International Integrated Pollution Prevention
and
Control Symposium
1-3 April 2021, Karabük

Kablosuz Algılayıcı Ağları Yöntemi ile Su Parametrelerini İzleyen Veri Toplama Sistemleri

Hüseyin DURAN[*], Fırat YÜCEL[#]

[*]*Akdeniz Üniversitesi, Elmalı MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, 07700 Elmalı/ANTALYA*
huseyinduran@akdeniz.edu.tr
[#]*Akdeniz Üniversitesi, Enformatik Bölüm Başkanlığı, 07070 Kampus/ANTALYA*
fyucel@akdeniz.edu.tr

***Özet*— Dünya genelinde temiz su kaynakları her geçen gün azalırken, temiz suya olan gereksinim giderek artmaktadır. Temiz ve güvenilir su kaynakları, tarım, sanayi, doğa ve yaşam için hayati öneme sahiptir. Fabrika atıkları, tarımda ilaç kullanımı, iklim değişikliği, artan insan nüfusu gibi nedenlerden ötürü temiz suya erişim giderek zorlaşmaktadır. Su kaynaklarını korumak, gelecekte yaşanabilecek temiz su kıtlığının önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle deniz, akarsu, göl, kaynak suları gibi tüm kaynakların su kalitelerinin izlenmesi önem kazanmıştır. Mevcut durumda, sular, analiz edilecek ortamdan belirli numunelerle laboratuvar ortamına taşınmakta ve gerekli analizler burada yapılarak su kalitesi belirlenmektedir. Ancak, bu yöntemde yaşanan zaman kayı+pları, aksaklıklar ve anlık bilgi alamama durumu, ayrıca erişimi zor olan hatta insan hayatı için tehlike oluşturacak noktalardaki sulara erişimde yaşanan zorluklar nedeniyle, bu kaynaklardaki suların analizi her zaman mümkün olmayabilir. Su parametrelerinin izlenmesi için tasarlanacak kablosuz algılayıcı ağları (KAA) yönteminin yaşanan bu aksaklıkların giderilebilmesi açısından uygun bir alternatif olacağı öngörülmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte su parametrelerinin izlenmesi amacıyla kullanılan algılayıcılar, mikrodenetleyiciler ve kablosuz iletişim aygıtları giderek daha küçük boyutlu, hızlı ve ekonomik hale gelmektedir. Bu çalışmada, su parametrelerinin izlenmesinde kullanılan KAA ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda kullanılan algılayıcılar, mikrodenetleyiciler, kablosuz iletişim teknolojileri, enerji ve arayüz yazılımlarının özelliklerine değinilmiş ve kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.**

Anahtar Kelimeler*— *Kablosuz Algılayıcı Ağları, su parametrelerinin izlenmesi, gerçek zamanlı, uzaktan algılama.

***Abstract*— While clean water resources are decreasing day by day, the requirements for clean water is increasing. Clean and reliable water resources are vital for agriculture, industry, nature and life. Accessing to the clean water is becoming increasingly difficult due to factory waste, pharmaceutical use in agriculture, climate change and increasing human population. Protecting water resources will prevent shortages of clean water in the future. For this reason, monitoring of water quality of all sources such as sea, river, lake and spring water has gained importance. Currently, water is transported with certain samples from the environment to be analyzed to the laboratory and the necessary analyzes are performed to determine the water quality. However, due to time losses, failures and inability to obtain instant information, as well as difficulties in accessing waters that are difficult to access or even dangerous to human life, the analysis of these resources cannot be possible all times. It is envisaged that the method of wireless sensor networks (WSN), which will be designed for monitoring water parameters, is an appropriate alternative to eliminate these problems. Because of developing technology, sensors, microcontrollers and wireless communication devices used to monitor water parameters are becoming smaller, faster and more economical. In this paper, the studies used to monitor water parameters, which are related to WSN, are investigated. Additionally, the features of sensors, microcontrollers, wireless communication technologies, energy and used software interface in the studies are mentioned and the used methods are described.**

Keywords*— *Wireless Sensor Networks, water parameters monitoring, real-time, remote sensing.

I. GİRİŞ

En önemli kaynaklarımızdan birisi olan su, sadece insanlar için değil, diğer canlılar için de hayati bir unsurdur. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili ve yeraltı su kaynakları bakımından zengindir. Bununla birlikte; farklı özelliklere sahip birçok göl ve akarsu bulunmaktadır. Bu su kaynakları; fabrika, liman ve insan atıkları nedeni ile zamanla kirlenmektedir. Yaşanan bu çevresel sorunla ilgili toplumu bilinçlendirmek için yapılan etkinlik ve faaliyetler her ne kadar önemli bir katkı sağlasa da yetersiz kalmaktadır. Bütün bunlara ek olarak su kaynaklarının gerekli denetim ve kontrolleri de belirli aralıklarla yapılmaktadır. Yapılan denetimler, belirli alanlardan alınan su numunelerinin laboratuvar ortamında analiz edilmesine dayanır. Bu yöntem, gerek maliyet gerek zaman anlamında dezavantajlara sahiptir [1]. Dolayısıyla bu makalede, geleneksel yöntemlere alternatif olarak, kablosuz yöntemlerle tatlı su ve deniz suyu parametrelerini incelemek için tasarlanan veri toplama sistemleri ele alınmaktadır.

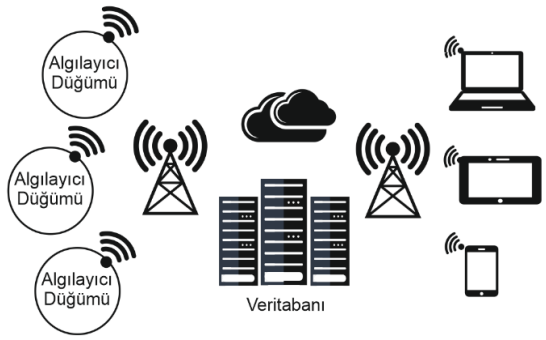
Bu makalede, giriş bölümünü takiben, kablosuz algılayıcı ağlarının genel yapısına değinilmiştir. Sonraki bölümlerde sırasıyla, algılayıcılar, veri toplama ve işleme birimi, kablosuz iletişim teknolojileri, arayüz yazılımı ve enerji yönetimi başlıkları altında, kablosuz algılayıcı ağlarının özellikleri incelenmiştir. Son olarak tartışma ve sonuçlara yer verilmiştir.

II. Kablosuz Su Parametrelerini İzleme Sistemleri

A. *Kablosuz Algılayıcı Ağları*

Farklı noktalarda sıcaklık, nem, bulanıklık, basınç, ses vb. fiziksel ya da çevresel koşulları izlemek için algılayıcı kullanılan ve birbirlerinden bağımsız çalışan ağlara kablosuz algılayıcı ağları (KAA) denilmektedir. Algılayıcı donanımlarındaki ve kablosuz sistemlerdeki gelişmeler düşük maliyetli, düşük güç tüketimli ve minyatür yapıların oluşturulmasını sağlamıştır. KAA; güvenilirlik, doğruluk, esneklik, maliyet verimliliği ve kurulum kolaylığı [2] gibi avantajların yanı sıra insan yaşamına tehdit oluşturan noktalarda da kullanabilme ve o noktalardan veri alabilme imkânı sağlamaktadır. KAA, birbirlerinden uzakta birçok düğüm içerebilir. Düğümlere bağlı olan algılayıcılardan alınan verilerin tek bir noktada toplanabilmesi ve değerlendirilmesine imkân sağlarlar. Bir düğümde oluşan sorun her ne kadar bulunduğu noktadaki veri akışını durdursa da diğer noktalardan gelen veriler sayesinde sistem kabul edilebilir derecede bilgi üretmeye devam edecektir. Sistemde kullanılan düğüm sayısı, bilginin doğruluğuna ve alınan sonuçların gerçeğe yakınlığına etki edeceğinden, istatistiksel açıdan ne kadar çok düğüm kullanılırsa doğru bilgiye o kadar yaklaşılacaktır. Buna karşılık, çok fazla düğüm kullanımında, düğümler arası iletişim ağını oluşturmak da zor ve zahmetli olacaktır.

Şekil 1'de gösterildiği gibi KAA'da her bir düğümden gelen veriler merkez bir konuma aktarılır. Aktarılan bilgiler merkez konumdaki veri tabanında saklanır. Veri tabanına aktarılan bilgiler arayüz yazılımları ile yetkili kullanıcılara iletilir.

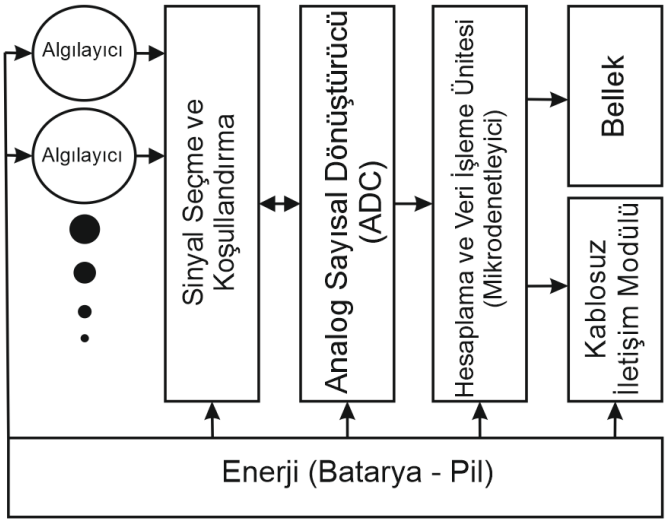


Şekil 1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Şeması

KAA, algılayıcılardan elde edilen sinyalleri işleyebilen ve merkezi bir düğüme iletebilen, farklı konumlardaki algılayıcı düğümlerinden oluşur. Tipik bir algılayıcı düğümü blok şeması, Şekil 2'de gösterilmiştir.

A. *Algılayıcı Düğümleri*

Bir algılayıcı düğümü, temel olarak Şekil 1'de verilen birimlerden oluşur. Bu birimleri algılayıcılardan gelen sinyalleri dönüştüren yapılar (sinyal seçme ve koşullandırma), analog/sayısal dönüştürücü (analog/digital converter, ADC), hesaplama veya veri işleme ünitesi (mikrodenetleyici birimi), kablosuz iletişim modülü ve bellek birimi olarak bölümlendirebiliriz. Algılayıcılardan elde edilen analog veriler, ADC kullanılarak dijital verilere dönüştürülür.



Şekil 2 Tipik bir algılayıcı düğümü

Mikrodenetleyici birimi algılayıcılardan gelen verileri işler. Ardından, işlenen veriler kablosuz iletişim modülü tarafından ağ üzerinden merkez noktaya iletilir. Algılayıcı düğümleri, genellikle, tipik bir gerçek zamanlı işletim sistemi altında çalışır. Mikrodenetleyici birimi, ayrıca, verileri algılayıcı ağı üzerinden etkin bir şekilde yönlendirmek için bir protokol yığını içerir [3].

Algılayıcı düğümleri kullanılarak yapılan bir çalışmada [4], üç düğüm oluşturulmuş ve her bir düğümünde tek bir algılayıcı kullanılmış olup, algılayıcıdan gelen sinyaller mikrodenetleyicide işlenerek merkez düğüme aktarılmıştır. Başka bir çalışmada [5] ise tek düğümde üç adet algılayıcı kullanılmıştır. Kablosuz iletişim modülü olarak ise her iki çalışmada ZigBee kullanmıştır.

B. *Kablosuz İletişim Teknolojileri*

Kablosuz iletişim amacıyla günümüzde farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim yöntemlerinde kullanılan teknolojilerde, Tablo 1'de gösterildiği gibi, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, GSM, WiMAX ve GPRS öne çıkmaktadır [6].

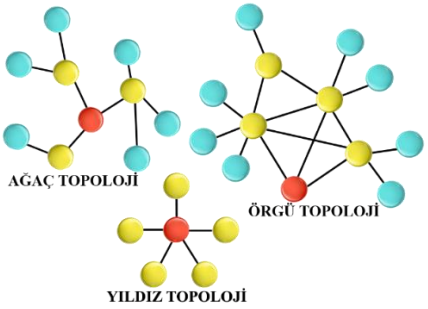
Wi-Fi olarak bilinen 802.11 standardı, IEEE tarafından kablosuz yerel ağlar için geliştirilmiş iletişim standardıdır [7]. Bluetooth, kablosuz kişisel alan ağları için, farklı aygıtlar arasında ses ve veri iletimini sağlayan bir yapıdır. GSM; mobil telefon ve dijital teknoloji iletişimini içeren standart bir teknolojidir. WiMAX teknolojisi ise radyo dalgalarını kullanarak daha geniş alanlarda hizmet vermek için diğer kablosuz teknolojileri de ortak bir noktada oluşturabilecek bir yapıdır. ZigBee teknolojisi, IEEE 802.15.4 altyapısına dayalı, daha az güç tüketimli üst düzey kablosuz iletişim protokolüdür [6].

Kablosuz su parametrelerini izleme sistemlerinde (KSPİS) daha az güç tüketimi nedeni ile diğer kablosuz iletişim teknolojilerine karşın ZigBee teknolojisinin daha çok tercih edildiği görülmektedir [4, 5, 8-23]. Bu sistemlerde ağdaki tüm algılayıcı düğümleri, ZigBee ile çalışır. Ayrıca, belirli bir alanı izlemek için ağda çalışan tüm algılayıcı düğümleri yerine, dönüşümlü olarak yalnızca bir algılayıcı düğümünü seçen düşük güç tüketim mekanizması tasarlanmıştır [13].

TABLO I
KABLOSUZ İLETIŞIM TEKNOLOJILERI [6]

Teknoloji	Standart	Veri	Mesafe	Frekans
Wi-Fi	802.11a	11/54/300 Mbps	<100 m	5 GHz
	802.11b/g/n			2.4 GHz
	802.11 ac	1 Gbps		
	802.11ax	4.8 Gbps		
WiMAX	IEEE 802.16	<75 Mbps	<50 km	2–11 GHz
				3.5 GHz
Bluetooth	IEEE 802.15.1	v. 1.2: 1 Mbps	Class 1: 100 m	
		v. 2.0: 3 Mbps	Class 2: 15–20 m	2.4 GHz
		Ultra Geniş Bant: 53–480 Mbps	Class 3: 1 m	
GSM		9.6 Kbps	Servis sağlayıcısına bağlı	900/1800 MHz: Avrupa
				1900 MHz: USA
GPRS		56–144 Kbps	Servis Sağlayıcısına bağlı	2.5 GHz
ZigBee	IEEE 802.15.4	250 Kbps 2.4 GHz	< 5km	2.4 GHz

KAA'lar farklı tipte ağ topolojilerine sahiptir. Bunlardan yaygın olarak kullanılanları yıldız, ağaç ve örgü topolojileridir.



Şekil 3 Ağaç, Yıldız, Örgü Topolojileri [24]

1) Yıldız Topolojisi: Her düğümün doğrudan bir merkeze bağlanmasıdır. Yıldız topolojisinde merkezler bir araya gelip daha geniş bir bağlantı oluşturulabilir. Bu topolojide her düğümün merkeze bağlantısı olduğu için oluşan aksaklıklar kolayca tespit edilebilir ve giderilebilir. Güç tüketimi açısından da verimli bir şekilde çalışabilirler. Yapılan bir KAA çalışmasında [5], yıldız topoloji, farklı noktalardaki algılayıcı düğümlerinden gelen verileri tek bir noktada toplamak için kullanılmıştır.

2) Ağaç Topolojisi: Ağaç topolojisinde hiyerarşik bir yapı vardır. Bu yapıda bir adet merkezi bir düğüm, hiyerarşinin alt kısmında bir başka düğüm, onun da altında başka bir düğüm konumlandırılmıştır. Algılayıcı düğümleri arasında katmanlı yapı oluşturan [12, 16, 25] çalışmalarda gerçekleştirilen su kalite izleme sistemlerinde, ağaç topolojisi tercih edilmiştir.

3) Örgü topolojisi: Bu topoloji, diğerlerine göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Tek bir noktada verilerin toplandığı, aynı zamanda farklı noktaların da birbirleri ile haberleşebildiği bir ağ yapısıdır [24]. Su şebekesinin takibi ile ilgili [26] ve nehir boyunca yapılan [27] KAA çalışmalarında ağ topolojisi, örgü topoloji olarak belirlenmiştir.

C. Algılayıcılar

Su parametrelerinin izlenmesinde kullanılan algılayıcılar incelendiğinde analizi yapılan tatlı su veya deniz suyu ile ilgili ihtiyaca uygun algılayıcı seçimi yapılmaktadır. Birden çok algılayıcı kullanımı, incelenen su hakkında daha fazla parametrenin elde edilmesine yardımcı olacaktır. KSPİS'te sıcaklık, iletkenlik, bulanıklık, derinlik, çözünmüş oksijen (ÇO), pH, fosfat, oksidasyon indirgeme potansiyeli (ORP), akış vb. parametreleri ölçen algılayıcılar kullanılarak su analiz verileri elde edilmektedir (Bkz. Tablo 2). KSPİS için genel olarak tercih edilen algılayıcılar sıcaklık, iletkenlik, bulanıklık ve pH algılayıcılarıdır. [8, 9, 25, 27-30] Bu noktada algılayıcıların özellikleri de önemlidir. Örneğin; klasik pH algılayıcıları tuzluluğu yoğun sularda doğru sonuçlar vermeyebilir [31].

pH algılayıcıları, sulardaki asit ve baz oranını, yani pH seviyesini verir. pH değeri sudaki hidrojen miktarını gösterir. pH algılayıcıları elektrotlardan aldığı elektriksel sinyali 0 ile 14 arasındaki pH birimli değere dönüştürür. Yapılan incelemelerde su ortamında pH algılayıcılarının kullanım yoğunluğu dikkat çekici boyuttadır (Bkz. Tablo 2). Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, genellikle, farklı tipte pH algılayıcıları kullanıldığı görülmektedir. Bir çalışmada [32] küçük boyutlarda bir sistem geliştirmiş ve pH algılayıcısı yazarlar tarafından tasarlanmıştır. KSPİS için sık kullanılan diğer bir algılayıcı olan sıcaklık algılayıcıları ise bulunduğu ortamdaki sıcaklık değerini ölçmeye yarayan, izoleli ve bulunduğu ısı ortamına göre direnç değeri değişen algılayıcılardır [33]. Su içerisinde bulunan kum, organik ve

inorganik maddeler, renkli organik bileşenler ve mikroskobik canlılar suda bulanıklığa yol açarlar. Bu nedenle, sudaki bulanıklık değeri suyun aynı zamanda kirlilik derecesini belirlemede yardımcı olabilmektedir. Ölçüm işlemi bulanıklık algılayıcısı ile yapılır. Bulanıklık algılayıcısı ışık yardımıyla çalışır. Verilen ışık miktarı ile toplanan ışık miktarı arasındaki kayıplar suyun bulanıklığını belirler [9]. Özellikle nehir, akarsu, göl gibi alanlarda yaşanabilecek sel, su taşkını gibi olayların erken tespitinde bulanıklık algılayıcısı önemli rol oynamaktadır. Bulanıklık, suyun iletkenliğini de etkilemektedir. Sudaki iletkenliği ölçmek için de iletkenlik algılayıcısı kullanılır. Su iletkenliği, içerisinde bulunan iyonlar ile gerçekleşir. İyon konsantrasyonu ne kadar fazla ise iletkenlik de o kadar fazla olur.

D. Veri Toplama ve İşleme Birimi

Algılayıcılardan gelen sinyaller işlenmek için mikrodenetleyiciye gönderilir. Bu noktada algılayıcının özelliklerine göre analog olarak gelen sinyal, mikrodenetleyicide bulunan ADC girişine bağlanabildiği gibi algılayıcılardan gelen dijital sinyaller de mikrodenetleyiciye ulaşmadan sinyal toplama modüllerinde toplanır. Her algılayıcının çıkış sinyalleri, aynı özellikte olmamaktadır. Bu değerleri, sonraki devrenin girişine uygun hale getirmek gereklidir. Yapılan bir çalışmada [34] pH ve iletkenlik algılayıcılarında mili Volt seviyesinde gelen sinyali Volt seviyesine çıkarmak için işlemsel yükselteç (Op-Amp) kullanılmıştır.

Veri işleme birimleri, KAA sisteminde büyük rol oynamaktadır. Algılayıcılardan gelen verilerin işlenmesini ve iletişim modülleri ile farklı noktalara iletilmesini ya da herhangi bir depolama birimine aktarılmasını sağlamaktadırlar. Bu işlemlerin gerçekleşmesinde daha fazla verimlilik için tercih edilecek işlemcide; hız, hafıza, güç tüketimi, iletişim protokolü gibi özellikler sistemin performansı açısından önemlidir. Aynı zamanda oluşturulacak olan yapı, su ortamında kullanılacağı ve uzun çalışma süresine ihtiyaç duyacağı için, veri işleme birimlerinin bu durum dikkate alarak seçilmesi önemlidir. Bu noktada, bir kısım çalışmalarda [5, 11, 18, 25, 35-38] Ardunio kullanılırken, bazı çalışmalarda [9, 29] ise Raspberry Pi kullanılmıştır. Daha düşük güç tüketimi için, mikrodenetleyici geliştirme kartları yerine, sadece mikrodenetleyici ile yapılan çalışmalar da bulunmaktadır [4, 10, 20, 34, 39]. Bu işlemciler, Tablo 2'de verilmektedir.

E. Arayüz Yazılımı

KSPİS'lerde algılayıcılardan gelen veriler işlemci ve veri toplama birimlerinden geçtikten sonra kablosuz iletişim modülleri ile merkez bir noktadaki alıcılara iletilmektedir. Merkez noktada toplanan bu veriler kullanım amaçlarına göre depolanmaktadır. Depolama işlemi yerel bir bilgisayarda veya bulut ortamında yapılabilmektedir. Depolanan veriler kullanıcı tarafından anlaşılır bir şekilde gösterilmelidir. Bu verilerin gösterimi için yazılımlara ihtiyaç vardır. Yazılımlar, kullanıcıya hangi noktadan hangi verinin geldiğini açıklayıcı bir şekilde göstermelidir. Bu aşamada sistemden gelen verilerin hangi kullanıcılar tarafından takip edilebileceğine göre, yerel bilgisayarda bir program [4, 20], web adresinde gösterim [13, 14, 18, 21, 22, 28, 29, 34, 36, 37] veya mobil uygulamadan gösterim [5, 34, 37, 40] şeklinde yöntemler kullanılabilir. Yukarıda belirtilen algılayıcılardan gelen verileri gösterim şekillerine ek olarak, algılayıcılardan gelen değerlerdeki ani değişiklikleri bildirmek için kısa mesaj (SMS) gönderme [34] gibi yöntemler de kullanılmıştır.

F. Enerji Yönetimi

Enerji, KSPİS'lerde en çok zorlanılan konudur. Şehir merkezine yakın noktalarda şehir içme suyu şebekesi üzerine yapılan çalışmada [9] ve balık havuzları ile ilgili yapılan çalışmada [30] enerji şehir şebeke elektriğinden sağlanabilirken, akarsu, deniz, göl gibi alanlarda veya insan sağlığını tehdit unsuru oluşturan alanlarda kullanılacak olan KSPİS'lerde genelde yerleşim noktalarından uzak oldukları için şehir elektrik şebekesinden istifade edilememektedir. Bu nedenle, sistemlerin çalışması için bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmalarda (Tablo 2) tercih edilen enerjinin 3.3 V ile 12 V arasında gerilim üreten bataryalarla sağlandığı anlaşılmaktadır. Ancak, bataryalar ağırlıkları ve kapasiteleri nedeniyle kısıtlı kullanım olanağına sahiptir. Kapasitesi büyük bataryaların ağırlıkları büyük, kapasiteleri küçük bataryaların ağırlıkları da genel anlamda küçük olmaktadır. Bu durum, su üzerinde yüzer yapıda bir sistem tasarlandığında en büyük engeli oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda [11, 35] su üzerinde yüzer ancak durağan bir düğüm tasarlanmıştır. Bir diğer çalışmada ise [41] hareketli bir insansız su üstü aracı tasarlamış ve mobil uygulama ile yönlendirilebilir şekilde uygulanmıştır.

Sistemi daha uzun sürelerde çalışmasını sağlamak için kullanılacak olan sistemlere güneş panelleri (GP) entegre edilebilir. GP'ler güneşten aldıkları ışık taneciklerini elektrik enerjisine çevirdikleri için pillerin yeniden şarj edilmesinde kullanılabilir. Bu noktada da GP'den gelen gerilimin ayarlanması için regülatör devreleri kullanılabilir [5, 42].

III. TARTIŞMA VE ANALİZ

Bu bölümde, KSPİS konusunda yapılan çalışmalar incelenmektedir. Su parametrelerini izleme amacıyla KAA yapısı kullanılarak yapılan çalışmalarda, farklı ortamlarda testler yapılmıştır. Birtakım çalışmalar sadece laboratuvar ortamı ile sınırlı kalırken, bir kısmı da gerçek (göl, havuz, deniz, akarsu, şebeke suyu vb.) ortama uygun olarak tasarlanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan bir çalışmada [32], küçük ölçekli bir algılayıcı düğümü tasarlanmış, toplanan veriler herhangi bir iletişim modülü kullanılmadan Ardunio

Uno ve Ethernet eklentisi ile birlikte bilgisayara bağlamış, buradan da algılayıcı verilerinin Nesnelerin İnterneti (IoT) platformuna aktarılması sağlanmıştır. Prototip olarak küçük bir yapıda oluşturulan sistem, gerçek uygulamada kullanılmak üzere bir dış muhafazaya sahip değildir.

Su ürünlerinin yetiştirildiği havuzlarda yapılan bir başka çalışmada [43], 22 ay boyunca aktif olarak kullanılan ve test edilen, suda anormal değişiklikler olduğunda uzaktan izlenmesini ve alarm bildirimlerini gerçekleştiren bir yapı kurulmuştur. Uzun süreli test sonucunda yazar, algılayıcı kalibrasyonlarının önemli olduğundan, iklim ve hava değişikliklerinin sistemin çalışmasında etkili olduğundan, algılayıcıların bakım gereksinimlerinin bulunduğundan ve erken uyarı sisteminde çözünmüş oksijen değerinde yaptığı hesaplama ile %81,4 doğruluk olduğundan söz etmiştir.

Gerçek ortama uygun olarak tasarımı yapılan KSPİS'te farklı veri toplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; algılayıcıyı yakınından ve uzaktan takip olarak iki kategoriye ayrılabilir. Yakından takip edilen KSPİS'te algılayıcıdan alınan veriler, bilgisayar veya telefon aracılığıyla merkez sunucuya gönderilmektedir. Bir çalışmada [40], Smart Water Meter adı verilen bir sistem ile algılayıcılardan alınan veriler Bluetooth ile cep telefonuna, oradan da Google Firebase sistemine aktarılmıştır. Ayrıca mobil uygulamanın içerisine entegre edilen bir yapı ile algılayıcı kalibrasyon ayarı da yapılabilmektedir. Yakından takip sistemlerinde suyun bulunduğu noktada olunması gerekmektedir. Bu yöntemde erişilmesi güç yerlerden ve analizi edilen bölgenin farklı noktalarından veri alınabilmesi zahmetli olacaktır. Ayrıca yakından takip sistemlerinde hareketli yapılar da kullanılmıştır. Yapılan bir çalışmada [41] oluşturduğu hareketli sistemde pH, bulanıklık ve sıcaklık algılayıcıları kullanılmış, su üstü aracın yüzen kısmı %90 oranında üç boyutlu yazıcı ile oluşturulmuştur. Yazarlar, insansız su üstü aracı olarak tanımladıkları SmartBoat 3'ü, geliştirdikleri Android mobil uygulama ile Bluetooth bağlantısı kurarak yönlendirdiklerini, aynı zamanda algılayıcılardan gelen verileri de mobil uygulamada göstererek anlık veri alındığını belirtmiştir. Üç farklı suda testler yapan yazarlar, ileriki aşamada aracın Wi-Fi ile daha uzak noktalardan kontrol edilip, algılayıcı verilerine erişilebileceğini ifade etmiştir. Su yüzeyinde gezer bir yapı, enerji yönetimi açısından dezavantajları olsa da sabit yapılara göre daha çok veri toplanmasını sağlayacak ve daha hassas bir değerlendirme imkânı sunacaktır.

Uzaktan takip edilen bir KSPİS'te, sistem tamamen dışarıdan bağımsız çalışmaktadır ve algılayıcıdan gelen veriler direkt olarak merkez sunucuya aktarılmaktadır. Göl ortamında yapılan bir çalışmada [14], ZigBee ve WiMAX teknolojilerinin her ikisi de kullanılarak web tabanlı bir ağ oluşturulmuştur. Beş adet algılayıcı düğümünün kullanıldığı çalışmada, algılayıcılardan alınan veriler ZigBee ile WiMAX ağına aktarılıp oradan da verileri izlemek için ana bilgisayara gönderilmektedir. Gelen veriler, günlük olarak izlenebilmekte ve hangi düğümden hangi verinin geldiği gibi ayrıntılar görülebilmektedir. Fakat bu noktada su ortamında bulunan algılayıcı düğümlerinin güvenliği ve enerji yönetimi önem taşımaktadır.

Enerji verimliliği, KSPİS'te uygulandığı alana ve bulunduğu konuma göre farklılık göstermektedir. Şehir elektrik şebeke sisteminin hizmet verdiği yapay balık havuzları, şehir su şebeke sistemleri gibi noktalarda enerji ihtiyaçları şebeke elektriğinden karşılanabilirken, uzak noktalarda bataryalarla karşılanmaktadır. Su şebekesi üzerine yapılan bir çalışmada [36], iletkenlik, pH, sıcaklık algılayıcıları ve biyofilm monitörü kullanılarak gerçek ortamda testler yapılmış ve sonuç elde edilmiştir. Şehir elektrik şebekesinden uzak noktada yapılan bir başka çalışmada [42], 50 cm yüksekliğinde ve 30 cm çapında bir düğüm geliştirilmiş, 6600 mAh bir batarya ve bu bataryaya bağlı bir güneş paneli kullanılmıştır.

TABLO 2
KABLOSUZ SU PARAMETRELERİNİ İZLEME İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ref. No	Uygulama Alanları	Algılama Parametreleri	Kablosuz İletişim Yöntemi	Güç Kaynağı	Uzaktan Erişim	Mikrodenetleyici
4	Laboratuvar, 3 farklı su	pH, Bulanıklık, İletkenlik	ZigBee	-	Var	ARM
5	Su Tankı	pH, İletkenlik, Sıcaklık	ZigBee	20V GP 12V Batarya	Var	Ardunio Uno
8	Nehir	Sıcaklık, Fosfat, ÇO, İletkenlik, pH, Bulanıklık, Su seviyesi	ZigBee	-	Var	-
9	Boru hattı	Bulanıklık, ORP, pH, İletkenlik, Sıcaklık, Akış	ZigBee	-	Var	PIC32
10	Göl	Sıcaklık, Bulanıklık, Su seviyesi, Tuzluluk	ZigBee	12V	SMS	ARM 7
11	Göl	pH, Sıcaklık	ZigBee	-	Var	Arduino
12	-	pH, Bulanıklık, Sıcaklık	ZigBee	9V	Var	Atmega128l
13	-	Squidbee algılayıcı, pH	ZigBee	-	Var	-
14	Göl	pH, İletkenlik, Sıcaklık, ORP, ÇO	ZigBee	-	Var	-
15	İçme suyu	Akış, Sıcaklık, İletkenlik, pH, ORP	ZigBee	-	-	PIC32mx220f032b
16	-	Sıcaklık, pH, ÇO, İletkenlik	ZigBee, GPRS	-	Var	-
17	Göl	pH, Sıcaklık	ZigBee, GPRS	6x 7.2 V Ni-MH veya 2x 7.4 V Lityum Batarya	Var	MSP430F1611
18	Göl	pH, İletkenlik, Sıcaklık, ÇO	ZigBee, GPRS	3.7V 6 A Batarya, 10w GP	-	Ardunio Mega 2650
19	-	Bulanıklık, Sıcaklık, Işık, CO_2	ZigBee	1.8 V	-	-
20	-	pH, Bulanıklık, Oksijen seviyesi	ZigBee	13.5V GP 12V Batarya	Var	ARM 7
21	Göl	pH, ÇO	ZigBee	5V 800 mA	Var	-
22	Göl	Ultrasonik Sensor, Sıcaklık, pH, Bulanıklık, CO_2	ZigBee	6000 mA Batarya	-	FPGA Board
23	Laboratuvar	Işık, Derinlik, Sıcaklık	ZigBee	5V	Var	Beagle Bone Board
25	Nehir	pH, İletkenlik, Bulanıklık, Sıcaklık	Wi-Fi	-	Var	Arduino Uno
26	Laboratuvar	Su Akışı, Basınç, Sıcaklık	Wi-Fi	-	-	-
27	Nehir	ÇO, pH, Sıcaklık, Derinlik, İletkenlik, Bulanıklık	Wi-Fi	GP, 12V Bat.	-	Atmega 128
28	Rezervuar	ÇO, Elektrik İletimi, Sıcaklık, pH, ORP, Bulanıklık, Tuzluluk,TDS, Nitrat, Amonyak Azotu, Klor (YSI-6 Multi Parametr)	GPRS Wi-Fi	12 V Algılayıcı, 5 V İşlemci	Var	W77E58
29	-	Sıcaklık, pH, Bulanıklık, İletkenlik, ÇO	Wi-Fi	5V	-	Raspberry PI B+

Ref. No	Uygulama Alanları	Algılama Parametreleri	Kablosuz İletişim Yöntemi	Güç Kaynağı	Uzaktan Erişim	Mikrodenetleyici
30	Havuz	pH, ÇO, İletkenlik, Katı Madde, Bulanıklık, Sıcaklık, Tuzluluk	GSM	-	Var	-
32	Laboratuvar	Hava sıcaklığı, Bağıl nem, Uçucu organik bileşenler, Sıcaklık, pH	Ethernet	Tek Pil, GP	Var	Atmega128
34	Laboratuvar	İletkenlik, Su seviyesi, pH, Bulanıklık	Wi-Fi	-	Var	ARM Cortex M4
35	Göl	pH, Karbonmonoksit, Gerçek zamanlı saat, Sıcaklık, Nem	SD Card	Batarya, GP	Yok	Ardunio Mega 2560
36	Su şebekesi	pH, İletkenlik, Sıcaklık, Biofilm monitörü	Gsm	Şebeke Elektriği	-	Ardunio
37	Göl	Sıcaklık, pH, Elektrik iletkenliği, ORP	Bluetooth	3.7 V 4 Ah Batarya	Var	Ardunio Mega
38	-	Sıcaklık, pH, Bulanıklık, Akış	Wi-Fi	5V Adaptör	Var	Arduino Uno
39	Deniz	Sıcaklık, Klorofil miktarı, Tuzluluk, İletkenlik	GSM, GPRS	-	Var	ARM Cortex-M4
40	Göl, Havuz	pH, Tuzluluk, Oksijen miktarı, İletkenlik	Bluetooth	9V Batarya	Yok	-
41	Göl, Havuz	pH, Bulanıklık, Sıcaklık	Bluetooth	14.3 V 2200 mA Batarya	Yok	Adafruit Pro Trinket
42	Göl	İletkenlik, Sıcaklık, Işık	GSM	GP, 6600 mA Batarya	-	-
43	Havuz	Sıcaklık, Hava sıcaklığı, ÇO, pH, İletkenlik, Tuzluluk	CDMA	12V Batarya	Var	-
44	Musluk, nehir, deniz, kirli dere suyu	pH, İletkenlik, Sıcaklık, ORP	GSM	Lityum Batarya	Var	-

- Belirtilmemiş

3G mobil şebekesi ile de algılayıcılardan gelen verilerin merkez düğüme gönderimi sağlanmıştır. Güneş paneli kullanımı, bataryaya sürekli şarj imkânı sağlayacağından, batarynın uzun süreli kullanımı ve sistemin uzun süre çalışması için daha uygundur.

KSPİS algılayıcı verilerinin takibinde kullanılan yazılım arayüzünün kullanıcı dostu yapıda olması önemlidir. Algılayıcı verilerinin gösteriminde kullanılabilen hazır web altyapılarının yanı sıra kendi yazılımları ile altyapısını oluşturan çalışmalar da bulunmaktadır. Ganj ve Yuma nehirlerinde geliştirilen bir çalışmada [25], Thingspeak altyapısı kullanılarak oluşturulan hesap ile Wi-Fi üzerinden alınan algılayıcı verilerinin gösterimi sağlanmıştır. Başka bir çalışmada [34], Ubidots yazılımı kullanılarak hem konum bilgisine hem de algılayıcı verilerine erişilebilmiş, aynı zamanda Ubidots yazılımının SMS özelliği de kullanılarak kullanıcılara bilgilendirme mesajı gönderilmiştir. Bu tip hazır web altyapılarını kullanmak sistemin kurulumunu her ne kadar kolaylaştırsa da dışa bağımlılık noktasında birtakım sorunlara yol açabilmektedir. Başka bir çalışmada [23] ise algılayıcılardan gelen veriler, ZigBee iletişim protokolü ile ana düğüme iletilmiş ve veri toplama kartı üzerinden bilgisayara aktarılarak web sayfasında gösterimi sağlanmıştır.

KSPİS'te maliyet de önemli bir noktadır. Sistemin maliyeti kullanılacak donanımların kalitesine, sistemin konumlandırılacağı yere göre değişmektedir. Victoria Basin Gölü havzasında yapılan bir çalışmada [18], pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve sıcaklık algılayıcıları kullanılmıştır. Önerilen sistemin, algılayıcı düğümleri ve ağ geçitleri dahil 1250$ bir maliyetle gerçekleştirildiği, benzeri hazır bir sistemin 3400$ civarlarında bir maliyete karşılık geldiği belirtilmiştir.

IV. SONUÇ

Sonuç olarak, KAA, su parametrelerini izlemek amacıyla farklı ortamlarda kullanılabilir. KSPİS'te kullanılacak algılayıcıların çeşitliliği ve kalitesi, analizi yapılacak su hakkında daha net bilgiler toplanmasını sağlamaktadır. Kullanılan kablosuz ağ yönteminde de farklılıklar söz konusudur. Burada, kablosuz ağın güvenlik, enerji ve mesafe yönetimi önem kazanmaktadır. KAA sistemlerinde ZigBee teknolojisinin enerji verimliliği öne çıkmaktadır. Enerji yönetiminin de önemli olduğu KAA'larda, düşük güç tüketimli sistem oluşturmak, daha uzun süreli enerji için güneş paneli ile beslenen bataryalar tercih etmek mümkündür. Ayrıca algılayıcılardan gelen verilerin son kullanıcıya gösterimi de önemlidir. Bu noktada farklı yöntemler tercih edilse de en kullanışlı yöntem, uzak noktada bulunan algılayıcılardan gelen verilerin internet ortamına aktarıldıktan sonra kullanıcı dostu bir arayüz yazılımı ile gösterilmesidir.

REFERANSLAR

[1] N. Jin, R. Ma, Y. Lv, X. Lou, and Q. Wei, "A novel design of water environment monitoring system based on WSN," in *2010 International Conference On Computer Design and Applications*, vol. 2, pp. 593-597, 2010.

[2] T. E. Kalaycı, "Kablosuz sensör ağları ve uygulamaları," in *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri Harran Üniversitesi, Şanlıurfa* , pp. 37-46, 2009.

[3] J. Zheng, and A. Jamalipour, *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*, John Wiley and Sons, pp. 20-21, 2009.

[4] M. Barabde, S. Danve, "Real time water quality monitoring system," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 6, pp. 5064-5069, 2015.

[5] C. Sowmya, C. D. Naidu, R. P. Somineni, and D. R. Reddy, "Implementation of wireless sensor network for real time overhead tank water quality monitoring," in *2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 546-551, 2017.

[6] C. Albaladejo, P. Sánchez , A. Iborra, F. Soto, J. A. López, and R. Torres, "Wireless sensor networks for oceanographic monitoring: a systematic review," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 10, no. 7, pp. 6948-6968, 2010.

[7] M.E. Yüksel, ve A. H. Zaim, "RFID'nin kablosuz iletişim teknolojileri ile etkileşimi," in *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri Harran Üniversitesi, Şanlıurfa*, Bildiri No: 74, pp. 1-9, 2009.

[8] B. O'Flynn, R. Martinez-Catala, S. Harte, C. O'Mathuna, J. Cleary, C. Slater, F. Regan, D. Diamond, and H. Murphy, "SmartCoast: A wireless sensor network for water quality monitoring," in *32nd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2007)*, pp. 815-816, 2007.

[9] T. P. Lambrou, C. C. Anastasiou, C. G. Panayiotou, and M. M. Polycarpou, "A low-cost sensor network for real-time monitoring and contamination detection in drinking water distribution systems," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 8, pp. 2765-2772, 2014.

[10] A. C. Khetre, and S. G. Hate, "Automatic monitoring & reporting of water quality by using WSN technology and different routing methods," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, vol. 2, no. 12, pp. 3255-3260, 2013.

[11] A.T. Demetillo, and E.B. Taboada, "Real-time water quality monitoring for small aquatic area using unmanned surface vehicle," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 9, no. 2, pp. 3959-3964, 2019.

[12] Z. Rasin, and M. R. Abdullah, "Water quality monitoring system using ZigBee based wireless sensor network," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no.10, pp. 24-28, 2009.

[13] N. Nasser, A. Ali, L. Karim, and S. Belhaouari, "An efficient wireless sensor network-based water quality monitoring system," in *2013 ACS International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pp. 1-4, 2013.

[14] S. Silva, H. N. Nguyen, V. Tiporlini, and K. Alameh, "Web based water quality monitoring with sensor network: Employing ZigBee and WiMax technologies," in *8th International Conference on High-capacity Optical Networks and Emerging Technologies*, pp. 138-142, 2011.

[15] N. A. Cloete, R. Malekian, and L. Nair, "Design of smart sensors for real-time water quality monitoring," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 3975-3990, 2016.

[16] Z. Wang, Q. Wang, and X. Hao, "The design of the remote water quality monitoring system based on WSN," in *2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 1-4, 2009.

[17] P. Jiang, H. Xia, Z. He, and Z. Wang, "Design of a water environment monitoring system based on wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 9, pp. 6411-6434, 2009.

[18] A. Faustine, A. N. Mvuma, H. J. Mongi, M. C. Gabriel, A. J. Tenge, and S. B. Kucel, "Wireless sensor networks for water quality monitoring and control within Lake Victoria Basin: Prototype development," *Wireless Sensor Network*, vol. 6, pp. 281-290, 2014.

[19] Q. Chi, H. Yan, C. Zhang, Z. Pang, and L. D. Xu, "A reconfigurable smart sensor interface for industrial WSN in IoT environment," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1417-1425, 2014.

[20] R. K. Kumar, M. C. Mohan, S. Vengeteshapandiyan, M. M. Kumar, and R. Eswaran, "Solar based advanced water quality monitoring system using wireless sensor network," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, vol. 3, no. 3, pp. 385-389, 2014.

[21] X. Huang, J. Yi, S. Chen, and X. Zhu, "A wireless sensor network-based approach with decision support for monitoring lake water quality," *Sensors*, vol. 15, no. 11, pp. 29273-29296, 2015.

[22] C. Z. Myint, L. Gopal, and Y. L. Aung, "WSN-based reconfigurable water quality monitoring system in IoT environment," in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp. 741-744, 2017.

[23] S. Khan, "Wireless sensor network based water well management system for precision agriculture," in *26th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)*, pp. 44-46, 2016.

[24] Y. Koç, "Akıllı bir takip sistemi için kullanılan zigbee tabanlı algılayıcı ağın topolojik performans karşılaştırmaları," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 31, no.4, pp. 165-171, 2013.

[25] M. Shirode, M. Adaling, J. Biradar, and T. Mate, "IOT based water quality monitoring system," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 1423-1428, 2018.

[26] K. Kondratjevs, A. Zabasta, N. Kunicina, and L. Ribickis, "Development of pseudo autonomous wireless sensor monitoring system for water distribution network," in *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 1454-1458, 2014.

[27] W.-Y. Chung, and J.-H. Yoo, "Remote water quality monitoring in wide area," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 217, pp. 51-57, 2015.

[28] Q. Wu, Y. Liang, Y. Sun, C. Zhang, and P. Liu, "Application of GPRS technology in water quality monitoring system," in *2010 World Automation Congress*, pp. 7-11, 2010.

[29] N. Vijayakumar, and R. Ramya, "The real time monitoring of water quality in IoT environment," in *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT-2015)*, pp. 1-4, 2015.

[30] Y. Huang, C. Chou, J. Jau, and F. E. Sandnes, "Water quality monitoring with ubiquitous computing," in *2010 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Conference on Autonomic & Trusted Computing*, pp. 70-75, 2010.

[31] C. Staudinger, M. Strobl, J. Breininger, I. Klimant, and S. M. Borisov, "Fast and stable optical pH sensor materials for oceanographic applications," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 282, pp. 204-217, 2019.

[32] M. Simić, G. M. Stojanović, L. Manjakkal, and K. Zaraska, "Multi-sensor system for remote environmental (air and water) quality monitoring," in *2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1-4, 2016.

[33] N. T. Nguyen, "Micromachined flow sensors a review," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 8, no. 1, pp. 7-16, 1997.

[34] S. Geetha, and S. Gouthami, "Internet of things enabled real time water quality monitoring system," *Smart Water*, vol. 2, no.1, pp.1-19, 2016.

[35] N. Kafli, M. Z. Othman, and K. Isa, "Unsupervised floating platform for environmental monitoring," in *2016 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, pp. 84-89, 2016.

[36] M. Carminati, V. Stefanelli, G. Ferrari, M. Sampietro, A. Turolla, M. M. A. Rossi, S. Malavasi, M. Antonelli, V. Pifferi, and L. Falciola, "Smart pipe: A miniaturized sensor platform for real-time monitoring of drinking water quality", in *2017 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, pp. 1-6, 2017.

[37] A. Faustine, and A. N. Mvuma, "Ubiquitous mobile sensing for water quality monitoring and reporting within Lake Victoria Basin," *Wireless Sensor Network*, vol. 6, pp. 257-264, 2014.

[38] V. Daigavane, and M.A. Gaikwad, "Water quality monitoring system based on IoT," *Advances in Wireless and Mobile Communications*, vol. 10, pp. 1107-1116, 2017.

[39] F. Adamo, F. Attivissimo, C. G. C. Carducci, and A. M. L. Lanzolla, "A smart sensor network for sea water quality monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 5, pp. 2514-2522, 2015.

[40] S. Srivastava, S. Vaddadi, and S. Sadistap, "Smartphone-based system for water quality analysis," *Applied Water Science*, vol. 8, no. 130, pp. 1-13, 2018.

[41] W. Jo, Y. Hoashi, L. L. P. Aguilar, M. Postigo-Malaga, J. M.Garcia-Bravo, and B.-C. Min, "A low-cost and small USV platform for water quality monitoring," *HardwareX*, vol. 6, pp. 1-13, 2019.

[42] C. Z. Myint, L. Gopal, and Y. L. Aung, "WSN-based reconfigurable water quality monitoring system in IoT environment," in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp. 741-744, 2017.

[43] X. Zhu, D. Li, D. He, J. Wang, D. Ma, and F. Li, "A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture," *Computer and Electronics in Agriculture*, vol.71, pp. S3-S9, 2010.

[44] A. N. Prasad, K. A. Mamun, F. R. Islam, and H. Haqva, "Smart water quality monitoring system," in *2015 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE)*, pp. 1-6., 2015.