaparklarda dezenfeksiyon amacı ile yapılmaktadır (Xu *et al.* 2011, Tomei *et al.* 2018). Klorlama işleminde klorun çeşitli formları kullanılmaktadır. Genel olarak klorla dezenfeksiyonda kullanılan bu formlar elementer klor (klor gazı), katı kalsiyum hipoklorür ve sodyum hipoklorür solüsyonudur. Dezenfeksiyonda kullanılan klorun çeşitli formları suyun içerisindeki inorganik maddeleri (demir, sülfidler, manganez vb.) okside etmek, tat ve kokuyu ortadan kaldırmak, koagülasyon işleminin verimliliğini artırmak, patojenleri etkisiz hale getirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Saputro *et al.* 2010, Huangfu *et al.* 2019). Klorlamanın diğer dezenfeksiyon yöntemlerine kıyasla avantajları bulunmaktadır. Bunlar arasında maliyetinin düşük olması, kimyasal kontrol sağlaması, suda bulunan sülfidi, amonyak ve diğer nitrojenli bileşikler parçalaması, biyolojik büyümeyi kontrol altına alması, suyun fiziksel kalite parametrelerinden olan koku ve tadı kontrol altında tutması ve su deposundan musluğa kadar rezidüel koruma sağlaması sayılabilir. Bu yüzden en çok tercih edilen dezenfeksiyon yönteminin başında gelmektedir (Hasde *et al.* 2004, Gray 2014, WHO 2017).

Klorlama işlemi kadar klorlamanın dozu, izlenmesi, uzman kişilerce yapılması da çok önemlidir. Suya klor ilavesinden sonra suda çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar sudaki herhangi bir organik madde (mikroorganizmalar vb.) ve/veya inorganik malzemeler (metaller, borular vb.) arasında gerçekleşmektedir. Dezenfeksiyon işlemi sırasında, klorun suda bulunan mikroorganizmaları vb. etkisiz hale getirmesi zaman alır ve bu süreye temas süresi adı verilmektedir. Temas süresi suyun sıcaklığı, pH değeri ve klor konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sıcaklık ve klor konsantrasyonu arttıkça temas süresi azalacaktır. Klor asidik koşullar altında daha etkindir. Bu yüzden suyun pH değeri 8’in üzerinde olduğu zaman temas süresi artacaktır. Dolayısıyla etkin bir klorlama işlemi için suyun pH derecesi izlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. Dezenfeksiyon amacıyla suya ilave edilen klor gerçekleşen reaksiyonlar nedeniyle zamanla tüketilmektedir. Tüketilen bu klor miktarına klor talebi, kalan klora ise de serbest klor adı verilmektedir. Su klorlanmadan önce etkin bir klorlama için suyun klor talebini anlamak ve izlemek çok önemlidir. Serbest klor suyu

kirlenmeye ve mikroorganizmalara karşı bir derece korumaktadır. Ayrıca sudaki inorganik ve organik maddeler ile reaksiyona girerek bileşik oluşturmuş klorla bağlı klor adı verilmektedir. Ülkemizde “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik” gereği içme ve kullanma sularında olması gereken maksimum serbest klor miktarı 0,5 mg/L olmalıdır. WHO’ya göre ise 0,2 mg/L ile 0,5 mg/L arasında olması tavsiye edilmektedir. Aynı şekilde “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik” gereğince de ülkemiz yüzme havuzlarında olması gereken serbest klor miktarı; kapalı yüzme havuzlarında 1 mg/L ile 1,5 mg/L arasında, açık yüzme havuzlarında 1 mg/L ile 3 mg/L arasında olmalıdır.

Sulardaki izlenmesi gereken diğer fiziksel parametrelerden olan pH, su içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması olarak tanımlanmaktadır (WHO 2017). Ülkemizde içme suyundaki pH aralığı, resmî gazetede yayımlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik” gereğince 6,5 ile 9,5 arasında olmalı, WHO’ya göre ise 6,5 ile 8,5 arasında olması tavsiye edilmektedir. Ülkemiz havuz sularında ise “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik” gereğince 6,5 ile 7,8 arasında olması gerekmektedir. pH’ın sağlık üzerinde direkt bir etkisi yoktur ama etkin bir dezenfeksiyon için kontrol altında tutulması ve izlenmesi gerekmektedir. Bölgelere göre değişmekle birlikte, pH değerlerinin anormal şekilde değişim göstermesi endüstriyel kirliliğin, herhangi bir kirleticinin suya karışımının veya kirletici üzerinden beslenen alglerin fotosentez ve solunumlarının bir göstergesi olabilir. Ayrıca yüzme havuzu sularının pH değeri 7’ye yakın yani nötr olması istenmektedir. Çünkü asidik özellikteki sular korozif ve bazik özellikteki sular ise tortulaşmaya, dezenfektan etkinliğinin azalmasına, cilt ve göz iritasyonuna sebep olmaktadır. Bu nedenle suyun pH değerlerinin düzenli olarak izlenmesi ve kayıt altına alınması önem arz etmektedir (Doğanay 2014).

Yukarıda verilen bilgiler göz önüne alındığında, içme ve kullanma amaçlı sularda, yüzme havuzlarında, kuyu sularında, aquaparklarda dezenfeksiyon amacıyla kullanılan klorun su içerisindeki durumunun ve suyun seyrini hakkında bilgi veren pH parametrelerinin düzenli bir şekilde takip edilmesi gerekliliği açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Ülkemizde, içme sularının dağıtımı ve şartlandırılması yerel yönetimler tarafından yapılmaktadır. İzleme ve kontrolü ise T.C. Sağlık Bakanlığı’na bağlı İl Sağlık Müdürlükleri

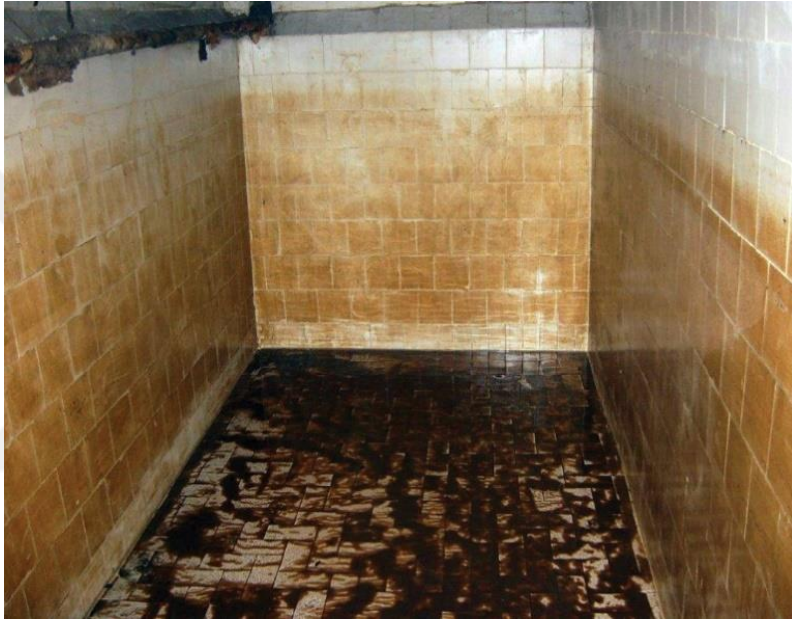
tarafından İnsani Tüketim Amaçlı Sular hakkında yayımlanan yönetmeliğine göre yapılmaktadır (RESMÎ GAZETE:28580 2013). Yönetmeliğe göre içme sularının Çizelge 1.1’de verilen sıklıklarda denetleme izlemesi ve kontrol izlemesi yapılması gerekmektedir. Bu izleme faaliyetleri, insani tüketim amaçlı suların yönetmelik eklerinde belirtilen parametre değerlerine uygunluğunun denetlenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Uygulama, ilgili kurumdaki görevlilerin, içme suyu kaynaklarını Çizelge 1.1’de belirtilen sıklıklarda dolaşarak su numunelerinin toplanması ve laboratuvar ortamında analiz edilmesi şeklinde yapılmaktadır. Alınan su numunelerinin analizinin doğru sonuçlar vermesi için mümkün olduğu kadar kısa sürede analizinin yapılması gerekmektedir. Ancak numune alımından, laboratuvar ortamında analizine kadar belirli bir süre geçmektedir. Bu durum ise analiz değerlerinin geçen süreye bağlı olarak doğru sonuçlar vermemesine sebep olmaktadır. Ayrıca ilgili kurumun bu işlemler için araç ve personel tahsis etmesi gerektiğinden maliyet yükü getirmektedir.

Çizelge 1.1 Bir dağıtım şebekesinden ya da bir tankerden sağlanan ya da gıda üretiminde kullanılan içme-kullanma amaçlı su için minimum numune alma ve analiz sıklığı (RESMÎ GAZETE:28580 2013).

Bir su şebekesi bölgesi içinde her gün dağıtılan ya da üretilen suyun miktarı (m³)	Her yıl için kontrol izleme sayısı	Her yıl için denetleme izleme sayısı
≤100	2	1
(>100) - (≤1000)	4	1
(>1000) - (≤10 000)	4	1
(>10 000) - (≤100 000)	31	3
>100 000	301	10
	100 000 m ³ üzerinde her 1 000 m ³ /gün için 3 kontrol izlemesi daha izlemesi daha ilave edilecektir	100 000 m ³ üzerindeki her 25 000 m ³ /gün için bir denetim izlemesi daha ilave edilecektir.

Şehirlerde, içme ve kullanma sularının işlenerek içilmeye hazır hale getirilmesi yukarıda bahsedilen standartlara uygun olarak arıtma tesislerinde yapılmaktadır. Fakat kırsal alanlarda arıtma tesisleri mevcut olmadığından kaynak suları “su deposu” olarak ifade edilen yerlerde toplanarak sadece klorlama işlemi yapılmakta ve şebekeye gönderilmektedir. Ancak su depolarının yerleşim yerlerinden uzakta olması, Şekil 1.2’de gösterildiği gibi binaların korunaksız, bakımsız olmaları ve fiziksel kontrollerinin düzenli sıklıklarda yapılmaması nedeniyle depoda oluşabilecek aksaklıklar ve sudaki kirlenme çok geç fark edilmekte hatta uzun zaman fark edilememektedir.



Resim 2.1 Kirli su deposu örneği.

Suların kontrolleri ise sağlık müdürlüğü yetkilileri tarafından yönetmelikte belirtilen sıklıklarda yapılabildiğinden olası bir kirlilik geç fark edilmektedir. Bu durum bölge halkının sağlığını ciddi şekilde etkileyen en önemli unsurların başında gelmektedir. Mevcut durum değerlendirildiğinde özellikle kırsal alanlardaki içme-kullanma sularında, dezenfeksiyon için kullanılan klorun ve suyun seyrini gösteren pH parametrelerinin düzenli bir şekilde takip edilmesi gerekliliği açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Bunun yanında ülkemiz yüzme havuzlarının izlenmesi T.C. Sağlık Bakanlığına bağlı İl Sağlık Müdürlüğü ve yüzme havuzu işletmecileri tarafından “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkındaki Yönetmelik” ve eklerinde belirtilen esaslara göre yapılmaktadır. Bu izleme faaliyetleri, havuz sularının yönetmelik eklerinde belirtilen

parametre değerlerine uygunluğunun denetlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Yönetmeliğe göre müdürlükçe yapılması gereken analizler ve analiz edilmesi gereken parametreler yönetmelik eklerinde mevcuttur. Müdürlükçe suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerinin ayda bir kez yapılması gerekmektedir. Aynı şekilde yönetmeliğe göre işletmeci tarafından yapılması gereken analizin sıklığı ve analiz edilecek parametreler Çizelge 1.2’de verilmektedir. İşletmecinin dezenfeksiyon yöntemi ve yüzme havuzu tipine göre Çizelge 1.2’de belirtilen analizleri yapması ve müdürlükçe yapılan denetimlerde analiz sonuçlarını denetçilere ibraz etmesi gerekmektedir.

Çizelge 1.2 Yüzme havuzlarında işletmeciler tarafından yapılması gereken analizler (RESMÎ GAZETE:27866 2011).

Parametre	Analiz Aralığı	Birim	Sınır Değerler	
			En az	En çok
Sıcaklık	Kapalı Yüzme Havuzu	°C	26	28
	Açık Yüzme Havuzu		26	38
Biguanid ¹		mg/L	2	30
Hidrojen Peroksit ⁽¹⁾	İlki havuzun kullanımından önce ve izleyen 4'er saatlik aralıklarla olmak üzere günde en az 3 defa	mg/L	40	80
pH ⁽¹⁾	Tatlı ve Deniz suyu		6,5	7,8
Serbest klor ⁽²⁾	Açık ve kapalı yüzme havuzları			
	Kapalı yüzme havuzu	mg/L	1	1,5
	Açık yüzme havuzu	mg/L	1	3
Serbest klor ⁽³⁾	Açık ve kapalı yüzme havuzları	mg/L	0,3	0,6
Toplam alkalinite ⁽¹⁾ (CaCO ₃)	Haftada bir defa	mg/L	30	180
Renk	Her gün	Pt/Co olarak 10 birim		

⁽¹⁾ Bu havuzlarda serbest klor ölçümü yapılmaz, hidrojen peroksit ve biguanide ölçümü yapılır.

⁽²⁾ Suyun dezenfeksiyonunda klor ve klorlu bileşiklerin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

⁽³⁾ Suyun dezenfeksiyonu için ozon, UV, klor dioksit ve diğer dezenfeksiyon sistemlerinin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

Yüzme havuzu işletmecileri yönetmeliğe göre yapılması gereken analizleri yaparken test striplerini, karşılaştırmacı test kitlerini ve piyasada satılan amaca yönelik cihazları kullanmaktadır. Analizde kullanılan bu yöntemlerden test stripleri ve karşılaştırmacı test kitleri tedarikçi firmanın ürettiği renk skalası ile yüzme havuzundan alınan su numunesine ilgili ajanlar eklenerek oluşan rengin karşılaştırılması temeline dayanmaktadır. Karşılaştırma işlemini, analizi yapan personel gerçekleştirmektedir. Yöntem tamamıyla insan gözünün seçiciliğine dayanmaktadır. Dolayısıyla uygulama esnasında insan gözünden kaynaklanan hatalar kaçınılmazdır. Hatalar neticesinde yüzme havuzu suyu; zehirlenme, kusma, ishal, baş ağrısı, cilt ve deride tahriş gibi kısa süreli, suya maruziyet süresine bağlı olarak kanser vb. gibi ciddi sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Yüzme havuzu suyunu analiz etmek için diğer bir yöntem olan amaca yönelik cihazların kullanımında ise yukarıda bahsedilen sağlık sorunlarının ortaya çıkma ihtimali yok denecek kadar azdır. Fakat amaca yönelik bu cihazların maliyetleri çok yüksektir. Yönetmeliğe göre yüzme havuzlarında işletmeciler tarafından yapılması gereken analizlerde (serbest klor, pH vb.) maliyetlerinin düşük olması nedeniyle genelde test stripleri tercih edilmektedir.

Test stripleri kullanılarak yapılan analizlerde ölçüm hassasiyetinin insan gözünün seçiciliğine bağlı olması ve spektrofotometrik yöntemle ölçüm yapan sistemlerin pahalı olması nedeniyle sulardaki serbest klor ve pH tayinleri arzu edilen şekilde yapılamamaktadır.

2.1 Literatür Taraması

Yukarıda bahsedilen sorunların çözümü ve mevcut çözümlerdeki eksikliklerin giderilmesi amacıyla literatüre geçmiş pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların incelenmesi için “Yök Tez, Science Direct, Scopus, Taylor & Francis, Web of Science, Willey Online Library” veri tabanlarından “İçme Suyu Analizi, Drinking Water Analysis Kolorimetrik Metot, Colorimetric Method, Yapay Sinir Ağları, Artificial Neural Networks, Su Kalitesi, Water Quality, Dijital Görüntü İşleme, Image Processing, Uzaktan İzleme, Remote Monitoring, Su Kirliliği, Water Pollution, Klorlama, Chlorination” anahtar kelimeleri kullanılarak tarama yapılmıştır.

Literatür incelendiğinde ağırlıklı olarak son zamanlarda yapılan çalışmaların su kalitesinin izlenmesi, su analizinde görüntü işleme tabanlı kolorimetrik sistemlerin ve buna bağlı teknolojilerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

Su kalitesinin uzaktan izlenmesine yönelik, Ranjbar and Abdalla (2017) 'a mikrodenetleyici tabanlı su kalite izleme sistemi önermişlerdir. Önerilen bu sistemde sıcaklık, pH seviyesi, bulanıklık ve su seviyesi sensör yardımıyla ölçülmektedir. Ölçülen herhangi bir su parametresi standart limiti geçerse, alarm sistemi açılmakta ve mesaj cihazın ekranında gösterilmektedir. Ayrıca tasarlanan cihaz, suyun kalitesini izleyen kullanıcıya, mesaj yoluyla bildirim yapmaktadır. Uzaktaki suyun kalitesini izleyen kullanıcılarla iletişim kurmak için GSM modülü kullanılmaktadır. Fidan vd. (2017) içme su depolarındaki klorlamanın dijital olarak takip edildiği Kablosuz Sensör Ağları (WSN) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bir uzaktan izleme sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan bu sistemde klorlama takip edilmekte, RFID kilit sistemi ile depolara sadece yetkili personel girişi sağlanmakta, hayvan ve diğer unsurlara karşı sürecin güvenliğini sağlamak için kamera sistemi kullanılmaktadır. Donanım sensörlerinden gelen veriler, ana sunucu yazılımına iletilmekte daha sonra ilgili birim sorumlusu, e-posta ve mesaj yoluyla bilgilendirilmektedir. Sheng vd. (2018) kırsal alanlarda içme su kalitesi izlemek için WSN tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen bu sistemdeki her sensör düğümünde, pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, amonyum nitrojen ölçülmektedir. Ölçülen gerçek zamanlı bu veriler ağ geçidi (gateway) tarafından alınıp, özetlenip, GPRS ağı üzerinden uzaktan izleme merkezine iletilmektedir. Bu sayede, kırsal alanlardaki içme su kalitesi gerçek zamanlı bir şekilde izlenebilmektedir. Chung and Yoo (2015) akarsularda, nehirlerde su kirliliğini uzaktan izlemek için yine WSN tabanlı bir sistem önermişlerdir. Önerilen bu sistem sensör düğümlerinden ölçülen çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik, bulanıklık, su derinliği, sıcaklık parametreleri komşu düğümler aracılığıyla ana istasyona (base station) aktarılmaktadır. Ana istasyona aktarılan veriler RS-232 yoluyla bir bilgisayar üzerinden izlenmektedir.

Görüntü işleme tabanlı kolorimetrik yöntem kullanılarak sulara yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde; Saraji and Bagheri (2018) su ve atık sulardaki siyanürün tespiti için kâğıt bazlı bir sistem önermiştir. Önerilen bu sistemde siyanür iyonları çeşitli reaksiyonlar sonucunda, selüloz kâğıt üzerinde kırmızı-mavi bir renk almaktadır. Kâğıt

üzerinde oluşan renk, siyanür konsantrasyonuna göre açık tonlardan daha koyu tonlara doğru değişmektedir. Oluşan bu renk tonu farkı sayesinde, su numunesindeki siyanür konsantrasyonu saptanmaktadır. İnsan gözünün seçiciliğinden kaynaklanan hataları en aza indirmek için renk almış kâğıt bir tarayıcı ile taranarak dijitalleştirilmiştir. Dijitalleştirilen görüntü “Image J” yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve insan gözünün seçiciliğinden kaynaklanan hatalar en aza indirilmiştir. Siyanür gibi içme sularında diğer bir kimyasal kirletici olan cıva iyonunun (Hg^{+2}) insan sağlığı üzerinde iyi huylu tümör, böbrek hasarı vb. gibi olumsuz etkileri vardır. Uma vd. (2018), cıva iyonu (Hg^{+2}) kontaminasyonu için enstrümantansız bir kolorimetrik sistem önermişlerdir. Sistem gelişmiş araç ve ekipmanların önemsiz olduğu kırsal alanda cıva tespitinde yüksek hassasiyet ve uygun maliyetli bir sistem sunmaktadır. Önerilen bu sistemde $HgCl_2$ suda çözülerek farklı konsantrasyonlarda cıva iyonu içeren çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltilerin görüntüleri tasarlanan sisteme entegre CMOS kamera ile yakalanmış ve taranarak bilgisayara aktarılmıştır. Dijitalleştirilmiş görüntüler bilgisayar ortamında MATLAB programı yardımıyla analiz edilmiş ve RGB (Red, Green, Blue) değerlerindeki değişikliğe karşı Hg^{+2} konsantrasyonu belirlenmiştir. Sonuçlar UV-VIS Spektrofotometresi ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Damirchi and Heidari (2017) sulardaki insan sağlığı açısından son derece tehlikeli bir kimyasal kirletici olan arseniğin (As III) kolorimetrik tayini için görüntü işleme tabanlı bir sistem önerilmiştir. Yöntem As (III)’ün asidik çözeltisinden $NaBH_4$ ile kimyasal hidrit arsin (AsH_3) üretimine ve arsinin kırmızı Fe (II) -1,10-fenantrolin bileşiğini üreten Fe (III) -1,10-fenantrolin solüsyonu ile ardışık reaksiyonuna dayanmaktadır. Suda oluşan kırmızı rengin yoğunluğu As (III) konsantrasyonu ile alakalıdır. Oluşan kırmızı renk Canon A2400 IS marka kompakt bir dijital kamera ile algılanmış ve Image J yazılımı kullanılarak görüntü analiz edilmiştir. En iyi hassasiyeti elde etmek için, görüntünün RGB renk değerlerindeki değişim bileşiğin kırmızı renk yoğunluğu açısından araştırılmış ve mavi rengin, en yüksek hassasiyeti gösterdiği gözlemlenmiştir. Önerilen yöntem atık sularda As (III) tayini için başarıyla uygulanmıştır. Sulardaki arseniğin düşük konsantrasyonlarda tespiti için benzer şekilde Kearns and Edson (2018) ajan olarak gümüş nitratın ($AgNO_3$) kullanıldığı bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemde sudaki arsenik (As III) konsantrasyonu, ile $AgNO_3$ emdirilmiş test stribi arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşan mavi rengin yoğunluğu ile tayin edilmektedir. Test stribinde meydana gelen mavi rengin yoğunluğu

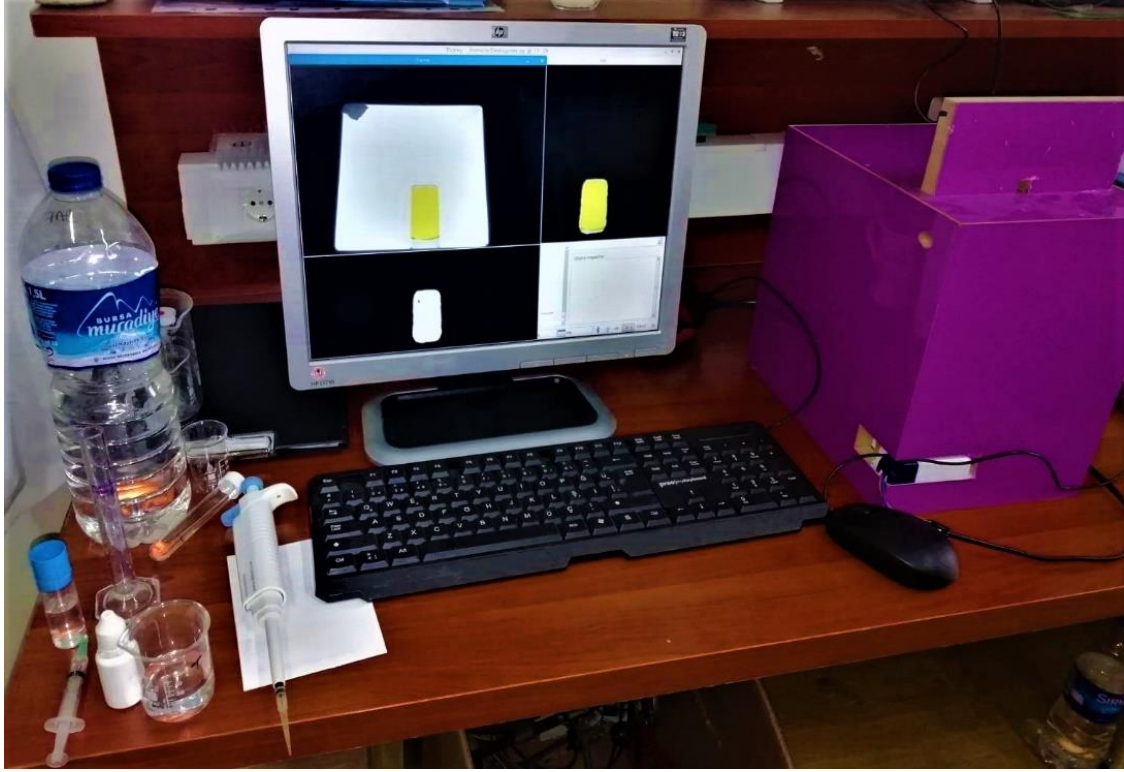
sudaki arsenik konsantrasyonuna bağı olarak ters orantılı değişmektedir. Daha sonrasında ise arsenik(As III) konsantrasyonu ile azalan mavi renk yoğunluğu bir tarayıcı (Epson V500) ile taranmış ve Analyzing Digital-Images, Color Basics programı ile mavi renk kanalı değerleri çıkarılarak, analiz edilmiş ve suyun arsenik konsantrasyonu tayin edilmiştir. Suyun arsenik konsantrasyonunun tayininde önerilen görüntü işleme tabanlı yöntemin %95 güven ile kullanılabileceği kabul edilmiştir. Siangproh vd. (2018) içme ve kullanma sularında Cl^- iyonun hızlı tespitine yönelik, taşınabilir bir sistem önermiştir. Önerilen sistemde Cl^- konsantrasyonları 10-1000 mg L⁻¹ aralığında, 1,3 mg L⁻¹ algılama limiti ile tespit edilmektedir. Cl^- iyonunu varlığını tespit etmek amacıyla ajan olarak gümüş nanoprizma (AgNPrs) kullanılmıştır. Yöntem temel olarak AgNPrs'lerin, Cl^- tarafından daha küçük gümüş nanosferlere(AgNPss) oksidatif taşınmasına dayanmaktadır. Cl^- varlığından AgNPrs'lerde, koyu mordan kırmızı bir renk değişimi gözlenmiştir. Benzer şekilde suda oluşan renk değişimi, akıllı telefon ile fotoğraflanarak görüntü dijital hale getirilmiştir. Görüntü JPEG formatında yakalanmış ve sonrasında ortalama renk yoğunluğunun ölçümü için, "Image J" yazılımına aktarılmış ve analiz edilmiştir. Ayrıca ortalama renk yoğunluğu ile Cl^- konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Her bir bölgenin renk sinyali ortalama renk yoğunluğu olarak ölçülmüş ve daha sonra analiz için "Numbers" isimli yazılıma aktarılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda, yöntemin kesin, hassas ve doğru olduğu ve doğal sulardaki Cl^- analizi için etkili bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlanmıştır.

Firdaus vd. (2014), su numunelerinde Cr (VI) ve Fe (III) iyonlarının belirlenmesi için dijital görüntü tabanlı kolorimetrik bir metot önermişlerdir. Önerilen yöntemde kantitatif analizler, Cr (VI) için 1,5-difenilkarbazid (DPC) ve Fe (III) için potasyum tiyosiyanatın (KSCN) kolorimetrik reaktifleri kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan bu kolorimetrik reaktiflerden "1,5-difenilkarbazid" Cr (VI) ile reaksiyonu sonucu mor tonlarında ve "potasyum tiyosiyanatın" Fe (III) ile reaksiyonu sonucunda turuncu tonlarında bir renk oluşmaktadır. Dijital görüntü tabanlı kolorimetrik analiz için resim kaydetmek amacıyla "Dijital Tek Objektifli Refleks (Digital Single Lens Reflex)" kamera kullanılmıştır. Daha sonra kamera kullanılarak yakalanan görüntüler analiz amacıyla "Adobe Photoshop" programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Dijital hale getirilmiş görüntünün ortalama RGB renk değerleri, "MATLAB" programı görüntü işleme araç kutusu ile belirlenmiştir. Görüntülerin RGB değerlerinin daha fazla analizinde sırasıyla "Basit Doğrusal

Regrasyon (Simple Linear Regrasyon)” ve “Kısmi En Küçük Kareler (Particle Least Regrasyon)” için Microsoft Excel ve Minitab ortamları kullanılmıştır. Son olarak elde edilen analiz sonuçları, Ultraviole görünür spektroskopisi kullanılarak karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin su numunelerinde Cr (VI) ve Fe (III) konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla kullanılabileceği kanıtlanmıştır. Benzer şekilde Peng vd. (2017) su ve gıda numunelerinde toplam demirin tespiti için dijital tarama görüntü analizi ile birlikte dağıtıcı sıvı-sıvı mikro-özütlemesine (DSSMÖ) dayanan düşük maliyetli, basit bir sistem önermiştir. Yöntemde ekstre edilen organik faz, bir TLC plakasına yerleştirilerek doğrudan taranmıştır. Taranarak elde edilen görüntü, Java tabanlı “Image J” programı tarafında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda numune noktası renk yoğunluğu ile demir konsantrasyonu arasında bir ilişki kurulmuştur. Sonuçlar önerilen yöntemin analit için herhangi bir büyük ölçekli spektral enstrüman kullanmadan basit, düşük maliyetli ve potansiyel olarak portatif bir algılama yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Molinero vd. (2013), su sertliğinin ana bileşeninden biri olan kalsiyumun (Ca) hızlı ve nicel tayini için dijital görüntüye dayalı kolorimetrik bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem, kalsiyum iyonunu (Ca II) ile glisokal bis (2-hidroksianil) arasındaki reaksiyonun oluşturduğu turuncu-kırmızı renge dayanmaktadır. Numunede oluşan bu renk, 2.0 megapiksel Nikon marka dijital fotoğraf makinesi ile fotoğrafı çekilmiş ve Microsoft Photo Editor programı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan görüntü MATLAB programının görüntü işleme araç kutusu ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda birbirinden farklı 21 pikselin RGB (Red, Green, Blue) değerleri çıkarılarak ortalaması alınmış, en yüksek duyarlılığın ve varyansın Green (Yeşil) renk kanalı değerinde olduğu saptanmıştır. Ortalaması alınan verilerin Hızlı Fourier Transform (FFT), Yapay Sinir Ağı (YSA) Geri Besleme Algoritması, Temel Bileşenler Analizi ve Excel hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan bu analizlerden FFT sonucunda temel renk olan Red (Kırmızı) renk değerinin de önemli bir özellik olduğunu, YSA algoritması sonucu kalsiyum konsantrasyonunun saptanmasında hata payının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Yöntemin geçerliliği atomik absorpsiyon spektroskopisi ve titrimetri teknikler ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda önerilen görüntü işleme tabanlı kolorimetrik yöntemin, saha uygulamalarında kalsiyum tayini için hızlı ve uygulanabilir olduğunu gösterilmiştir.

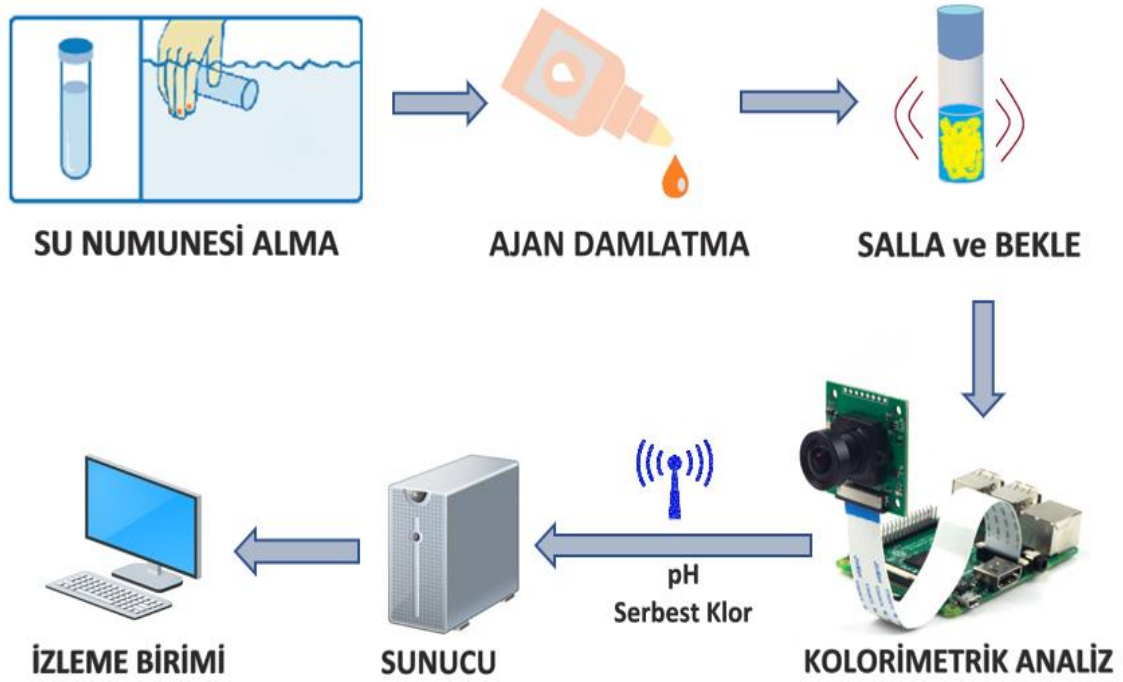
3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında; insani amaçlı içme ve kullanma sularındaki pH ve serbest klor parametrelerini, görüntü işleme tabanlı, kolorimetrik olarak ölçen bir sistem tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen sistem Resim 3.1’de gösterilmiştir.



Resim 3.1 Geliştirilen sistemin fotoğrafı.

Yapılan çalışmada, suyun serbest klor konsantrasyonunu veya pH değerini tespit etmek amacıyla su numunelerine renklendirici reaktifler (ajan) damlatılmaktadır. Su numunelerine damlatılan ajanların, su ile reaksiyonu neticesinde suyun serbest klor konsantrasyonuna veya pH değerine bağlı olarak, numunede renk oluşmaktadır. Su numunesinde oluşan renk kamera ile algılanarak, görüntü işleme teknikleriyle analiz edilmektedir. Renk değerleri üzerinden suyun pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu hesaplanarak, wi-fi ağı üzerinden uzak sunucuya ve son kullanıcıya iletilmektedir. Gerçekleştirilen sistemin blok şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

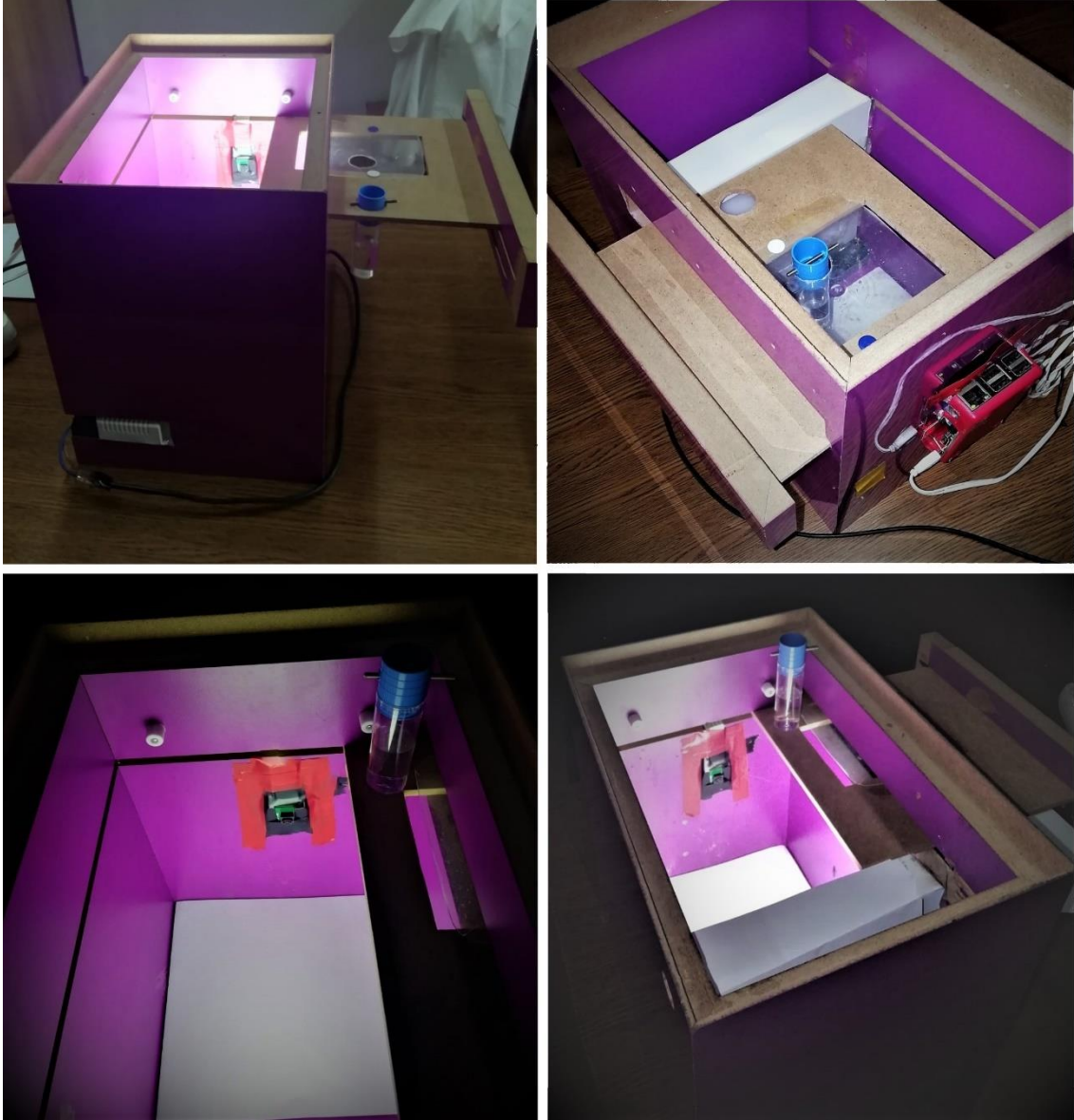


Şekil 3.1 Sistemin blok şeması.

Materyal ve metot bölümü, cihaz tasarımı, deney metodolojisi, görüntü işleme yazılımı, uzak sunucu yazılımı olmak üzere dört başlık altında ele alınmıştır.

3.1 Cihaz Tasarımı

Yapılan sistemde; su numunelerinin, görüntü işleme tabanlı analizi amacıyla bir cihaz tasarlanmıştır. Tasarlanan ve gerçekleştirilen cihaz, mekanik ve donanım olmak üzere iki alt bölümde ele alınmıştır. Geliştirilen cihazın farklı açılardan fotoğrafları Resim 3.2’de gösterilmektedir.



Resim 3.2 Geliştirilen cihazın farklı açılardan fotoğrafları.

3.1.1 Mekanik

Cihazın, destek parçaları ve cihaz kutusu “Solidworks” programı ile çizilmiştir. Destek parçalar 3 boyutlu (3B) yazıcı ile “PLA (Polilaktik Asit)” filament kullanılarak basılmıştır.

3.1.2 Donanım

Cihazın donanım kısmında; Raspberry Pi (RP), kamera modülü, ışık kaynağı ve diğer materyaller yer almaktadır.

3.1.2.1 Raspberry Pi (RP)

RP, İngiltere’de bulunan Raspberry Pi Vakfı tarafından üretilen ve geliştirilen kredi kartı büyüklüğündeki mini bir gerçek bilgisayardır. Bir bilgisayar için gerekli olan işlemci, giriş/çıkışlar, RAM (Random Access Memory) bellek, gibi tüm birimler tek bir devre kartı üzerinde toplanmıştır. Küçük tasarımı ve kompakt yapısı sayesinde bu bilgisayarlar, robotik projelerde, gömülü sistemlerde, akıllı ev sistemlerinde, hatta klavye/fare, ekran gibi çevre birimleri bağlanarak masaüstü bilgisayar olarak da kullanılabilir. Sistemin donanım kısmında, Şekil 3.2’de gösterilen Raspberry Pi 3 Model B+ modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Raspberry Pi 3 Model B+.

Şekil 3.2’te gösterilen Raspberry Pi modelinin seçilmesinde bu modelin diğer modellere göre daha hızlı olması, dahili wifi modülü içermesi, ethernet ve dört adet USB girişi olması gibi sebepler etkili olmuştur. Ayrıca gerçekleştirilen sistemde suyun analiz sonuçlarının uzak bir sunucuya iletilmesi için seçilen Raspberry Pi modelinde hem ethernet girişi desteği hem de kablosuz internete bağlanabilme özelliği aranmıştır. Yapılan sistemde kullanılan “Raspberry Pi 3 Model B+” mini bilgisayarın teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Raspberry Pi 3 Model B+ teknik özellikleri.

Teknik İsim	Teknik Detay
İşlemci	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Bellek	1GB LPDDR2 SDRAM
Bağlantı	2.4 GHz ve 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Kablosuz LAN, Bluetooth 4.2, 4 × USB 2.0 bağlantı noktası
Giriş	Genişletilmiş 40-pin GPIO başlığı
Video ve ses	1 × tam boyutlu HDMI MIPI DSI ekran bağlantı noktası MIPI CSI kamera bağlantı noktası 4 kutuplu stereo çıkış ve kompozit video bağlantı noktası
Multimedya	H.264, MPEG-4 kod çözme (1080p30) H.264 kodlama (1080p30) OpenGL ES 1.1, 2.0 grafikleri
Ortam	Çalışma sıcaklığı, 0-50 ° C
Giriş gücü	Mikro USB konektörü ile 5V / 2.5A DC GPIO başlığı üzerinden 5V DC Ethernet üzerinden Güç (PoE)

3.1.2.2 Kamera Modülü

Görüntülerden yansıyan ışığı objektif veya mercek yardımıyla bir düzlem üzerinde toplayan, düzlemdeki film (filmler için) veya ışığa duyarlı elektronik devre elemanları ile, görüntülerden gelen ışık enerjisini elektronik sinyallere çeviren cihazlara kamera adı verilmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, su numunesinde oluşan rengi algılamak amacıyla “Raspberry Pi Kamera Modülü (RPKM)” kullanılmıştır. Kullanılan kamera modül Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Raspberry Pi kamera modülü.

RPKM modülünün seçilmesinde, RP ile uyumlu olması, maliyetinin aynı özellikteki kameralar ile yakın olması, flex kablo ile RP kartına doğrudan bağlanabilmesi gibi sebepler etkili olmuştur. Ayrıca RP üreticilerinin RPKM'ne kütüphane desteği vermesi bu kamera modülünün seçiminde ana etken olmuştur. RPKM modülünün teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Raspberry Pi kamera modülü teknik özellikleri.

Teknik İsim	Teknik Özellik
Çözünürlük	8 mega piksel
Lens Türü	Sabit odaklı lens
Ağırlık	3 g
Boyut	25 mm x23 mm x 9 mm
Video Desteği	1080p30, 720p60, 640x480p90

Özel kameralar dışında genel olarak kameraların kaliteli bir görüntü yakalayabilmesi için bulundukları ortamın aydınlatmasının iyi olması gerekmektedir. Su numunesine ajan damlatılmasının sonucu, numunede oluşan rengin ve yoğunluğunun kamera tarafından iyi algılanabilmesi ve numunenin homojen aydınlatılması için Şekil 3.4'de gösterilen led panel kullanılmıştır. Led panel su numunesinin arkasına yerleştirilmiştir. Bu sayede kameranın numunede oluşan renk ve rengin tonlarının en iyi düzeyde algılanması sağlanmıştır. Kullanılan led panel; 12 Watt gücüne ve 6500 Kelvin ışık rengine sahiptir.



Şekil 3.4 Led panel.

3.2 Deney Metodolojisi

Suyun serbest klor konsantrasyonu veya pH değeri; suya damlatılan ajanların su ile reaksiyonu neticesi oluşan rengin analizi ile tayin edilmektedir. Analiz; görüntü işleme teknikleri ve yapay sinir ağı (YSA) eğitimi sonucu elde edilen fonksiyon ile gerçekleştirilmektedir. YSA'nın eğitim veri setinde kullanılmak amacıyla pH derecesi veya serbest klor konsantrasyonu bilinen su numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerde oluşan renk değerleri ve ona karşılık gelen pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu kayıt edilmiştir.

3.2.1 Farklı pH Değerlerindeki Su Numunelerinin Hazırlanması

Ülkemizde yönetmelik gereğince içme sularının pH derecesi 6,5 ile 9,5 arasında, yüzme havuzlarının ise 6,5 ile 7,8 arasında olmalıdır. Bu nedenle YSA'nın eğitiminde, pH'ı 6,5-9,5 aralığında olacak şekilde yaklaşık 0,02 farklarla 255 su numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında, çeşme suyu kullanılmıştır. Su numunelerinde farklı pH değerleri için, NaOH (Sodyum Hidroksit) ve HCl (Hidroklorik Asit) çeşme suyu ile seyreltilerek kullanılmıştır. Seyreltik NaOH veya HCl çözeltileri, su numunelerine mikropipet ile eklenmiş ve hazırlanan numunenin pH değeri referans cihaz ile ölçülmüştür. Sonrasında, pH değeri bilinen su numunelerine üç damla ajan damlatılmış ve çalkalanmıştır. Suyun ajan ile reaksiyonu neticesinde oluşan renk kamera ile algılanarak elde edilen HSV formatındaki renk değerleri ve hazırlanan numunenin

referans cihaz ile ölçülen pH değeri EXCEL’e kaydedilmiştir. PH ölçümü için kullanılan referans cihaz Şekil 3.5 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 PH metre.

3.2.2 Farklı Serbest Klor Konsantrasyonundaki Su Numunelerinin Hazırlanması

YSA’nın eğitimi için 0 mg/L ile 3 mg/L arasında, yaklaşık 0,05 aralıklarla farklı serbest klor konsantrasyonu içeren 165 adet su numunesi hazırlanmıştır. Su numunelerinin hazırlanmasında distile su kullanılmıştır. Klorun sudaki formu olan ClO^- stok çözeltisi, %8 konsantrasyonundaki NaClO (Sodyum Hipoklorit) çözeltisinden distile su ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltisinden aynı hacimde mikropipet ile alınarak iki ayrı su numunesine eklenmiştir. Numunelerin birine referans cihazın ajanı eklenerek, referans cihaza yerleştirilmiş ve serbest klor konsantrasyonu ölçülmüştür. Diğer su numunesine ise üç damla serbest klor ajanı (Chembio) damlatılmış ve çalkalanmıştır. Suyun ajan ile reaksiyonu neticesinde oluşan renk kamera ile algılanarak elde edilen HSV formatındaki renk değerleri ve hazırlanan numunenin referans cihaz ile ölçülen serbest klor konsantrasyonu EXCEL’e kaydedilmiştir.

Su numunelerinin serbest klor konsantrasyonunu ölçmek için referans cihaz olarak 3.6’da gösterilen kalibrasyonu yapılmış “Hach” marka kolorimetre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Serbest klor kolorimetre cihazı.

3.2.3 Diğer Materyaller

Serbest klor referans cihazı ajanı dışında kolorimetrik analiz için “Chembio” firmasından temin edilen pH test kiti ve serbest klor test kiti kullanılmıştır. Kullanılan ajanlar Şekil 3.7’te gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Serbest klor ve pH test kiti.

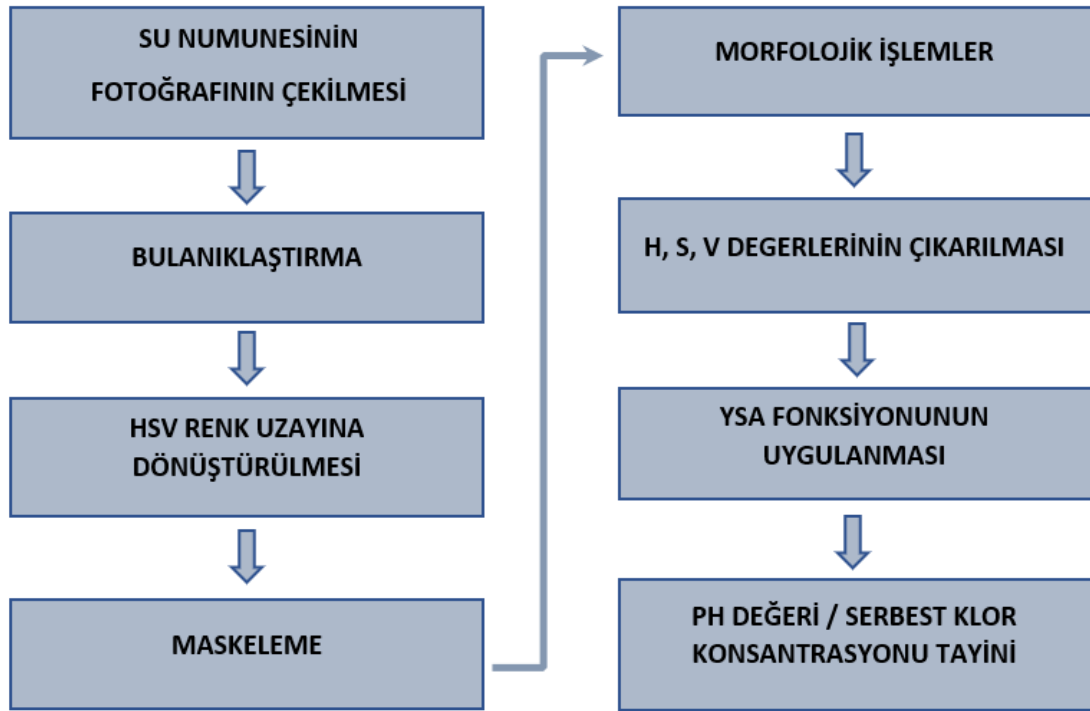
Su numuneleri Şekil 3.8’de gösterilen 10 ml hacminde, şeffaf, plastik, kapaklı numune kabına hazırlanmıştır. Ayrıca su numunelerin hazırlanmasında beher, balonjoje, mezür vb. laboratuvar araçları kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Numune kabı.

3.3 Görüntü İşleme Yazılımı

Geliştirilen sistemde suyun pH değerinin veya serbest klor konsantrasyonunun tayini; su numunesine ajan damlatılması ile oluşan rengin kamera ile algılanması ve çeşitli teknikler ile analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu amaçla Raspberry Pi üzerinde “Thonny” ortamında, “Python” dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımın genel blok diyagramı Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Görüntü işleme genel blok diyagramı.

3.3.1 Su Numunesinin Fotoğrafının Çekilmesi

Su numunesine damlatılan ajanlar neticesinde, suyun serbest klor konsantrasyonuna ya da pH değerine bağlı olarak numunede renk oluşmaktadır. Geliştirilen yazılımda ilk olarak oluşan renkli su numunesinin fotoğrafı çekilmekte ve görüntü sayısallaştırılmaktadır. Fotoğraf RP kütüphanesinin “camera.capture()” metodu ile yakalanmaktadır. Yakalanan görüntü; RPKM kullanılarak, RGB (Red, Green, Blue) renk formatında, 1024 x 768 çözünürlükte elde edilmektedir. Numunelerde oluşan renk değişimlerine ait örnek görüntüler sırasıyla serbest klor için Resim 3.3.a’da ve pH için Resim 3.3.b’de gösterilmektedir.



a

b

Resim 3.3 Yakalanan renkli su numunesi.

3.3.2 Bulanıklaştırma

Yakalanan görüntülerde, su numunesi yüzeyindeki parlamaları, su damlalarının görüntüye etkisini ve görüntüdeki gürültüyü en aza indirmek amacıyla bulanıklaştırma (blurring) işlemi gerçekleştirilmektedir. Görüntünün bulanıklaştırılması işlemi “Gaussian” filtresi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gaussian filtresinin tercih edilmesinde; gürültüyü ve gereksiz ayrıntıyı ortadan kaldırması, kenarları koruması gibi sebepler yer almaktadır (Gonzalez and Woods 2010). Bulanıklaştırma işlemi; 5x5’lik çekirdek (kernel) matris kullanılarak “OpenCV” kütüphanesinin “cv2.GaussianBlur()” metodu ile yapılmaktadır.

3.3.3 HSV Renk Uzayına Dönüştürme

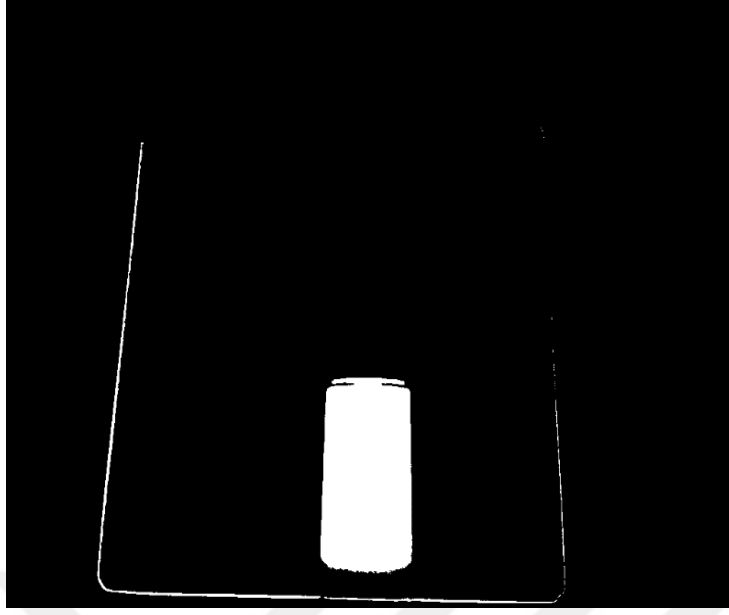
Renkli bir görüntüde, renkleri tanımlamak, oluşturmak için standart olarak kabul görmüş renk uzayları kullanılmaktadır. Temel olarak renk uzayları her bir rengin tek bir nokta ile temsil edildiği bir koordinat sistemidir ve her renk uzayının, rengi tanımlamak için kendine özgü bir yapısı vardır. Sayısal renkli bir görüntüyü tanımlamada RGB, HSV (Hue, Saturation, Value), CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key) renk uzayları sıkça kullanılmaktadır. Bu renk uzaylarının dışında yaklaşık 150’ye yakın renk uzayı bulunmaktadır. RGB renk uzayında renkler üç ana rengin yani kırmızı (red), yeşil (green), ve mavinin(blue) belirli oranda karışı ile tanımlanmaktadır. Her renk 8 bit ile temsil

edilmekte ve toplamda görüntünün her bir pikseli $(2^8)^3=24$ bit farklı renk ile temsil edilmektedir. HSV renk uzayında ise renkler, hue (renk özü), saturation (doymunluk) ve value (parlaklık) ile tanımlanmaktadır. Hue; rengin, sarı, yeşil, mavi vb. baskın dalga uzunluğunu belirlemekte ve rengin kimliğini tanımlamaktadır. Hue 0-360 arasında değişen açısal değerdir. Bazı uygulamalarda ise 0-180 arasında normalize edilmektedir. Saturation rengin canlılığını belirtmektedir. Value ise rengin aydınlığını yani içindeki beyaz oranını ifade etmektedir. HSV renk uzayında, sayısal bir görüntüdeki rengin kimliği “Hue” kanalı ile tanımlandığı için, bir renkten diğerine geçişlerde ya da görüntüde istenilen rengin elde edilmesinde HSV renk uzayı tercih edilmektedir.

Geliştirilen sistemde renkli su numunesinin fotoğrafı RPKM kullanılarak RGB formatında yakalanabilmektedir. Su numunesi görüntüsünün renkli bölgesinin çıkarılabilmesi amacıyla görüntü RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüştürülmektedir. Dönüştürme işlemi OpenCV kütüphanesinin “cv2.cvtColor()” metodu kullanılarak yapılmaktadır.

3.3.4 Maskeleme

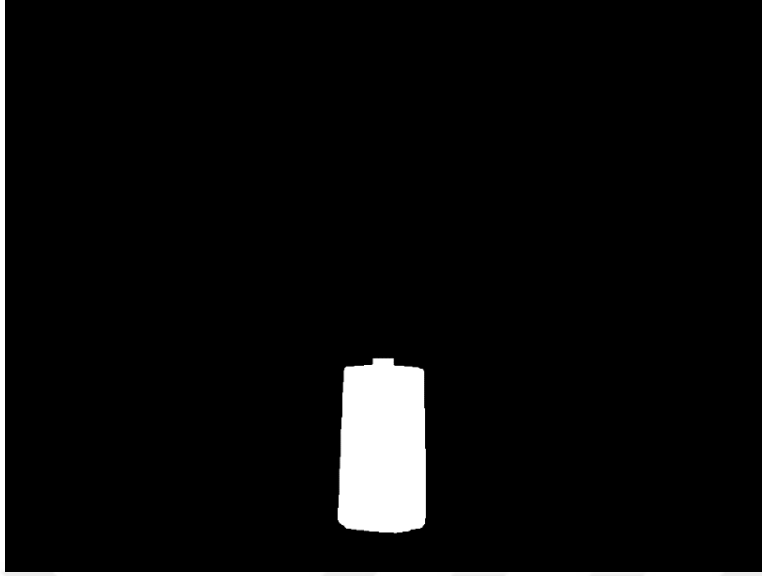
Yakalanan görüntüde renkli bölgenin belirlenmesi amacıyla maskeleme işlemi uygulanmaktadır. Maskeleme temel olarak, giriş olarak verilen sayısal görüntünün, ikili(binary) görüntüye dönüştürülmesi işlemidir. Maskeleme işlemi sonucunda ikili formata dönüştürülen görüntüde istenilen renk bölgesi 1(beyaz) diğer bölgelerin 0 (siyah) ile ifade edilmektedir. Su numunesindeki renkli bölgenin belirlenmesi amacıyla yakalanan görüntünün kopyasında maskeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Maskeleme işlemi, OpenCV kütüphanesinin “cv2.inRange()” metodu kullanılarak yapılmaktadır. Görüntünün kopyasında gerçekleştirilen maskeleme işlemi ile elde edilen yeni görüntü Resim 3.4’te gösterilmektedir.



Resim 3.4 Maskeleme işlemi neticesinde elde edilen görüntü.

3.3.5 Morfolojik İşlemler

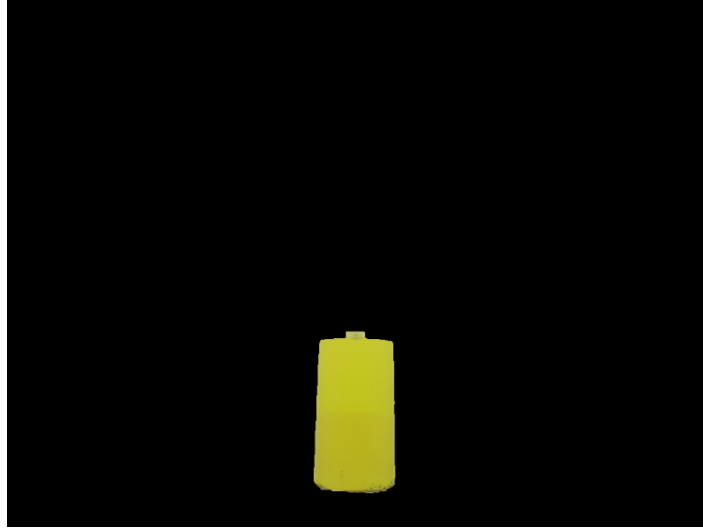
Sayısal bir görüntüde, sınırların, iskeletlerin tanım ve temsilinde, gürültülerin azaltılmasında, bölütlemelerde, morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Ayrıca morfolojik işlemler sayısal görüntü işlemede; inceltme, budama ve morfolojik süzgeçleme gibi ön ya da son işlemlerde sıkça kullanılmaktadır. Yakalanan su numunesi görüntülerinde maskeleme işleminden sonra elde edilen görüntüdeki bağımsız piksellerin ve gürültülerin ortadan kaldırılması, su numunesi görüntüsünün kalitesinin artırılması amacıyla sırasıyla aşındırma (erosion), genişletme (dilation) ve tekrar aşındırma morfolojik görüntü işleme teknikleri gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştiren morfolojik işlemlerden aşındırma ve genişletme OpenCV kütüphanesinin sırasıyla “cv2.erode()” ve “cv2.dilate” metotları ile 3x3 çekirdek(kernel) matris kullanılarak yapılmıştır. Yakalanan su numunesi görüntüsünün kopyasında, maskeleme işlemi sonrası gerçekleştirilen morfolojik işlemler neticesinde elde edilen görüntü Resim 3.5’te gösterilmektedir.



Resim 3.5 Morfolojik işlemler neticesinde elde edilen görüntü.

3.3.6 H, S, V Renk Değerlerinin Çıkarılması

Yakalanan su numunesi görüntüsünün kopyasında gerçekleştirilen maskeleme ve morfolojik işlemler neticesinde Resim 3.6’da gösterildiği gibi, görüntünün renkli bölgesi belirlenmektedir. Görüntünün renkli bölgesinin belirlenmesinden sonra renkli bölgesi çıkarılmış ve renkli görüntünün, Hue (H), Saturation(S), Value(V) renk kanallarının sayısal değerleri belirlenmiştir. Ayrık renk değerlerini ve gürültü gibi sebeplerden kaynaklanan hataları en aza indirmek amacıyla, görüntünün renkli bölgesinin her bir pikseldeki H, S, V, renk değerleri ayrı ayrı toplanarak ortalamaları alınmıştır. Tüm bu işlemler OpenCV kütüphanesinin “cv2.mean()” metodu kullanılarak yapılmıştır. Metoda girdi olarak yakalanan su numunesi görüntüsünün H, S, V renk kanalları ve maskeleme/morfolojik işlemler neticesinde elde edilen ikili görüntü verilmiştir.



Resim 3.6 Yakalanan görüntünün renkli bölgesinin çıkarılması.

3.3.7 YSA Fonksiyonunun Uygulanması

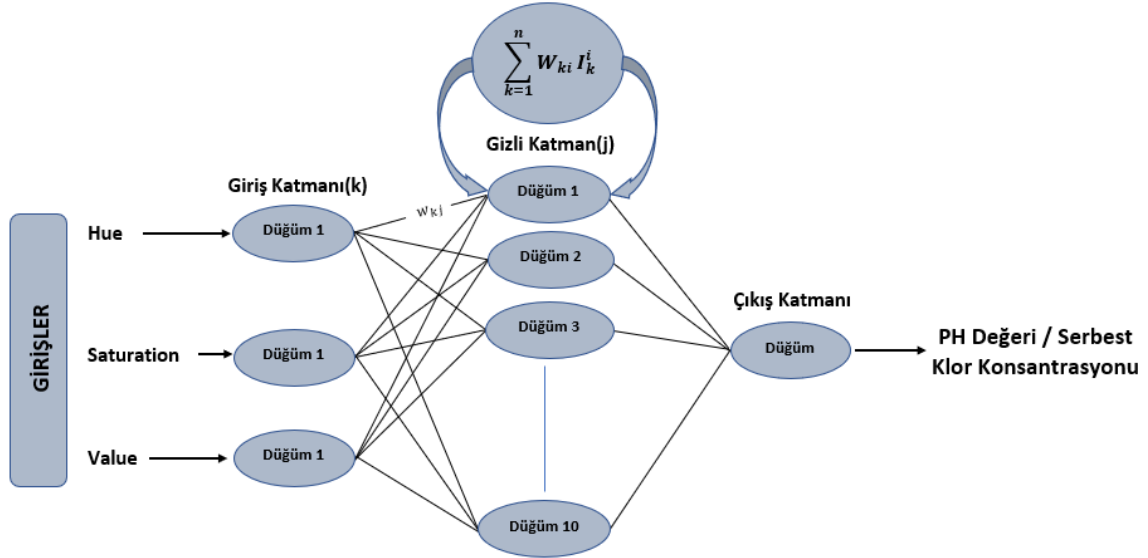
YSA temel olarak birçok basit düğüm (nöron) elemanlarından oluşan yapılardır. Bu elemanlar farklı formlarda ve modellerde ifade edilebilen, nümerik veriler taşıyan “ağırlıklar” ve “bağlantılar” ile birbirine bağlıdır (Sağıroğlu *et al.* 2003, Haykin 2009). Geliştirilen sistemde, suyun pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu; yakalanan görüntünün renkli bölgesinin H, S, V değerlerinin YSA fonksiyonuna uygulanması ile tayin edilmektedir. Bu amaçla ilk olarak YSA eğitilmiş ve eğitim sonunda elde edilen fonksiyon geliştirilen yazılıma entegre edilmiştir.

YSA’nın eğitilmesinde, giriş olarak; “Bölüm 3.2” başlığı altında anlatılan su numunelerinin H, S, V renk değerleri, çıkış olarak ise pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu kullanılmıştır. Su numunesinin serbest klor konsantrasyonunun ve pH değerinin tahmini için iki ayrı eğitim gerçekleştirilmiştir. Serbest klor konsantrasyonunun tahmini için eğitim veri seti olarak 165 adet, pH değerinin tahmini 255 adet su numunesi kullanılmıştır.

Geliştirilen sistemde temel olarak üç nöronlu giriş, on nöronlu gizli (ara) ve üç nöronlu çıkış katmanından oluşan çok katmanlı yapay sinir ağ modeli kullanılmıştır. Ağın eğitiminde sınıflandırma işlemlerinde başarılı sonuçlar veren “Levenberg-Marquardt (LM)” ve “Geriye Yayılım” öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. LM algoritması Gauss-Newton tekniğini ve diğer ikinci dereceden yöntemlerin en iyi özelliklerini bir araya

getirmekte ve sınırlamalarını etkilememektedir. Ayrıca LM algoritması yavaş yakınsama gibi problemlere sahip değildir. GY, ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağlarındaki hatayı hızla azaltmak için model katmanları arasındaki ağırlıklarının ve eşik(bias) ağırlıklarının yeniden hesaplanmasına dayanan bir eğitim algoritmasıdır (Sağıroğlu *et al.* 2003).

Su numunesinin serbest klor konsantrasyonunun veya pH değerinin tahmin edilmesi amacıyla tasarlanan çok katmanlı yapay sinir ağ modeli Şekil 3.10’da gösterilmektedir. Modellenen sinir ağında giriş katmanına, su numunesinin H, S, V renk değerleri girilerek, su numunesinin serbest klor konsantrasyonunu veya pH değerini öğrenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.10 YSA ağ modeli.

Yapılan sistemde, YSA’nın eğitimi MATLAB R2017b programının “Neural Net Fitting” uygulaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonunda numunenin renk değerlerine göre pH değeri ve serbest klor konsantrasyonu arasındaki ilişkinin fonksiyonu, geliştirilen yazılıma ayrı olarak entegre edilmiştir.

3.3.7.1 Geriye Yayılm (GY) Algoritması

İleri beslemeli sinir ağının eğitilmesi ve eğitim sonunda elde edilen değerler sinir ağının oluşturmuş olduğu tahmin değerleridir. Tahmin değerleri ile olması gereken gerçek değerler arasında fark oluşmaktadır. Hatanın en aza indirilmesi amacıyla farklı yöntemler

geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerden biride geri yayılım (GY) algoritmasıdır. GY, ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı sinir ağlarındaki hatayı hızla azaltmak için model katmanları arasındaki ağırlıklarının ve eşik(bias) ağırlıklarının yeniden hesaplanmasına dayanan bir eğitim algoritmasıdır (Sağıroğlu *et al.* 2003, Haykin 2009). GY algoritması anlaşılmasının ve matematiksel olarak ispatının kolay olması nedeniyle en çok tercih edilen öğrenme algoritmalarındandır. Ayrıca çok katmanlı yapay sinir ağlarını eğitmede de en çok kullanılan algoritmalar arasında yer almaktadır.

GY algoritmasında temel mantık; katmanlardaki her bir nöronu, nörona bağlı olduğu ağırlık değerleri ile çarpmak ve böylece diğer katmandaki nöronun net değerini bulmaktır. Katmanlar arası nöronların net değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$N_j^a = \sum_{k=1}^n W_{kj} I_k^i \quad (3.1)$$

Burada W_{kj} , k'inci giriş elemanı ile j'inci ara katmanı arasındaki ağırlığı ve I_k^i , giriş katmanındaki giriş değerlerini temsil etmektedir. Bu işlem, ara katmandaki her bir nöron için tekrarlanır ve bir aktivasyon fonksiyonuna aktarılır. YSA'da aktivasyon fonksiyonu olarak; basamak, hiperbolik tanjant, doğrusal vb. çeşitli aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu için hesaplama şu şekildedir:

$$S_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(N_j^a + \beta_j^a)}} \quad (3.2)$$

Aktivasyon fonksiyonu, nörona gelen net bilgiyi işler ve daha sonra nöronun net bilgiye karşılık aktivasyon çıktısını üretir. Burada β_j , j'inci elemanına bağlı ara tabaka eşik(bias) düğümünün ağırlık değerini temsil eder. Bu işlem, her bir nöronun, nöron çıkışları bulununcaya kadar tekrar edilir. Sonuç olarak, çıkış değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E_i = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_{j=1}^i W_j^i S_j^a + \beta_j^a\right)}} \quad (3.3)$$

Burada, E_i , i'inci nöron çıkışıdır ve β_i , çıktı katmanının eşik değerini gösterir. Hesaplanan i'inci nöron çıkışı E_i ve olması gereken çıkış değeri O_i olmak üzere hata şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E_i = O_i - E_i \quad (3.4)$$

Çıkış katmanındaki toplam hata is şu şekilde hesaplanır:

$$Toplam(E) = \frac{1}{2} \sum (E_i)^2 \quad (3.5)$$

Toplam hata, katmanlardaki nöronlara dağıtılarak en aza indirilir. Herhangi bir zamanda (t) ara kat ile çıkış katmanı arasındaki ağırlık değişimi ΔW_{ji} şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta W_{ji}(t) = \eta \delta_i E_i + \alpha \Delta_{ji}(t - 1) \quad (3.6)$$

Burada, η öğrenme katsayısını ve α momentum katsayısını temsil etmektedir. Değişiklikler hesaplandıktan sonra, t zamanı için yeni ağırlık değerleri aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$W_{ji}(t) = W_{ji}(t - 1) + \Delta W_{ji}(t) \quad (3.7)$$

Bu işlem, ara kat ve giriş katmanı arasındaki ağırlık değerleri ve eşik ağırlık değerleri için tekrarlanmaktadır.

3.3.7.2 Levenberg-Marquardt (LM) Algoritması

Temel olarak LM algoritması Gauss-Newton ve Stepest-Descent yaklaşımlarının en iyi özelliklerinden oluşan ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldıran hibrit bir tekniktir (Sağıroğlu *et al.* 2003, Karasekreter and Fidan 2013). Yani hızlıdır ve yavaş yakınsama probleminden etkilenmemektedir. Genelde LM algoritması, doğrusal olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için kullanılmaktadır.

$E(w)$ 'nin bir amaç hata(error) fonksiyonu olduğu varsayılırsa m tane tane hata terimi için $e_i^2(w)$:

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (3.8)$$

Olarak ifade edilmektedir. Bu denklemde $e_i^2(w) = (y_i - yd_i)^2$ ve y_i çıkış değeri, yd_i istenen çıkış değeridir. Burada, amaç fonksiyonu " $f(.)$ " ve onun Jakobiye J 'sinin w noktasında bilindiği varsayılmaktadır. LM algoritmasında hedef parametre vektörü w 'nin, $E(w)$ minumun iken bulunmasıdır. LM'nin kullanılmasıyla yeni vektör w_{k+1} , varsayılan bir önceki ağırlık vektörü w_k 'dan

$$w_{k+1} = w_k + \delta w_k \quad (3.9)$$

olarak hesaplanmaktadır ve bu denklemdeki δw_k

$$\delta w_k = -(J_k^T f(w_k))(J_k^T J_k + \lambda I)^{-1} \quad (3.10)$$

olarak tanımlanmaktadır. Denklemde J_k , f 'in w_k değerlendirilmiş Jakobyeni, λ Marquardt parametresi ve I birim veya tanımlama matrisidir.

3.4 Uzak Sunucu Yazılımı

Geliştiren görüntü işleme yazılımı ile su numunelerinin görüntüsünden suyun pH değeri veya serbest klor miktarı tayin edilerek wi-fi ağı üzerinden uzak sunucuya ve son kullanıcıya iletilmektedir.

3.4.1 Web Sunucusu

Internet Information Services (IIS), web uygulamalarının çalışmasını ve web sayfalarının yayınlanmasını sağlayan, istemcilerden FTP ve HTTP üzerinden gelen istekleri karşılayan sunucu yazılımıdır. Yapılan sistemde kullanıcıları analiz sonuçlarını izleyebilmesi amacıyla web sitesi yapılmıştır. Yapılan web sitesi IIS üzerinden yayımlanmaktadır.

3.4.2 Web Yazılımı

Geliştirilen sistemde son kullanıcılar tarafından analiz sonuçlarının izlenebilmesi amacıyla web sitesi yapılmıştır. Web sitesi “Visual Studio 2017” ortamında “ASP.NET” dili kullanılarak geliştirilmiştir. Analiz sonuçları wi-fi ağı üzerinden yapılan web sitesine gönderilmektedir. Gönderme işlemi “HTTP Post” metodu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan web yazılımına gönderilen veriler “ACCESS” veri tabanına kaydedilmektedir.

Geliştirilen web sitesi temel olarak dört sayfadan oluşturulmaktadır. Resim 3.7’de gösterilen sayfa ile web sitesine sadece ilgili kişilerin girmesi amaçlanmıştır. Bu sayfada ilgili kutucuklara kullanıcı adı ve şifre girilerek ana sayfaya ulaşılmaktadır.

SU KALİTESİ İZLEME BİRİMİNE HOŞ GELDİNİZ.

KULLANICI ADI: SÜLEYMAN YAMAN

ŞİFRE:

GİRİŞ

Resim 3.7 Web sitesi giriş sayfası.

Resim 3.8’de gösterilen sayfada, cihazlardan gelen son veriler gösterilmektedir. Bu sayfada izlemek istenilen cihaz seçilerek, o cihazın ölçmüş olduğu son pH değeri ve serbest klor konsantrasyonu verinin geldiği tarih ve cihaz ismi ile kullanıcıya gösterilmektedir.

OTURUMU KAPAT

MENÜ

SON VERİLER
TÜM VERİLER
AYARLAR

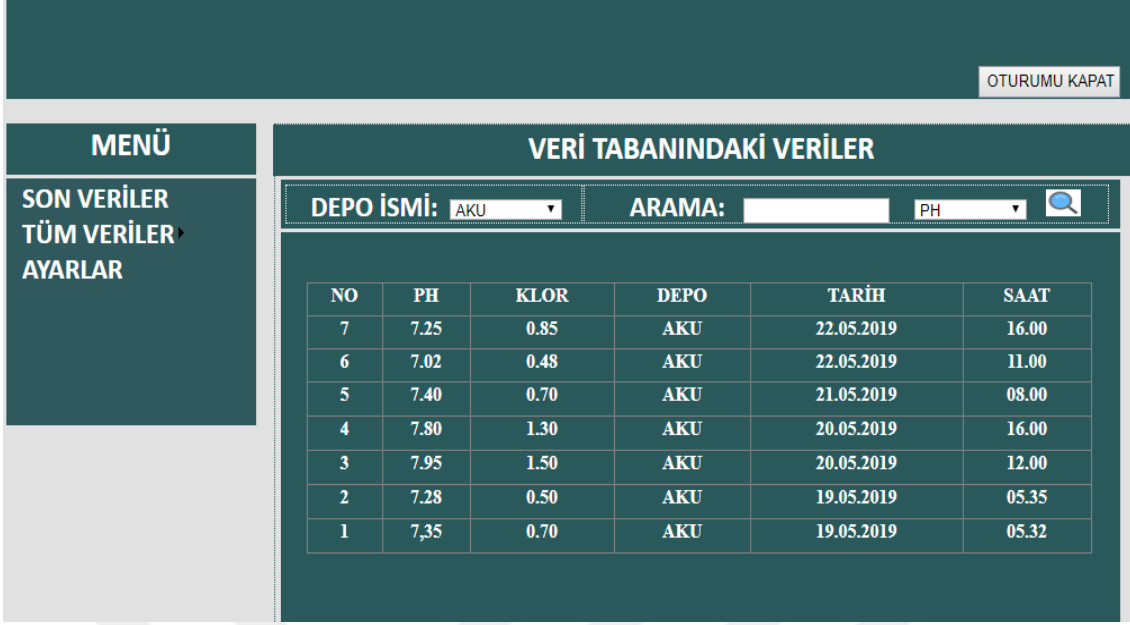
SON VERİLER

İZLENEN CİHAZ: AKU

PH DEĞERİ:	7.25
KLOR DEĞERİ:	0.85
CİHAZ İSMİ:	AKU
TARİH:	22.05.2019

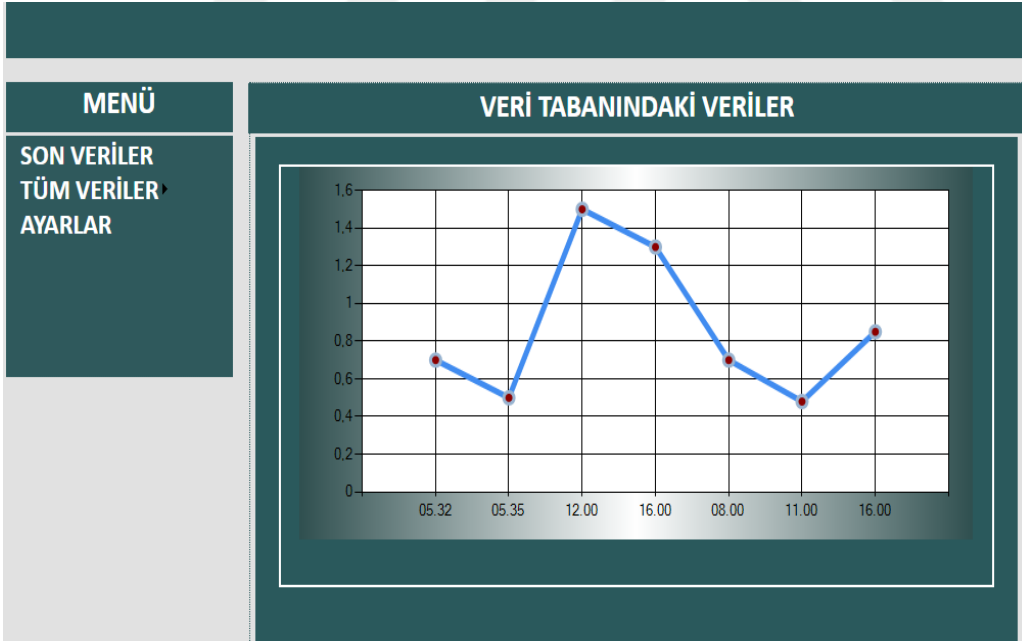
Resim 3.8 Cihazlardan gelen son veriler.

Resim 3.9’da gösterilen sayfada ise izlenen cihazlardan gelen bütün veriler kullanıcıya gösterilmektedir. Bu sayfada cihaz ismi seçilerek, o cihazdan gelmiş olan tüm veriler listelenmektedir. Ayrıca görmek istenilen veriler arama motoruna girilerek filtrelenmek ve kullanıcıya gösterilmektedir.



Resim 3.9 Cihazlardan gelen tüm veriler.

Son olarak Resim 3.10’da gösterilen sayfada, cihazlardan gelen tüm veriler çizgi grafiği formatında kullanıcılara gösterilmektedir.



Resim 3.10 Cihazlardan gelen verilerin grafiksel gösterimi.

4. BULGULAR

Geliştirilen sistemde suyun pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu, yakalanan görüntünün H, S, V değerlerinin YSA fonksiyonuna uygulanması ile tayin edilmektedir. YSA'nın eğitimi için Bölüm 3.3'te anlatılan pH değeri bilinen 255 adet su numunesi ve serbest klor konsantrasyonu bilinen 165 su numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin pH değeri ve serbest klor konsantrasyonu referans cihazlar ile belirlendikten sonra geliştirilen cihaza yerleştirilmiş H, S, V renk değerleri belirlenmiştir. PH değeri bilinen 255 su numunesinin, referans cihazdan ölçülen pH değerine karşılık, elde edilen H, S, V değerlerinin bir kısmı Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi elde edilen ölçüm sonuçlarına göre numunenin pH değerinin artması ile value renk kanalının değerinin pek değişmediği, hue ve saturation renk kanallarının değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 PH eğitim veri seti.

Hue	Saturation	Value	pH Değeri
29,6	51,3	192,3	6,63
29,2	50,7	192,5	6,72
22,3	42,8	191,8	7,05
17,15	34,9	191,9	7,25
11,9	33,9	191,4	7,34
10,46	29,5	190,4	7,48
162,3	35,6	189,5	7,59
164,24	47,9	188,4	7,95
156,7	53,5	188	8,2
152,7	72	187,3	8,53
150,7	83,3	190,1	9,01

Benzer şekilde hazırlanan serbest klor konsantrasyonu bilinen 165 su numunesinin referans cihazdan ölçülen serbest klor konsantrasyonuna karşılık, elde edilen H, S, V değerlerinin bir kısmı Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi elde edilen ölçüm sonuçlarına göre, numunenin serbest klor konsantrasyonunun artması ile value renk kanalının değerinin pek değişmediği, hue renk kanalının değerinin azaldığı,

hue renk kanalının değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir.

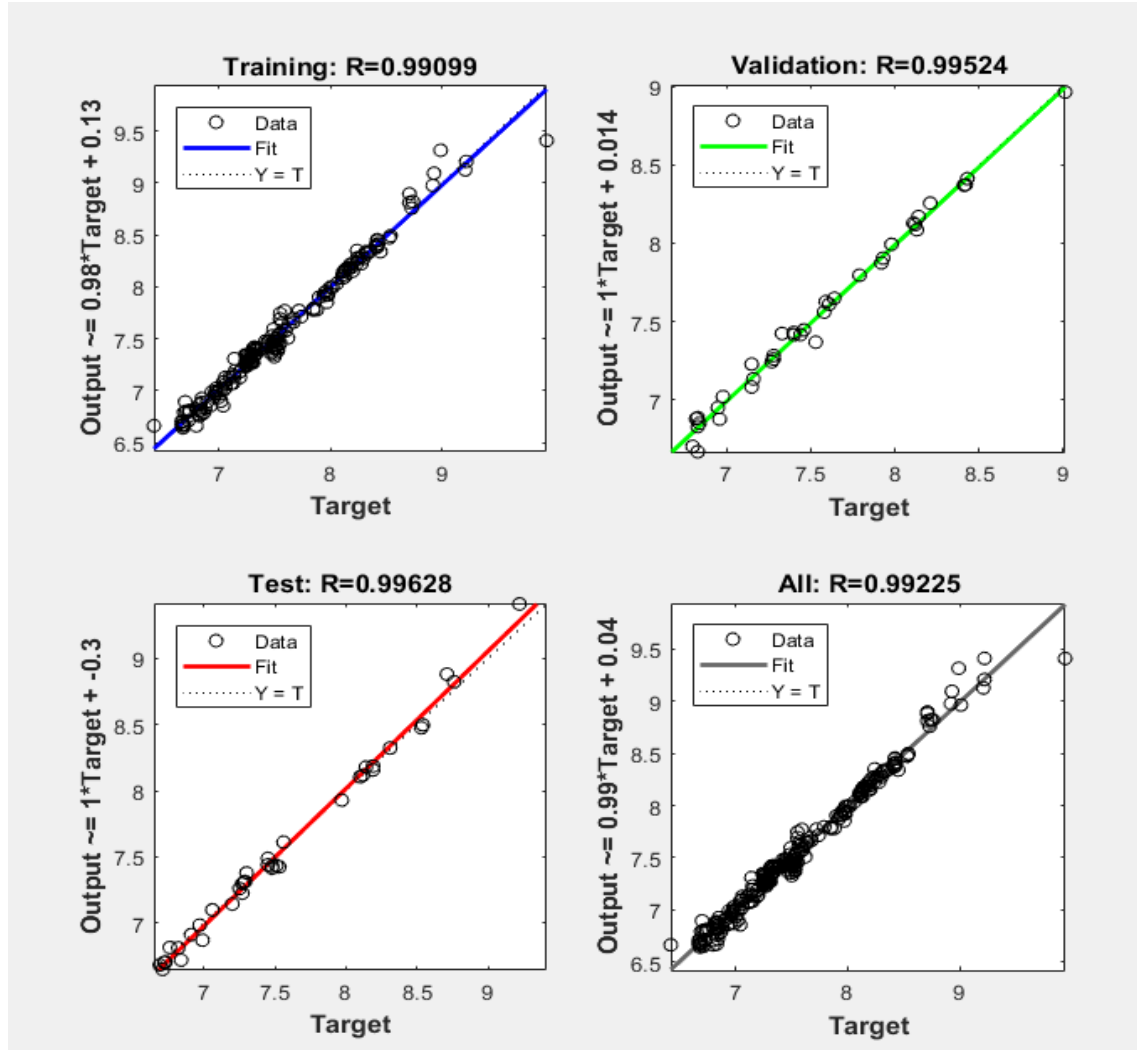
Çizelge 4.2 Serbest klor eğitim veri seti.

Hue	Saturation	Value	Serbest Klor Konsantrasyonu
31,3	44,9	193,7	0,23
31,19	111,7	196,5	0,50
31,3	192	196,3	0,66
30,95	166,5	196,3	0,92
30,92	181,2	196,3	1,2
30,94	186,7	196,3	1,36
30,91	192,24	196,24	1,44
29,32	199,4	191,9	1,80
30,35	199,9	194,5	2,01
26,6	202,6	192,9	2,5
23,3	199,8	194,4	2,84

YSA'nın eğitiminde ise üç nöronlu giriş katmanı, on nöronlu bir ara(gizli) katman ve bir nöronlu çıkış katmanı olan ağ modeli kullanılmıştır. Modellenen ağda; giriş parametresi olarak yakalanan görüntünün H, S, V renk değerleri, çıkış parametresi olarak ise serbest klor konsantrasyonu/pH değeri belirlenmiştir. YSA'nın eğitiminde hazırlanan veri setlerinde, değiştirilebilmekle beraber %70'i eğitim için %15' doğrulama için %15'i test için kullanılmıştır. Buna göre serbest klor eğitimi için hazırlanan su numunelerinden elde edilen 165 veriden; 110 tanesi eğitim, 23 tanesi doğrulama kalan 23 tanesi test için kullanılmıştır. Benzer şekilde pH eğitimi için hazırlanan 255 veriden 179 tanesi eğitim, 38 tanesi doğrulama ve kalan 38 tanesi de test için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen YSA eğitimleri sonucunda ağın ağırlık değerleri ile birlikte fonksiyon elde edilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen ağırlık değerleri pH ve serbest klor için kendine özgü olmakla birlikte, elde edilen fonksiyonların algoritmaları tamamen aynıdır.

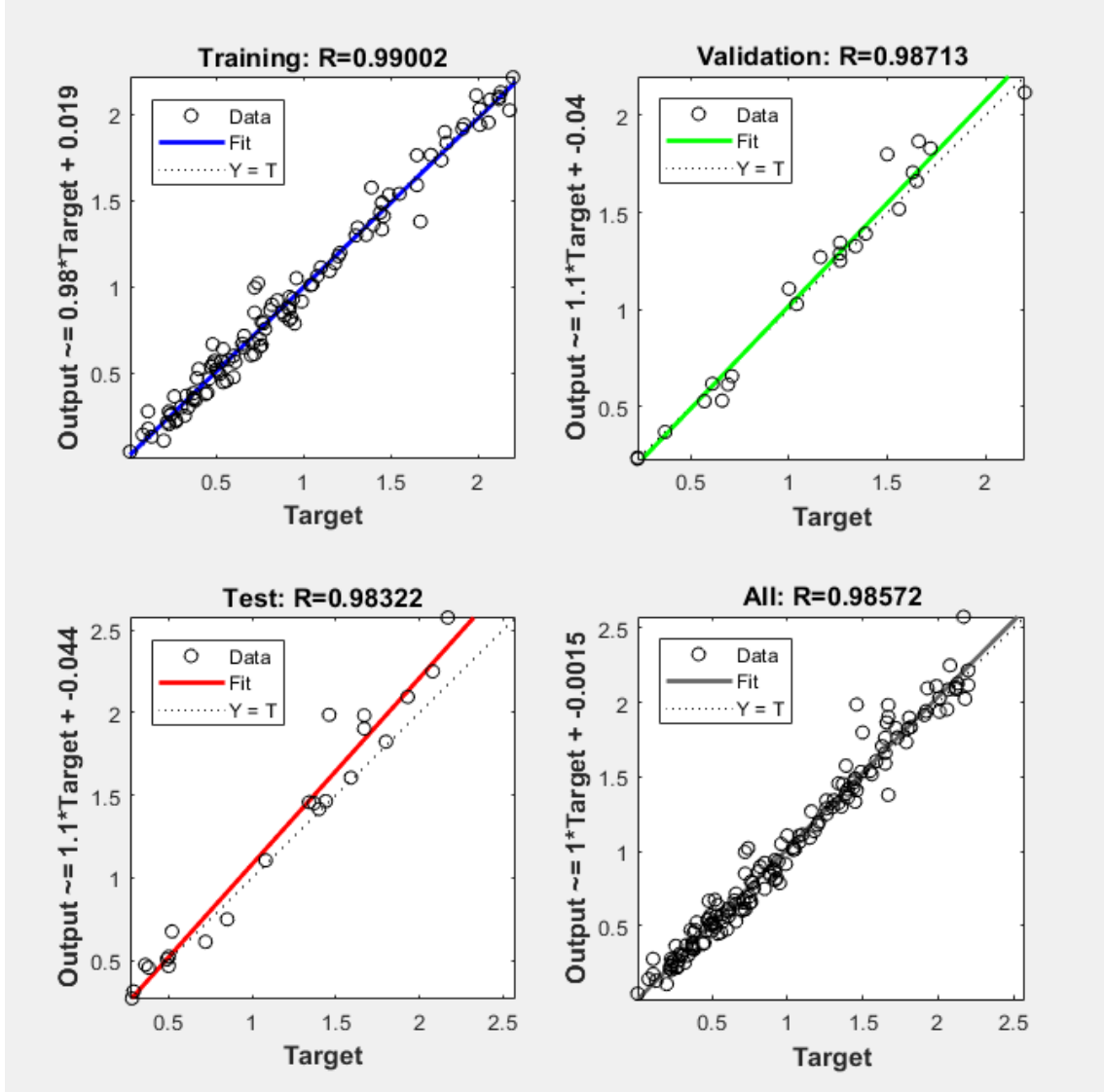
PH değeri tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları Resim 4.1'de gösterilmiştir. Resim 4.1'de gösterildiği gibi gerçekleştirilen eğitimin; öğrenme başarıları %99,1, doğrulama başarıları %99,5, test için ayrılan 38 verinin test başarıları %99,6 ve

eğitimin toplam başarısı %99,2'dir. Resim 4.1'de gösterilen grafiklerden anlaşıldığı gibi suyun pH değerinin tahmini amacıyla gerçekleştirilen eğitimin başarısı çok yüksektir.



Resim 4.1 PH değeri tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları.

Serbest klor konsantrasyonu tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları Resim 4.2'de gösterilmiştir. Resim 4.2'de gösterildiği gibi gerçekleştirilen eğitimin; öğrenme başarısı %99,1, doğrulama başarısı %99,5, test için ayrılan 23 verinin test başarısı %99,6 ve eğitimin toplam başarısı %99,2'dir. Resim 4.2'de gösterilen grafiklerden anlaşıldığı gibi suyun serbest klor konsantrasyonunun tahmini amacıyla gerçekleştirilen eğitimin başarısı yine çok yüksektir.



Resim 4.2 Serbest klor konsantrasyonu tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminin başarı oranları.

Suyun pH değerinin tahmin edilmesi amacıyla gerçekleştirilen YSA eğitimi sonucunda elde edilen ağırlık katsayıları Çizelge 4.3 'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 YSA'dan elde edilen pH değeri tahmini için ağırlık değerleri (Noktadan sonra üç hane).

Ağırlık İsmi	
X1_Xoffset	6.52, 3.1, 87.6
X1_Gain	0.011; 0.004; 0.0174
X1_Ymin	-1
B1	2.964; 2.442; -0.173; -7.296; -1.397; -2.778; 1.862; -0.274; -2.256; -2.364
IW1_1	-4.172 3.141 -2.885; -0.842 -2.869 -0.970; 2.788 3.415 -0.933; 7.929 -7.566 -1.992; -2.060 -2.516 -1.849; -0.920 -2.672 0.813; 1.218 -5.386 -4.587; 8.155 1.370 -0.944; -0.547 3.012 -0.509; -2.117 1.210 -2.654
B2	-1.198
LW2_1	-2.005, -0.459, -2.318, -4.021, 3.634, -2.509, -2.077, 3.983, 0.099, -1.693
Y1_Ymin	-1
Y1_Gain	0.568
Y1_Xoffset	6.42

Benzer şekilde serbest klor konsantrasyonu tahmini için gerçekleştirilen YSA eğitiminden elde edilen ağırlık katsayıları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 YSA’dan elde edilen serbest klor konsantrasyonu tahmini için ağırlık değerleri
(Noktadan sonra üç hane).

Ağırlık İsmi	
X1_Xoffset	26.6; 20.35; 186.8
X1_Gain	0.407;0.0107;0.164
X1_Ymin	-1
B1	-2.650; -2.442; -0.760; -1.661; -0.703; 1.137; 2.400; 1.395; -3.202; -2.859
IW1_1	- 1.537 2.960 -1.558;0.614 -0.659 -2.758;0.426 -2.875 -1.929; 1.829 -0.577 2.662; 2.466 -1.051 1.094; 1.386 1.768 -2.325; 0.671 2.154 -2.171; 0.292 -2.041 -2.461170440661374581; -0.844 3.354 0.757; -0.785 -3.197 0.165
B2	0.833
LW2_1	0.114 0.158 -0.135 -0.396 0.244 0.619 -1.490 -0.164 0.856 -0.732
Y1_Ymin	-1
Y1_Gain	0.911
Y1_Xoffset	0.007

Suyun serbest klor konsantrasyonunun ve pH değerinin tahmini amacıyla gerçekleştirilen YSA eğitiminden elde edilen fonksiyonların algoritması Şekil 4.1’de verilmiştir. Buna göre yakalanan su numunesi görüntüsünün H, S, V değerleri belirlendikten sonra bir matris içine alınarak “Giris” ismindeki değişkene atanmıştır. Daha sonra “Giris” değişkeni, YSA’dan elde edilen “X1_Xoffset, X1_Gain, X1_Ymin” katsayıları ile sırasıyla eleman elemana çıkarılmış, çarpılmış ve toplanmıştır. Devamında elde edilen sonuç “A” değişkenine atanarak “IW1” ile çarpılmış ardından “B1” katsayı ile toplanarak işlemin sonucu aktivasyon fonksiyonuna uygulanmıştır. Aktivasyon fonksiyonundan elde edilen değer “K” değişkenine atanarak “LW2” katsayısı ile çarpılmış ve “B2” katsayısı ile toplanmıştır. Son olarak elde edilen değer “N” değişkenine atanarak, “Y1_Ymin, Y1_Gain, Y1_Xoffset” katsayıları ile sırasıyla eleman elemana, çıkarılmış, bölünmüş, toplanmış ve pH değeri veya serbest klor konsantrasyonu tayin edilmiştir.

1. $Giris = [hue, saturation, value];$

2. $X = Giris . - X1_Xoffset;$

3. $Y = X .* X1_Gain;$

4. $A = Y . + X1_Ymin;$

5. $M = B1 + IW1_1 * A;$

6. $K = 2 ./ (1 + e^{(-2*M)}) - 1$

7. $N = B2 + LW2 * K;$

8. $S = N . - Y1_Ymin;$

9. $E = S ./ Y1_Gain$

10. $Cikis = E + Y1_Xoffset$

Şekil 4.1 YSA çıkışından elde edilen fonksiyonun algoritması.

YSA'nın eğitiminden sonra serbest klor konsantrasyonu ve pH tahmini için elde edilen fonksiyon kendi ağırlıkları ile birlikte görüntü işleme yazılımına entegre edilmiştir. Önerilen sistemin doğruluğunu test etmek için eğitim seti verilerinin dışında farklı pH değerlerine ve serbest klor konsantrasyonlarına sahip su numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ajan damlatılarak oluşan rengin H, S, V renk kanallarının değerleri ve o renge karşılık görüntü işleme yazılımından elde edilen pH ve klor değerleri alınmıştır. Buna göre elde edilen veriler referans cihazlardan elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 Eğitim seti dışında farklı pH değerlerinde hazırlanan numunelerden elde edilen pH ölçümleri.

Hue	Saturation	Value	Referans Cihaz	Sistem
154	75,4	187,2	8,43	8,41
154,2	79,2	185,9	8,41	8,38
153,6	77,2	186,9	8,42	8,44
154,2	76,8	185,2	8,41	8,36
153,8	79,4	187,6	8,42	8,45
153,9	81,2	186,1	8,43	8,41
10,7	37,6	191,1	7,44	7,42
9,1	29,1	189,7	7,44	7,41
9,4	34,8	190,7	7,45	7,43
8,9	35,4	191,1	7,46	7,44
6,5	35,6	191,2	7,45	7,48
6,5	35,1	192,2	7,44	7,47
8,2	34,5	192,1	7,48	7,42
8,8	32,4	191,1	7,48	7,41
174,8	33,2	189,4	7,60	7,57
11,5	32,9	191,2	7,53	7,36
28,9	52,6	192,2	6,80	6,70
28,6	48,1	191,8	6,82	6,81
28,7	46,9	192,1	6,82	6,80
28,2	52,3	192,5	6,84	6,71
28,5	55,3	192,6	6,83	6,67
27,3	45,5	191,6	6,91	6,91
26,6	48,1	192,2	6,93	6,85
26,3	49,7	191,9	6,96	6,87
25,4	48,8	192,7	6,99	6,86
24,8	48,4	192,7	7,02	6,89
21,6	42,8	191,4	7,14	7,13
20,3	42,9	192,1	7,16	7,13

Çizelge 4.6 Eğitim seti dışında farklı serbest klor konsantrasyonlarında hazırlanan numunelerden elde edilen serbest klor konsantrasyonu ölçümleri.

Hue	Saturation	Value	Referans Cihaz	Sistem
31,2	111,1	195,9	0,5	0,52
31,2	109,6	196,1	0,51	0,51
31,2	83,8	195,2	0,33	0,37
30,9	86,2	195,8	0,37	0,37
31,2	81,9	195,4	0,37	0,36
31,1	99,8	196,2	0,54	0,45
31,1	53,8	194,3	0,32	0,25
31,1	54,6	193,7	0,3	0,30
30,9	52,8	193,7	0,29	0,31
31,3	112,5	196,3	0,66	0,53
31,1	126,2	196,1	0,61	0,62
31,2	123,8	196,1	0,6	0,60
31,1	121,6	196,6	0,57	0,58
30,9	162,5	196,6	0,91	0,88
31,1	165,5	196,2	0,94	0,93
30,9	166,5	196,3	0,92	0,94
30,9	181,2	196,3	1,20	1,18
30,9	178,2	196,7	1,15	1,09
30,9	186,7	196,3	1,36	1,30
30,9	188,9	195,7	1,39	1,39
30,9	192,3	196,2	1,44	1,46
30,8	192,8	196,1	1,45	1,49
30,8	194,5	195,5	1,65	1,59
30,9	195,4	195,5	1,59	1,61
29,9	195,1	195,5	1,65	1,66
28,9	196,2	192,1	1,82	1,84
30,2	198,3	194,9	1,91	1,92
30,2	203,8	194,3	1,99	2,11

Referans cihazdan ve yapılan sistemden elden edilen ölçüm sonuçları arasında korelasyon analizi yapılmış ve serbest klor konsantrasyonu için 0,993894, pH değeri için 0,996369 bulunmuştur.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında içme ve kullanma sularındaki pH ve serbest klor parametrelerini ölçen, insan gözünün seçiciliğinden kaynaklanan hataları en aza indiren, portatif, yüksek doğrulukta bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Serbest klor ve pH parametrelerini yerinde, hızlı, güvenilir bir şekilde ölçülmesini amaçlamayan bu sistem sayesinde insan gözünün seçiciliğinden, analizi yapan personelden, numunenin alınmasından analizine kadar geçen süreden dolayı oluşabilecek hataların, aksaklıkların ve yanlışların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen sistem, suya ajan damlatılması ile oluşan rengin görüntü işleme teknikleri ve YSA ile analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu amaçla iki ayrı YSA eğitimi gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen her iki eğitiminde toplam %92 başarı oranına sahip olduğu görülmüştür. Her iki eğitiminde yüksek başarı oranına sahip olması önerilen ağ modelinin ve ağa giriş olarak verilen parametrelerin seçiminin ne kadar doğru olduğunu gözler önüne sermektedir. Bunun yanında geliştirilen sistemin pH değeri ölçüm doğruluğunun hesaplanması için 6,50 ile 8,50 aralığında farklı pH değerlerine sahip 28 su numunesi hazırlanmıştır. Farklı pH değerlerine sahip 28 su numunesi sırasıyla referans cihaz ve geliştirilen sistem ile ayrı ayrı ölçülmüştür. Referans cihaz ve geliştirilen sistemden elde edilen ölçüm sonuçları arasında korelasyon analizi yapılmış ve sonuçlara göre geliştirilen sistemin pH değeri tayininin %99,64 doğrulukta olduğu görülmüştür. Benzer şekilde geliştirilen sistemin serbest klor konsantrasyonu ölçüm doğruluğunun hesaplanması için 0,20 ile 2,10 aralığında farklı serbest klor konsantrasyonlarına sahip 28 su numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler referans cihaz ve geliştirilen sistem ile ayrı ayrı ölçülmüştür. Referans cihazdan ve geliştirilen sistemden elde edilen ölçüm sonuçlarına göre sistemin serbest klor konsantrasyonu tayininin %99,39 doğrulukta olduğu görülmüştür. Geliştirilen sistemden elde edilen ölçüm sonuçlarına göre önerilen yöntemin içme sularında, yüzme havuzlarında, kuyu sularında, aquaparklarda, serbest klor konsantrasyonu ve pH değeri tayininde kullanılabileceği görülmüştür.

Ayrıca geliştirilen sistemin portatif olması, kullanımının ve uygulamasının basit olması, uzman bir kişi gerektirmemesi, özellikle kırsal alanlarda su kalitesinin belirlenmesine ve sürekli kontrolüne imkân vermektedir. Bunun yanında suyun analizinin yerinde yapılabilmesi ve sonuçların uzak bir sunucuya ve son kullanıcıya iletilebilmesi yetkili

kişilerce yapılması gereken suyun izlenmesi ve kontrolünü kolaylaştırmakta ve numune toplama, işleme taşıma gibi işlemler gerektirmemektedir. Ayrıca su numunesinin analizi için laboratuvar ortamında götürülmesine kadar geçen süreden dolayı kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılmaktadır.

Çalışmanın literatürdeki yeri incelendiğinde ise yapılan akademik çalışmalarla benzer ve farklı yönleri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Saraji and Bagheri (2018) siyanürün tespitine yönelik önerdikleri yöntemde, kâğıt üzerinde oluşan kırmızı-mavi renk dijital tarayıcı ile taranarak dijital hale getirilerek analiz edilmekte ve siyanür bu yöntemle tespit edilmektedir. Fakat önerilen yöntem portatif ve sahada hızlı kullanıma uygun değildir. Ayrıca önerilen yöntem sadece siyanürün ölçümüne yöneliktir.
- Uma vd. (2018) sulardaki cıva (Hg^{+2}) iyonunun ölçülmesine yönelik kolorimetrik tabanlı sistem önermiştir. Önerilen sistemde suyun cıva iyonu konsantrasyonuna göre oluşan renk değeri benzer şekilde kamera ile algılanmıştır. Fakat alınan görüntünün analizi HSV renk uzayında değil RGB renk uzayında yapılmıştır. Ayrıca kırsal alan için önerilen sistemde, ölçüm sonuçlarının uzak bir sunucuya iletilerek uzman ve yetkili kişilerce takibi yönelik bir sistem geliştirilmemiştir.
- Damirchi and Heidari (2017) insan sağlığına son derece zararlı olan sulardaki As(III)'ün konsantrasyonunun tespitine yönelik bir sistem önermişlerdir. Önerilen sistem benzer şekilde ilave edilen ajanın su ile reaksiyonu neticesinde oluşan rengin analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Fakat su numunelerinde oluşan renk sisteme dahil edilmiş bir ile değil harici bir fotoğraf kamera ile fotoğraflanıp, RGB renk uzayında analiz edilmektedir. Önerilen yöntem laboratuvar ortamında kullanım için uygun olup sahada kullanım için uygun değildir ve sadece sulardaki As(III) konsantrasyonunun tespitine yöneliktir.
- Firdaus vd. (2014) sulardaki Cr (VI) ve Fe (III) iyonlarının belirlenmesine yönelik kolorimetrik görüntü işleme tabanlı sistem önermişlerdir. Önerilen sistem benzer şekilde, su numunelerine reaktif ilave edilmesi ve reaksiyon neticesi oluşan rengin

kamera ile algılanması, analiz edilmesi şeklindedir. Farklı olarak sistem dahilinde olan bir kamera ile değil harici bir kamera ile numunenin fotoğrafı çekilmekte ve RGB renk uzayında analizi gerçekleştirilmektedir. Fakat bu analiz numunenin fotoğrafının çekilmesi ve bilgisayara aktarılması şeklindedir dolayısıyla yöntem ergonomik değildir. Ayrıca farklı olarak görüntülerin renk değerlerinin analizinde sırasıyla Basit Doğrusal Regresyon ve Kısmi En Küçük Kareler temeline dayanan fonksiyonlar kullanılmıştır.

- Molinero vd. (2013) su sertliğinin ana bileşeninden biri olan kalsiyumun (Ca) hızlı ve nicel tayini için dijital görüntüye dayalı kolorimetrik bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem benzer şekilde suya ajan ilave edilmesi ile oluşan rengin analiz edilmesine dayanmaktadır. Fakat görüntünün eldesi yine harici bir kamera ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca analizde yakalan görüntünün analizinde RGB renk uzayı kullanılmaktadır. Analizde kullanılan yöntem benzer şekilde YSA eğitilmesi ve elde edilen fonksiyonunun uygulanması şeklindedir.

Suyun analizine yönelik, kolorimetrik görüntü işleme tabanlı yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde; çalışmaların genelde kâğıt üzerinde ya da su numunesinde oluşan rengin, dijital tarayıcı ya da harici bir kamera ile fotoğrafının çekilmesi ve analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Önerilen yöntemlerin ve sistemlerin portatif olmaması, genelde laboratuvar ortamında kullanıma uygun olması, uygulamasının zahmetli olması ve uzman bir kişi gerektirmesi ve de sadece bir kimyasal parametrenin tespitine yönelik olması bu yöntem ve sistemlerin dezavantajları arasında yer almaktadır. Yapılan bu çalışma sayesinde literatürdeki bu eksikliklerin giderilmesi ve bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutması düşünülmektedir. Bunun yanında literatür incelendiğinde su numunelerinde kolorimetrik, görüntü işleme ve YSA tabanlı olarak suyun pH değerini veya serbest klor konsantrasyonunu tayin eden bir sistem veya yöntem bulunmamaktadır. Bu durum çalışmanın özgünlüğünü ve bu konudaki eksikliği gözler önüne sermektedir. İleride yapılması planlanan çalışmalarda sisteme arsenik, siyanür, su sertliği vb. gibi diğer kimyasal su kalitesi parametrelerinin de eklenmesi düşünülmektedir. Ayrıca suyun analizinde; RGB, CMYK gibi diğer renk uzaylarının ve çeşitli görüntü işleme ve analiz tekniklerinin araştırılması hedeflenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Chung, W.-Y., and Yoo, J.-H. (2015). Remote water quality monitoring in wide area. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **217**: 51-57.
- Damirchi, S., & Heidari, T. (2018). Evaluation of digital camera as a portable colorimetric sensor for low-cost determination of inorganic arsenic (III) in industrial wastewaters by chemical hydride generation assisted-Fe(III) – 1, 10-phenanthroline as a green color agent. *Journal of the Iranian Chemical Society*, **15**: 2549-2557.
- Doğanay, E. (2014) AB Su Çerçeve Direktifine Göre Ülkemiz Sularının Fizikokimyasal Ve Kimyasal Parametreler Açısından İzlenebilmesi İçin Kullanılabilecek Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara
- Fidan, U., Karasekreter, N. and Başçiftçi, F. (2017). Application of Chlorine Monitoring System based on Internet of Things (IoT). International Advanced Researches And Engineering Congress, Osmaniye, 16-18 November.
- Firdaus, M. L., Alwi, W., Trinoveldi, F., Rahayu, I., Rahmidar, L., & Warsito, K. (2014). Determination of Chromium and Iron Using Digital Image-based Colorimetry. *Procedia Environmental Sciences*, **20**: 298-304.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. (2010). Digital Image Processing, Third Edition. Pearson International Edition, New Jersey, USA.
- Gray, N.F. (2014). Microbiology of Waterborne Diseases. Chapter Thirty One. Free and Combined Chlorine. (2nd edition). 571-590.
- Güler, Ç. (1997). Su Kalitesi. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, T.C. Sağlık Bakanlığı.
- Hasde, M., Oğur, R., Tekbaş, Ö.F. (2004). Klorlama Rehberi. Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Ankara.

- Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines*, Third Edition. Pearson International Edition, New Jersey, USA.
- Huangfu, C., Zhang, Y., Jang, M., & Feng, L. (2019). A μ PAD for simultaneous monitoring of Cu^{2+} , Fe^{2+} and free chlorine in drinking water. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, **293**: 350-356.
- Karaman, S., Gökalp, Z. (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, **1**: 59-66.
- Karasekreter, N., & Fidan, U. (2013). Developing agricultural irrigation technology compatible with national energy efficiency policy. In 2013 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, IEEE INISTA 2013.
- Kearns, J. K., & Edson, C. B. (2018). Expanding Quantification of Arsenic in Water to 0 Mg L^{-1} with a Field Test Kit: Substituting 0.4% M/V Silver Nitrate as the Colorimetric Reagent; Employing Digital Image Analysis. *Water, Air, and Soil Pollution*, **229**: 75.
- Lopez-Molinero, A., Cubero, V. T., Irigoyen, R. D., & Piazzuelo, D. S. (2013). Feasibility of digital image colorimetry - Application for water calcium hardness determination. *Talanta*, **103**: 236-244.
- O'Flaherty, E., Borrego, C. M., Balcázar, J. L., and Cummins, E. (2018). Human exposure assessment to antibiotic-resistant *Escherichia coli* through drinking water. *Science of The Total Environment*, **616**: 1356-1364.
- Oğuz, T.C. (2015). İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara
- Peng, B., Shen, Y., Gao, Z., Zhou, M., Ma, Y., & Zhao, S. (2015). Determination of total iron in water and foods by dispersive liquid-liquid microextraction coupled with microvolume UV-vis spectrophotometry. *Food Chemistry*, **176**: 288-93.

- Petrou, M., & Petrou, C. (2016). Image Processing: The Fundamentals, Second Edition. Wiley, United Kingdom.
- Poornima, V., Alexandar, V., Iswariya, S., Dhivya Parameshwari, A., Muthukumar, R., & Uma, T. S. (2018). Digital image based simple scanometric device for the express detection of aqueous contamination of Hg²⁺. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, **274**: 472-480.
- Ranjbar, R., and Abdalla, A. H. (2017). Development of an autonomous remote access water quality monitoring system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **8**: 467-474.
- Resmi Gazete, 2013. T.C. Sağlık Bakanlığı, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı:28580, Ankara.
- Resmi Gazete, 2011. T.C. Sağlık Bakanlığı, Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı:27866, Ankara.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M. (2003). Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları – I Yapay Sinir Ağları. Kayseri.
- Saputro, S., Takehara, K., Yoshimura, K., Matsuoka, S., & Narsito. (2010). Differential pulse voltammetric determination of free chlorine for water disinfection process. *Electroanalysis*, **22**: 2765-2768.
- Saraji, M., & Bagheri, N. (2018). Paper-based headspace extraction combined with digital image analysis for trace determination of cyanide in water samples. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, **270**: 28-34.
- Sheng, J., Weixing, W., Jieping, Y. and Zhongqiang, H. (2018). Design a WSN system for monitoring the safety of drinking water quality. IFAC-PapersOnLine.
- Tomei, M. R., Arduini, F., Neagu, D., & Moscone, D. (2018). Carbon black-based disposable sensor for an on-site detection of free chlorine in swimming pool water. *Talanta*, **189**: 262-267.

Xu, J., Feng, K., & Weck, M. (2011). Free chlorine sensing using an interferometric sensor. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, **156**: 812-819.

World Health Organization-WHO. (2017). Guidelines for Drinking Water Quality. 4th edn. Geneva: World Health Organization.

Yakoh, A., Rattanarat, P., Siangproh, W., & Chailapakul, O. (2018). Simple and selective paper-based colorimetric sensor for determination of chloride ion in environmental samples using label-free silver nanoprisms. *Talanta*, **178**: 134-140.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.who.int/news-room/headlines/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>, 01.05.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Süleyman Yaman
Doğum Yeri ve Tarihi : Eğirdir 1996
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) :05415941071 / lisanitabi.32@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aksu Fen Lisesi, (2009-2013)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Biyomedikal
Mühendisliği Bölümü, (2013-2017)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim
Dalı, (2017-2019)