

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

## Development of Internet of Things-Based Rumen Health Monitoring Prototype with Fuzzy Logic Controllers for Cattle

Fatih GÜRCAN<sup>a</sup>, İ. Alper DOĞRU<sup>b</sup>, Murat DÖRTERLER<sup>c</sup>, İsmail ATACAĞ<sup>\*d</sup>

Submitted: 20.01.2022 Revised: 20.02.2022 Accepted: 30.03.2022 doi:10.30855/gmbd.2022.01.13

### ABSTRACT

**Keywords:** Internet of things, Wireless networks, Fuzzy logic controller, Rumen health, pH measurement

In this study, a prototype based on fuzzy logic (FL) controller and internet of things (IoT) was developed to monitor rumen health parameters in cattle. In the system build as a prototype, the monitoring process related to the parameters is followed through three different applications developed on the Android operating system, the Thingspeak service and the WEB environment. The first application, which is an Android-based program, warns the user in case of any abnormality related to the rumen health. The other two applications allow monitoring and analyzing rumen health parameters in real time. The system implements a process that measures at varying time intervals to display the values of rumen health parameters, pH and temperature. The management of this process is carried out by the FL controller depending on the pH and temperature changes. This measurement, which is made at varying time intervals, is the most important feature that distinguishes our study from studies in the literature. Because in the studies reported in the literature, measurements are made at fixed time intervals. The relevant feature brings with it two important contributions for the system we propose. The first is to accelerate the precautions to be taken regarding animal health by enabling the system to measure at more frequent intervals in cases of deterioration in the pH level of rumen. The second is to reduce the energy consumed by the parameter measuring device from the battery by allowing the system to measure at longer intervals when the pH level of rumen is in balance.

<sup>a</sup> Gazi University,  
Graduate School of Natural  
and Applied Sciences,  
Dept. of Computer Engineering,  
06500, Teknikokullar, Ankara, Türkiye  
Orcid: 0000-0002-9515-6782

<sup>b</sup> Gazi University,  
Technology Faculty,  
Dept. of Computer Engineering  
06560 - Ankara, Türkiye  
Orcid: 0000-0001-9324-7157

<sup>c</sup> Gazi University,  
Technology Faculty,  
Dept. of Computer Engineering  
06560 - Ankara, Türkiye  
Orcid: 0000-0003-1127-515X

<sup>d</sup> Gazi University,  
Technology Faculty,  
Dept. of Computer Engineering  
06560 - Ankara, Türkiye  
Orcid: 0000-0002-6357-0073

\*Corresponding author:  
iatacak@gazi.edu.tr

## Büyükbaş Hayvanlar için Bulanık Mantık Denetleyiciler ile Nesnelerin İnterneti Temelli Bir İşkembe Sağlığı İzleme Prototipinin Geliştirilmesi

### ÖZ

Bu çalışmada, büyükbaş hayvanlarda işkembe sağlığı parametrelerini izleme amaçlı bulanık mantık (BM) denetleyici ve nesnelerin internetine (Nİ) dayanan bir prototip geliştirilmiştir. Prototip olarak oluşturulan sistemde parametreler ile ilgili izleme süreci Android işletim sistemi, Thingspeak servisi ve WEB ortamında geliştirilmiş üç farklı uygulama üzerinden takip edilir. Android temelli bir program olan ilk uygulama, işkembe sağlığı ile ilgili herhangi bir anormallik oluşması durumunda kullanıcıyı ikaz eder. Diğer iki uygulama ise işkembe sağlığı parametrelerini gerçek zamanlı olarak izlemeye ve analiz etmeye olanak sağlar. Sistem, işkembe sağlığı parametreleri pH ve sıcaklık değerlerini görüntülemek için değişen zaman aralıkları ile ölçen bir süreci yürürlüğe koyar. Bu sürecin yönetimi, pH ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak BM denetleyici tarafından yapılır. Değişen zaman aralıkları ile yapılan bu ölçüm, bizim çalışmamızı literatürdeki çalışmalardan ayıran en önemli özelliğidir. Çünkü literatürde bildirilen çalışmalarda ölçümler sabit zaman aralıkları ile yapılır. İlgili özellik önerdiğimiz sistem için iki önemli katkıyı beraberinde getirir. İlki, işkembe içerisinde pH seviyesinde bozulma olduğu durumlarda sistemin daha sık aralıklar ile ölçüm almasını sağlayarak hayvan sağlığı ile ilgili alınabilecek önlemleri hızlandırmasıdır. İkincisi, pH seviyesinin dengede olduğu durumlarda sistemin daha uzun aralıklar ile ölçüm almasını sağlayarak parametre ölçerin pilden tüketeceği enerjiyi azaltmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin interneti, Kablosuz ağlar, Bulanık mantık, İşkembe sağlığı, pH ölçümü

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte, fiziksel nesnelere birbirine bağlayan bir iletişim ağı olarak bilinen Nesnelere İnternetinde de (Nİ) önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeler sağladığı katkılar sebebi ile birçok alanda Nİ teknolojisinin kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Evler, endüstri sektörü, enerji sektörü, eğitim, sağlık, tarım ve hayvancılık, çevrecilik ve şehircilik Nİ teknolojisinin katkı sağladığı önemli kullanım alanları arasında yer alır. İlgili uygulama alanlarında bu teknolojinin kullanımındaki ortak amaç hizmet, kalite, verim ve üretkenliği artırmaktır. Nİ teknolojisi bu amaçları yerine getirmek için ilk olarak uygulama alanındaki verileri toplar. Sonra topladığı verileri büyük veri haline getirerek buluta aktarır. En son olarak ise buluttaki verileri amaçlara uygun bir şekilde işleyerek analiz eder [1-3]. Analiz sürecinde istatistiksel metotlar kullanıldığı kadar, yapay sinir ağı, makine öğrenimi, bulanık mantık (BM) gibi birçok uygulamada başarılı sonuçlar verdiği bilinen bir takım yapay zeka metotları da kullanılmaktadır.

Günümüzde Nİ' nin hayvancılıktaki kullanımı yaban hayvanlarından deniz hayvanlarına kadar çok geniş bir yelpazeye yayılmış olsa da, yaban hayvanları, kümes hayvancılığı ve büyükbaş hayvancılık bu teknolojinin başarılı ve verimli bir şekilde uygulandığı alanlar olarak karşımıza çıkar. Yaban hayvanları ile ilgili uygulamalar hayvanların konumlarının izlenmesi, doğal yaşam alanlarının gözlenmesi ve davranışlarının tanınarak anlaşılması üzerine odaklanmıştır [4]. Bu çalışmalarda yaban hayatının görüntülenmesini sağlayan birimi algılayıcılar, donanım, yazılım ve iletişim araçları oluşturur. Algılayıcı tipi kullanılan uygulamaya göre değişmektedir. Hayvanların konumlarının izlenmesinde algılayıcı olarak GPS gibi uydu konumlandırma alıcılar kullanılırken, davranış tanıma ve doğal yaşam alanlarının gözlemlenmesinde sıcaklık, nem, hareket ve ivme ölçme algılayıcıları ile görüntüleme algılayıcılarından yararlanılmıştır [5, 6]. Yazılım kısmı ise basit tipteki işletim sistemlerini, sürücülerini veri alış verişinin düzenlenmesindeki yazılımlardan meydana gelir. Bu uygulamalarda kullanılan iletişim araçları hücresel ve kapiler olmak üzere iki tipte karşımıza çıkabilir. Her ikisi de uzak mesafelerde kullanılabilirken, hücresel iletişim araçları ülke çapında iletişim yelpazesini kapsar ve büyük ölçekli baz istasyonları gerektirir [6].

Nİ teknolojisi, tüm dünyada et ve yumurta ürünlerinin yoğun bir şekilde tüketildiği kümes hayvancılığı endüstrisinin dönüşümünde de çok önemli bir role sahiptir [7]. Genel olarak et ve yumurta üretimini artırma amaçlı yapılan bu dönüşümlerde Nİ temelli sistemler ya tavuk çiftliklerinin denetimi ya da kümes hayvanlarının sağlığı üzerine uygulanır. Bu uygulamalarda Nİ temelli sistemler sıcaklık, nem, gaz, ışık, ses ve kamera gibi farklı algılayıcı grupları ile verileri toplayarak video/görüntü işleme, ses işleme yetenekleri ile birlikte sınıflandırma algoritmaları üzerinden analizleri gerçekleştirmiştir [8]. Günümüzde bu cihazlarda kullanılan yazılım, donanım ve iletişim araçlarına ait maliyetin giderek düşmesi, verimliliği artırma adına büyük tavuk ya da kanatlı hayvan çiftliklerinde bu sistemlerin kullanımını bir ihtiyaç haline getirmiştir.

İnsan sağlığı açısından kümes hayvanlarının ürünlerinin tüketimi kadar büyükbaş hayvanlara ait et ve süt ürünlerinin tüketimi de hayati bir önem arz eder. Bu yüzden et ve süt üretimi büyükbaş hayvancılığın temel hedefleri arasında yer alıp, ilgili ürünlerin veriminin artırılması da bu sektörde üretim yapan kişi ve kurumların temel hedefleri arasında yer almıştır [9, 10]. Büyükbaş hayvanlarda et ve süt verimini etkileyen faktörler arasından en önemlileri sağlık ve beslenmedir. Onların sürekli olarak sağlık durumlarının izlenmesi ve buna bağlı olarak beslenmelerinin düzenlenmesi bu sektörün hedefleri doğrultusunda gitmesini sağlayacaktır. Bu anlamda bakıldığında büyükbaş hayvancılık sektöründe Nİ teknolojisinin kullanımının et ve süt üretiminin artırılmasına önemli katkılar sağladığı görülecektir. Uygulamada algılayıcı, donanım, yazılım ve iletişim araçlarından oluşan ve akıllı çiftlikler olarak tanımlanan yapılar özellikle bu amaç için geliştirilmiş sistemleri temsil eder [11]. Bu yapıda büyükbaş hayvanların sağlık durumları ile ilgili bilgilerin toplanması, sağlanması ve yemlenmesi ile ilgili tüm işlemler otomasyon sistemi dâhilinde geliştirilmiş robotlar üzerinden yapılır.

Bu makalede, büyükbaş hayvanlarda iştah içi pH ve sıcaklık değişimlerini kablosuz bir şekilde BM denetleyicinin belirlediği aralıklar ile kullanıcının izlemesi amaçlı WEB ara yüzü ve ThingSpeak servisine aktaran ya da parametre değerlerindeki değişimler sağlıksız bir duruma işaret ettiğinde Android temelli cihaza uyarı mesajı gönderen Nİ temelli bir iştah sağlığı izleme prototipi sunulmaktadır. İkinci bölümde Nİ' nin büyükbaş hayvancılıkta uygulamaların gösteren çalışmalar verilir. Üçüncü bölümde Nİ temelli iştah sağlığı izleme prototipi; algılayıcılar, yazılım, donanım ve iletişim araçlarını içine alan tüm bileşenleri ile detaylı bir şekilde anlatılır. Dördüncü bölümde

geliştirilen prototipin deneysel sonuçları sunulur ve tartışılır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlara göre önerilen sistem değerlendirilir.

## 2. Büyükbaş Hayvancılıkta Nİ Uygulamaları (IoT Applications in Cattle Farming)

Akıllı hayvancılık olarak da bilinen Nİ temelli izleme sistemleri, hayvancılıkta ses, görüntü, çevre ve işkembe sağlığı verilerini bir takım algılayıcılar üzerinden Nİ teknolojisi ile birlikte buluta aktararak büyük veri halinde toplayan ve onlar üzerinde farklı algoritmaları kullanan yazılımlar üzerinden izleme ve analiz etme kabiliyetine sahip otomasyon esaslı uygulamalardır. Bu uygulamaları işlevsel açıdan değerlendirdiğimizde; hayvan sağlığı izleme sistemleri, hayvan davranışı izleme sistemleri ve akıllı çiftlikler olmak üzere 3 farklı kategoride ele alabiliriz.

Hayvan sağlığı izleme sistemleri, büyükbaş hayvanın vücudu ve çevresi ile ilgili verileri kullanarak hastalığını teşhis eden, kullanıcıya uyarı göndererek erken müdahaleye olanak sağlayan görüntüleme amaçlı farklı izleme ortamlarını kullanan uygulamalardır. Huang ve ark' ları yaptıkları bir çalışmada hayvanlara daha iyi bir sağlık hizmeti ve çevre sağlamanın yanı sıra onların adaptasyonunu da artırmaya yönelik bir izleme sistemi geliştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri sistemde kablosuz sensör ağını oluşturmak için denetleyici olarak bir Arduino kartı, başı boş hayvanları ayırt etmek için bir RFID etiketi ve alıcısı ve internete bağlanmak için Nİ kullanılmıştır [12]. Faruq ve ark' ları süt inekleri için Nİ teknolojisi temelli yapay zekayı kullanan bir sağlık izleme ve hastalık teşhis sistemi önermişlerdir. Sistem üzerinde yaptıkları testler ile önerdikleri sistemin, sıcaklık verilerini 0.6 C° lik ve kalp atışı verilerini dakikada 3.5 vuruluk bir hata oranıyla görüntüleyebildiğini göstermiştir. Ayrıca hastalık teşhisi üzerine yaptıkları testlerde geliştirdikleri sistemin fiziksel semptomlara göre %90' lık bir doğrulukla hastalığı teşhis edebildiğini ispatlamışlardır [13]. Chaudhry ve ark' ları hayvan sağlığı izleme sistemleri ve onların donanımları üzerine bir araştırma yaparak, Nİ teknolojisini kullanan gerçek zamanlı bir sağlık izleme sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistem, hayvana ait vücut sıcaklığı, kalp atış oranı, geviş getirme durumu, çevresel sıcaklık ve nem ile kamera üzerinden hayvanın davranışsal verilerini izleyen ve bu verilere göre hasta hayvanları makine öğrenmesi temelli algoritmalar üzerinden teşhis edebilme yeteneğine sahip bir uygulamadır [14]. Muthumanickom ve ark' ları Radyo Frekans etiketleme (RFID) teknolojisini kullanarak büyükbaş hayvanlarda sıcaklık değişimlerini otomatik olarak ölçen düşük güç tüketimi ve maliyete sahip bir sağlık izleme sistemi geliştirmişlerdir. Önerdikleri sistem, RFID teknolojisi üzerinden sıcaklık değişimlerini Thingspeak servisine aktarır ve sıcaklık değişimlerinde bir anormallik olduğunda kullanıcıyı ikaz eder [15].

Hayvan davranışı izleme sistemleri özellikle hayvanların hareketlerine ve seslerine dayalı davranışları ya da çevresel verilerinden yararlanarak onların hastalanıp hastalanmadıklarına, kızgınlık dönemlerinde olup olmadıklarına yada doğumlarının yaklaşıp yaklaşmadığına karar veren, bilgilendiren ve verileri izleme olanağı sağlayan uygulamalardır. Zaitov meralarda otlayan büyükbaş hayvanlarda olabilecek yaralanma ve hastalanmaları erken bir şekilde teşhis edilerek tedbir alınabilmesi için geliştirdiği hayvan izleme sistemine Nİ teknolojisini uygulamıştır. Ticari olarak yürürlüğe konulabilmesi için güç tüketimi ve maliyet açısından düşürülmeye ihtiyaç duyan bu sistem çözümünü hayvanların meradaki konumunu, etkileşim verilerini ve çevresel verileri toplayan bir kablosuz sensör ağı üzerinden üreterek sağlar [16]. Xia ve ark' ları inek kızgınlığı üzerine bir araştırma yaparak kızgınlığı tespit etme amaçlı bir uygulama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri uygulamayı 269 Holstein ineği üzerinden test etmişlerdir. Performans olarak %91.86 bir doğruluk ve 0.848' lik Kappa değeri elde ederek, geliştirdikleri sistemin kullanılabilirliğini ispatlamışlardır [17]. Gurusamy ve ark' ları çalışmalarında bir sürü içerisinde bulunan ineklerin Nİ ve kablosuz sensör ağı yoluyla izlenmesine olanak sağlayan bir sistemi sunmuşlardır. Sistem, ineğin boynuna bantlı ses algılayıcısından gelen verinin durumuna göre onun hastalık olup olmadığına karar veren bir yazılıma da içerisinde barındırır. Şayet hayvan da hastalık durumu oluşmuş ise sahibini bilgilendirme sistemi üzerinden gönderdiği bir mesaj ile ikaz eder. Bu çalışmada yazarlar aynı zamanda Cisco Packet Tracer programını kullanarak sistemin benzetimini yapmışlardır [18]. Park ve ark' ları meralarda otlayan ineklerin hareket ve davranışlarını gözlemlenmesi amaçlı bulut tabanlı bir izleme sistemi tasarlamış ve uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Dairesel bir boyunluk halinde tasarladıkları sistemin kablosuz sensör ağları ve Nİ yoluyla hayvan aktivitelerini gerçek zamanlı olarak bulut sistemine aktarabildiğini yaptıkları deneysel çalışmalar ile göstermişlerdir [19].

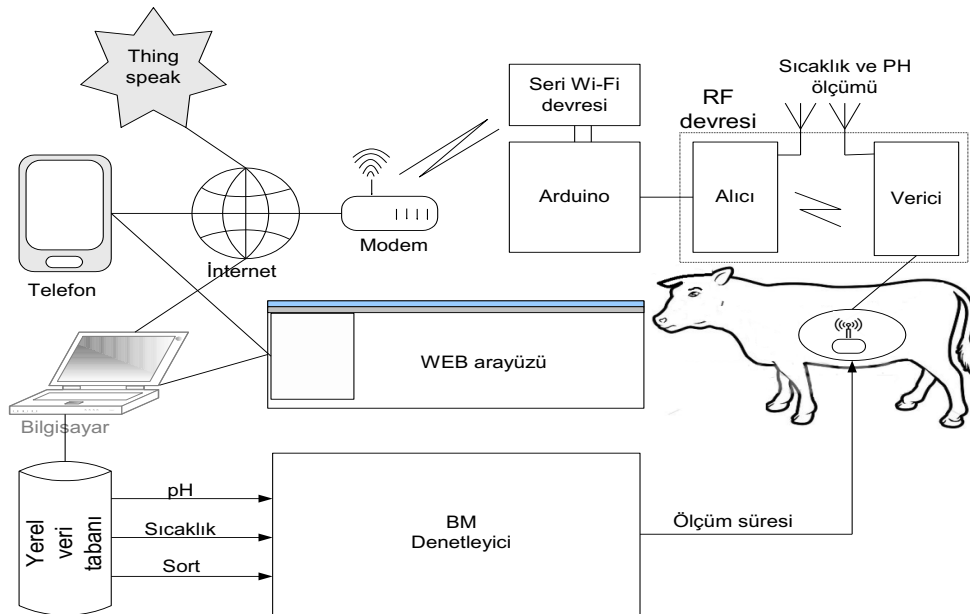
Akıllı hayvan çiftlikleri hayvanlara yem ve su verilmesinin, ortamlarının havalandırmasının, çevrelerinin izlenmesinin, buldukları ortamın iklimlendirilmesinin ve verilere dayalı üretilen durum

bilgisine bağlı çiftlik sahibinin bilgilendirilmesinin otomatik olarak yapıldığı bilgisayar temelli otomasyon uygulamalarıdır. Menon ve ark' ları Ni' ye dayanan akıllı bir hayvan çiftliği uygulaması geliştirmişlerdir. İhtiyaç duyulduğunda yemleme ve sulama yapma yeteneklerine sahip bu uygulama bio-gaz fazlalığını dışarı artabilen, yangını algılayabilen ve çevreyi kontrol edebilen otomatik bir sistemdir. Uygulamada bu işlevler yerine getirmek için su seviyesi, ultrasonik, gaz, sıcaklık ve nem algılayıcıları ile birlikte bir IP kamera kullanılmıştır [9]. Yoon ve ark' ları düşük güçlü bluetooth, düşük güçlü geniş alan ağı iletişim modüllerini kullanan ve kablolu iletişim ağını içeren bir akıllı çiftlik sistemi oluşturdu. Bu çiftlikte kontrol ve izleme işlemlerini TCP/IP alt yapısını kullanan bir Ni haberleşme protokolü olan MQTT (Message Quening Telemetry Transport) üzerinden yaptılar [20]. Easwaran ve ark' ları Ni teknolojisine dayanan bir akıllı hayvan çiftliği prototipi tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışmada bir ineğin ayakta durmak, yürümek ve otlamak gibi temel faaliyetlerini derin öğrenme modeli kullanarak sınıflandırdılar. Buna ek olarak egzoz ve inkübatör sistemini kontrol ederek, Ni üzerinden sonuçları izlenebilmesi için yerel bir WEB uygulamasına aktardılar [21].

Sonuç olarak akıllı hayvancılık kapsamında ele alınan tüm uygulamalar aslında büyükbaş hayvanın sağlık, beslenme ve çevresel şartlarının iyileştirilmesine dayanır. Sağlıklı bir hayvan düzenli bir şekilde beslenirse o hayvanın kilo alması ya da süt verimi de artmış olur. Diğer taraftan hayvanın davranışlarından kızgınlık dönemlerinin net bir şekilde belirlenmesi düzenli bir şekilde üremelerini sağlar.

### 3. Ni Temelli İşkembe Sağlığı İzleme Prototipi (IoT-Based Rumen Health Monitoring Prototype)

Ni temelli işkembe sağlığı izleme prototipi, büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde hem hayvan sağlığını koruma hem de et ve süt verimliliğini artırma amaçlı işkembe içi pH ve sıcaklık değerlerini bir verici ve alıcı modül kullanarak Arduino programlama platformu üzerine takılı seri Wi-Fi modül yoluyla aynı ağı kullanan bilgisayar, cep telefonu ve Thingspeak servisine aktararak hayvanın işkembe sağlığını izleme ve verileri grafiksel olarak görüntüleme imkanı sağlayan bir sistemdir. Uygulamada işkembe sağlığını izleme amaçlı geliştirilmiş benzer sistemler olsa da, bu sistemlerin ölçümlerini sabit zaman aralıkları ile gerçekleştirmelerinden dolayı özellikle işkembe içi asidoz seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde acil müdahaleyi gerektirecek pH ve sıcaklık seviye dengesizliklerini yakalamada yetersiz kaldıkları görülmektedir. Hayvan sağlığı için risk oluşturan bu problem, bizim geliştirdiğimiz sistemde ölçümlerin işkembe içi pH ve sıcaklık parametrelerine göre değişen zaman aralıkları ile alınması sonucu çözümlenmiştir. Bu amaçla bir BM denetleyici tasarlanmıştır. Şekil 1' deki blok diyagramdan anlaşılacağı üzere sistem donanım ve yazılım olmak üzere iki ana kısımdan oluşur.



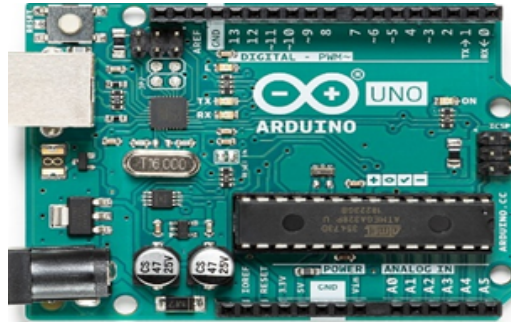
Şekil 1. Ni temelli işkembe sağlığı izleme prototipinin blok diyagramı  
(Block diagram of the IoT-based rumen health monitoring prototype)

Bu yapıda algılayıcılar, verici, alıcı, seri Wi-Fi devresi ve Arduino programlama kartı sistemin donanım

kısmını temsil ederken, WEB arayüzü ve Thingspeak gibi sonuç görüntüleme ortamları, BM denetleyici ve donanımlar üzerinden veri transferi ile veri kaydetmeye olanak sağlayan programlar onun yazılım kısmını oluşturur. Sistemin donanım ve yazılım olarak tüm bileşenleri aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.

### 3.1. Arduino programlama kartı (Arduino programming board)

Arduino programlama kartı sistemde iki aşamalı bir süreci yönetir. İlki işkembe içi parametre ölçerin gönderdiği ölçüm sonuçlarının RF alıcı üzerinden alınıp Wi-Fi devresi üzerinden bilgisayar ve izlenme ortamlarına aktarılmasına kadar geçen sürecin yönetimidir. İkincisi ise BM denetleyicinin ürettiği ölçüm süresi sonucuna göre işkembe içi parametre ölçerin uykuda kalma durumunun yada ölçüm için bekleme süresinin yönetildiği süreçtir. Sistemde her iki yönetim sürecini yerine getirmek için Arduino programlama kartı olarak Şekil 2' de gösterilen Arduino UNO R3 kullanılmıştır.

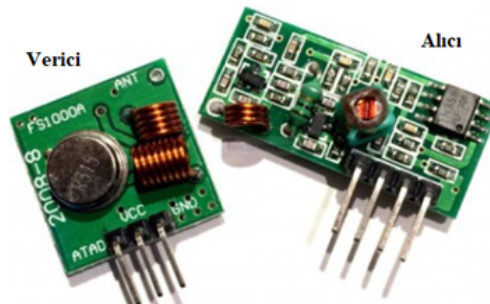


Şekil 2. Arduino UNO R3 (Arduino UNO R3)

Esnek bir yazılım ve donanım mimarisine sahip olan Arduino UNO yaygın kullanılan bir elektronik geliştirme ortamıdır. ATmega328 mikro denetleyicisini içeren bu kart bir mikro denetleyicide olması gereken tüm bileşenleri üzerinde taşır. Arduino UNO, 6' sını darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation-PWM) çıkışı olarak üzere toplam 14 adet dijital giriş çıkışı ve 6 adet analog girişe sahiptir. İstenirse analog girişler referans pin girişi üzerinden sınırlandırılabilirler [22]. Ya bir bilgisayar yada bir adaptör veya pil üzerinden ayrı bir şekilde çalıştırılabilirler.

### 3.2. Radyo frekans (RF) devresi (Radio frequency circuit)

RF devresi işkembe içi parametre algılayıcı devreler ile Arduino programlama kartı arasında kablosuz bir şekilde Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying-ASK) modülasyonu tekniğini kullanarak veri aktaran hazır bir kit'tir. Şekil 3' de gösterildiği gibi bu kit, 433 Mhz'lik radyo frekansını üzerinden birbiri ile iletişim kuran alıcı ve verici modüllerden oluşur [23].



Şekil 3. RF verici ve alıcı modülleri (RF transmitter and receiver modules)

Verici modül, pH ve sıcaklık algılayıcılarından aldığı verileri kendi devre kartı üzerinde bulunan anten yoluyla RF üzerinden alıcıya gönderen modüldür. Çok küçük boyutlarda (20x19 mm) tasarlanan bu modül 10 mW'lık çıkış gücüne ve 4 kB/s'lik bir veri iletim hızına sahiptir. Modülün beslemesi için ürünün kataloğunda yer alan 3 V-12 V aralığındaki çalışma gerilimi ve devrenin çektiği 4mA'lık akım bilgileri göz önünde bulundurularak uzun süreli enerji sağlayabilecek 3.7 V-3200 mAh'lık Li-ion pil tercih edilmiştir [24, 25]. Uygulamadaki çalışmalara benzer şekilde tasarlanan sistemde verici ve algılayıcı devreler aynı ortamda (işkembe içerisinde) bulunacağı dikkate alınarak tek bir baskı devre kartı üzerine monte edilmiştir. Sonra bu kart ve Li-ion pil içine sığacak büyüklükte tasarlanan kapsüle

yerleştirilerek içerisi sıvı almayacak şekilde kapatılmıştır. Sonuç olarak büyükbaş hayvanın iştakbesinden pH ve sıcak durum bilgisini alıcı yoluyla dış ortamdaki Arduino programlama kartına aktaracak bir iştakbe içi parametre ölçer tasarlanmıştır. Şekil 4' te hem tasarlanan kapsül hem de baskı devre kartına monte edilen TRY414.92 pH algılayıcısı ve DS18B20 sıcaklık algılayıcısına ait resimler gösterilmiştir.



Şekil 4. İştakbe içi parametre ölçer ve algılayıcıları (a) Parametre ölçer kapsülü (b) pH ve sıcaklık algılayıcıları  
(Intra-rumen parameter meters and sensors (a) Parameter meter capsule (b) Temperature sensor)

Arduino programlama devresi üzerine takılı olan alıcı, parametre ölçerin göndermiş olduğu RF' li veriyi anteni üzerinden alıp çözümlenerek Arduino programlama ortamına aktaran modüldür. Modül 5 V' luk bir Doğru Akım (DA) gerilimi ile çalışmakta olup, 105 dB' lik bir gürültü hassasiyetine sahiptir [25].

### 3.3. Seri Wi-Fi devresi (Serial Wi-Fi circuit)

Seri Wi-Fi devresi, iştakbe içi pH ve sıcaklık verilerini WEB ara yüzü, Thingspeak ve veri tabanına aktarılabilmesi yada BM denetleyicinin ürettiği ölçüm süresi sonuçlarını parametre ölçerin uyku modunu yönetmek üzere Arduino programlama ortamına aktarılabilmesini sağlamak için Wi-Fi hattı ile iletişim kuran bir arabirimdir. Tasarlanan sistemde seri Wi-Fi devresi olarak Şekil 5' te verilen ESP8266 modülü kullanılmıştır.



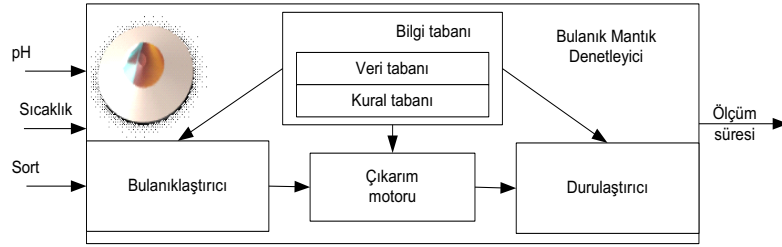
Şekil 5. ESP8266 Wi-Fi modülü (Fuzzy Logic (FL) controller)

Veri transferinde hiper-metin transfer protokolünü (http) kullanan ESP8266 modülü, düşük maliyetli ve düşük güç tüketimine sahip bir donanımdır. Bu modüller piyasada özellikle Arduino ile uyumlu bir donanım olarak tanıtılsa da, üzerinde bulunan 32 bit merkezi işlem birimi ve dışarı ile bağıntı kurmaya olanak sağlayan GPIO pinleri sayesinde her hangi mikrodenetleyiciye ihtiyaç duymadan da bağımsız olarak çalıştırılabilir [26]. Bilgi alış verişi sırasında iletişim kopukluğu önleme adına ESP8266 modüllerin donanım kurulmadan önce güncellenmesi gerekmektedir [27]. Güncelleme yapıp denetleyici üzerindeki kullanıcı adı ve şifreye bağlı bağlantı testi tamamlandıktan sonra modül kullanılabilir hale gelir.

### 3.4. Bulanık mantık (BM) denetleyici (Fuzzy Logic (FL) Controller)

BM denetleyici olarak Mamdani tip bir bulanık çıkarım modeli önerilmiştir. Bu denetleyici sistemde iştakbe sağlığı izleme parametrelerine bağlı olarak bir sonraki ölçümün süresine karar vermek için kullanılır. Bir başka deyişle o, sistemin iştakbe içi pH ve sıcaklık değerlerini hangi süre aralıkları ile ölçeceğine karar veren mekanizmadır. Bu yüzden sistemde denetleyici çıkış değişkeni olarak ölçüm süresi seçilmiştir. Bu süreye etki eden parametreler iştakbe içi pH seviyesi, sıcaklık seviyesi ve önceki ölçüm süreleri olduğu için pH, sıcaklık ve son 10 ölçüm süresinin ortalaması (Sort) denetleyici için giriş değişkenleri olarak atanmıştır. Denetleyiciye üçüncü giriş olarak Sort değişkeninin atanması, iştakbe sağlığı hakkında çok sayıda ölçüm sonucunun değerlendirilmeye katılmasının anlık ölçüm sonucundan daha gerçekçi olması sebebine dayanmaktadır. Şekil 6' da MATLAB ortamında tasarlanan BM

denetleyicinin temel bileşenleri gösteren blok diyagram verilmektedir.



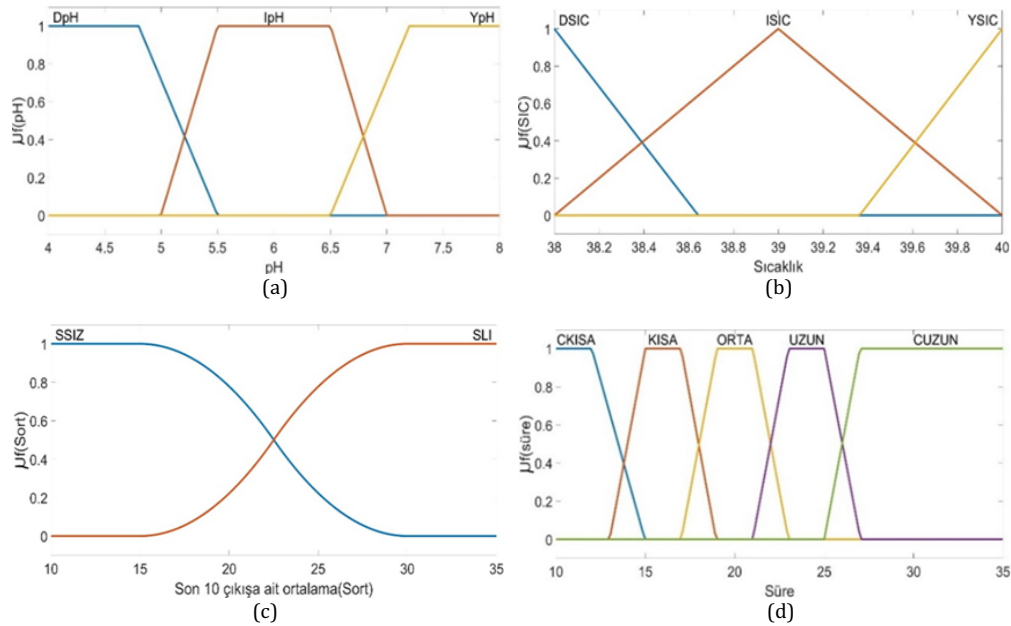
Şekil 6. İşkembe sağlığı izleme prototipi için tasarlanan BM denetleyici (FL controller designed for rumen health monitoring prototype)

BM denetleyicinin giriş ve çıkış değişkenlerini tanımladıktan sonraki süreçte giriş ve çıkış evrenlerinde tanımlanacak küme tipi, küme sayısı ve sınır değerlerine karar verilir. Literatürde büyükbaş hayvanların işkembe ile ilgili metabolizmalarının klinik incelemesi üzerine yapılan çalışmalar pH seviyesinin 5 ile 8 arasında değişebildiğini göstermektedir. Bu yüzden BM denetleyici için giriş pH evreni bu sınır değerleri arasında tanımlanmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak işkembe için pH seviyesinin 5.5-7 aralığında kabul edilebilir bir seviye olduğu belirtilmektedir. pH'ın 5 seviyesi altına düşmesinin işkembe içi sıvı durumunun aşırı asitik olmasına, 7.2 seviyesinin üzerinde olması ise ilgili sıvı durumunun aşırı bazik olmasına sebep olur. Aşırı asitik ve aşırı bazik ortamlar hayvan sağlığına zarar veren ve et ve süt verimini önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Bu veriler ışığında büyükbaş hayvanın işkembe içi pH seviyesi kabul edilebilir, aşırı asitik ve aşırı bazik olmak üzere üç farklı sözel ifade ile etiketlenebilir. Biz çalışmamızda kabul edilebilir pH seviyesini IDEAL pH (IpH), aşırı asitik pH seviyesini DÜŞÜK pH (DpH) ve aşırı bazik pH seviyesini YÜKSEK Ph (YpH) olarak etiketledik. Yukarıda verilen pH değerlendirmeleri kapsamında bu parametrenin belirli değer aralıklarında sadece üç etiketten birine ait olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden pH girişi için Şekil 7. a' da gösterildiği gibi yamuk tipi üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir.

Büyükbaş hayvanın işkembe içi ideal sıcaklığı normal vücut ısısından 1 C° daha fazladır. Bu 39 C° karşılık gelmekte olup, normal pH değişimleri bu sıcaklık değerini önemli oranda değiştirmez. Ani pH değişimlerinde bile bu değerdeki değişimler 1 C° geçmez. Bu yüzden BM denetleyicinin sıcaklık girişi, tepe noktası 38 C° ile 40 C° arasındaki tam değerlere karşılık gelen üçgen tipi üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı üç bulanık küme ile temsil edilmiştir. Kümelerin isimleri ise DÜŞÜK SICAKLIK (DSIC), IDEAL SICAKLIK (ISIC) ve YÜKSEK SICAKLIK (YSIC) olarak etiketlenmiştir. Şekil 7.b' de sıcaklık girişi için tanımlanmış üyelik fonksiyonları verilmiştir.

BM denetleyicinin girişine uygulanan son 10 ölçüm süresinin ortalaması (Sort) bize işkembenin 10 ölçümlük süreçte ortalama pH dengesi ile ilgili bir bilgi sunar. Sistem hayvanın sağlıklı olduğu dönemlerde işkembe içi pH seviyesi normal olduğu için daha uzun aralıklar ile ( $\geq 30$  dakika), sağlıksız olduğu dönemlerde ise işkembe içi pH dengesi bozuk olduğu için daha kısa aralıklar ile ( $\leq 15$  dakika) ölçüm olarak hem hayvanın sağlığını korumayı hem de ölçüm sisteminin daha az enerji tüketimine sahip olmasını hedefler. Bulanık mantık denetleyicilerin bilgi tabanlarının doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip olması onların çıktılarının da doğrusal olmayan bir karakteristik sergilemesine neden olur. Bu bilgiler ışığında Sort girişi, Şekil 7. c' de gösterildiği gibi doğrusal olmayan yapıya sahip sigmoid üyelik fonksiyonu üzerinden SAĞLIKLI (SLI) ve SAĞLIKSIZ (SSIZ) olmak üzere iki bulanık küme ile temsil edilmiştir. İlk bilgi üzerinden BM denetleyicisinin çıkışı, yamuk tip üyelik fonksiyonları ile isimleri ÇOK KISA (ÇKISA), KISA, ORTA, UZUN ve ÇOK UZUN (ÇUZUN) olan 5 bulanık küme ile tanımlanmıştır.

pH ve sıcaklık girişi için üçer bulanık küme ve Sort girişi için 2 bulanık küme tanımlandığı için denetleyicide girişler ile çıkış arasındaki ilişkiyi veren kural sayısı  $3 \times 3 \times 2 = 18$  olarak belirlenmiştir. Girişlerden sıcaklığın sadece ani pH değişimlerinde az bir miktar değişim göstermesi sebebi ile diğer iki değişkene göre çıkışa daha az tutulmuştur. Tablo 1 tasarlanan BM denetleyici için oluşturulmuş kural tablosunu göstermektedir.



Şekil 7. Tasarlanan BM denetleyici için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları (a) Giriş değişkeni "pH" (b) Giriş değişkeni "Sıcaklık" (c) Giriş değişkeni "Sort" (d) Çıkış değişkeni "Ölçüm süresi"  
(Input and output membership functions for the designed FL controller (a) Input variable "pH" (b) Input variable "Temperature" (c) Input variable "Sort" (d) Output variable "Measurement time")

Tablo 1. Tasarlanan BM denetleyicinin kural tablosu (The rule table of the designed fuzzy logic controller)

		Sıcaklık			
		DSIC	ISIC	YSIC	
pH	DpH	CKISA	CKISA	CKISA	SSIZ
	IpH	ORTA	UZUN	ORTA	
	YpH	CKISA	CKISA	CKISA	
Sort	DpH	CKISA	KISA	KISA	SLI
	IpH	UZUN	CUZUN	UZUN	
	YpH	KISA	KISA	KISA	

BM denetleyicilerin çıkarım işlemleri sürecinde maksimum-minimum (max-min) metodu, maksimum-çarpım (max-prod) ve maksimum drastik çarpım (max-drastic prod) gibi kuralın ateşlenme ağırlığının belirlenmesinde minimum işlemi, yerine çarpım işlemi kullanan metotlardan daha yaygın kullanılır. Durulaştırma sürecinde ise merkez (centroid) metodu doğrudan sözel çıkarım sonucunun ağırlık merkezini bulduğu için diğer durulaştırma metotlarına göre daha doğru bir sonuç üretir. Bu yüzden tasarlanan denetleyicinin çıkarım biriminde max-min metodu kullanılırken, durulaştırma biriminde merkez metodu kullanılmıştır.

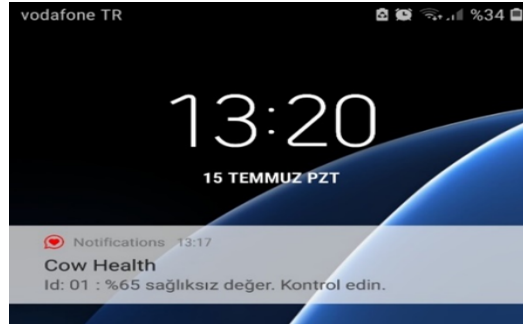
### 3.5. pH ve sıcaklık parametrelerinin görüntülenmesi ve izlenmesi (Displaying and monitoring of pH and temperature parameters)

İşkembe içi parametre ölçerden elde edilen sonuçların görüntülenmesi, kritik değerlerin uyarı amaçlı android sistemi üzerinden, detaylı bir şekilde izleme ve grafiksel olarak analiz etme amaçlı WEB arayüzü ve Thingspeak üzerinden yapılmıştır [28].

#### 3.5.1. Android işletim sistemi (Android operating system)

İşkembe içi parametre ölçerden elde edilen sonuçların son 20 değerinde %60 ve üzeri sağlıksız ölçümlerde veri tabanından kontrol yoluyla bu durumu belirleyen ve gerekli gördüğünde kullanıcıyı uyaran Android yazılımı geliştirilmiştir. Örnek bir uyarı bildirimini aşağıda gösterilmektedir.

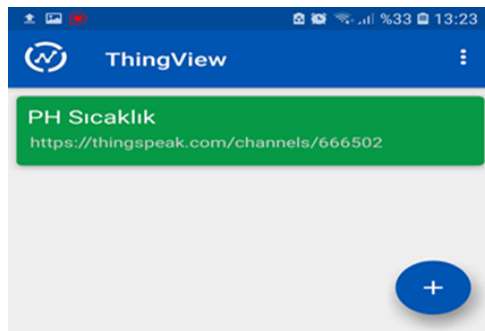




Şekil 8. Kullanıcıya gönderilen sağlıksız ölçüm bildirim ekran görüntüsü  
(Screenshot of unhealthy measurement notification to the user)

### 3.5.2. Thingspeak servisi (Thingspeak service)

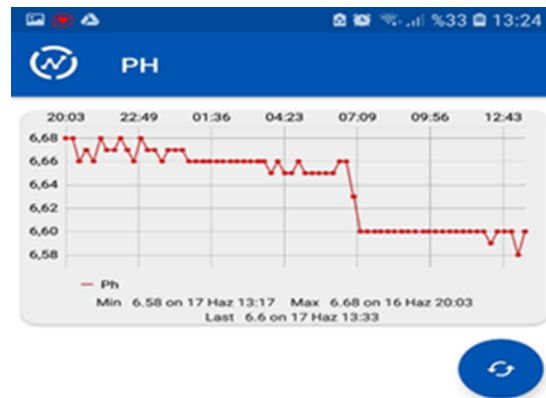
Yapılan her ölçüm aynı zamanda akıllı nesnelerin ürettiği verileri görüntülemeyi sağlayan Thingspeak servisine gönderilmektedir. Her hayvan için ayrı bir parametre ölçer kullanıldığından onların her biri için Thingspeak servisi üzerinde ayrı bir kanal açılır. Servisin ve kanalın ekran görüntüsü Şekil 9 a.' da gösterilmektedir. Servis üzerindeki kanalda tutulan verinin ham hali de Şekil 9.b' de çizelge olarak verilen resimde gösterilmektedir. Ölçümleri görülmek istenen her kanal için pH değerleri birlikte görüntülenmektedir. Kanalın ekran görüntüsü Şekil 9. c' de sunulmaktadır. Sonucu önemli olduğu düşünülen işlemler daha fazla detay bilgisi ile de görüntülenebilmektedir.



(a)

	A	B	C	D	E	F	G
1	created_at	entry_id	field1	field2	latitude	longitude	elevation,status
2	2019-01-07 16:03:39	+03,7	19.62	6.68	,,,,		
3	2019-01-07 16:07:22	+03,8	19.56	6.69	,,,,		
4	2019-01-07 16:18:57	+03,9	19.50	6.69	,,,,		
5	2019-01-07 16:50:22	+03,10	19.37	6.68	,,,,		
6	2019-01-07 17:02:40	+03,11	19.37	6.69	,,,,		
7	2019-01-07 17:20:30	+03,12	19.25	6.68	,,,,		

(b)



(c)

Şekil 9. Thingspeak üzerinden verilerin izlenmesi (a) Her bir hayvan için oluşturulan kanal (b) Kanallar üzerindeki ham veri (c) Bir kanal için pH ölçümleri  
(Monitoring data via Thingspeak (a) Channel created for each animal (b) Raw data on channels (c) pH measurements for a channel)

### 3.5.3. WEB uygulaması (WEB application)

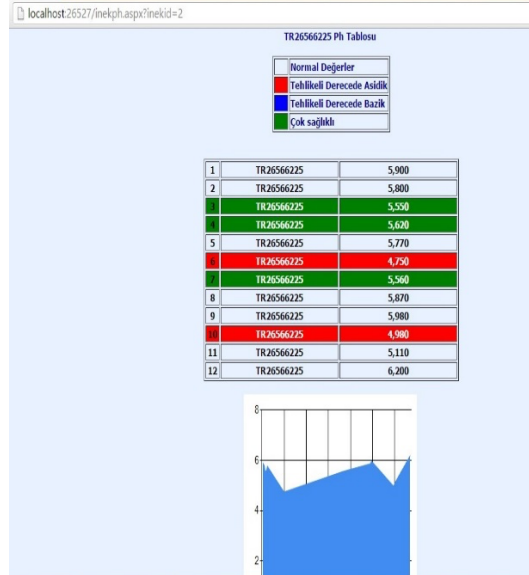
İşkembe içi parametre ölçümlerinin masa üstü bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet ve cep telefonu gibi farklı dijital ortamlardan izlenebilmesi için ASP.NET ile kullanıcı adı ve şifresine sahip bir WEB uygulaması geliştirilmiştir. WEB ara yüzüne giriş yönetici ve kullanıcı olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Normal kullanıcı şifresi ile yapılan girişte Şekil 10' da gösterildiği gibi ölçüm

sonuçları küpe numaralarına göre listelenen büyükbaş hayvanların (ineklerin) sağ tarafında bulunan “pH ölçümleri için tıklayın” yazısına tıklanarak görüntülenebilir. Bu sayfa üzerinden aynı zamanda ölçüm sonuçlarını görüntüleyebilmek için küpe numarası girilerek yeni büyükbaşlar (inekler) eklenebilir. Ancak güvenlik amaçlı olarak mevcut büyükbaşların sistemden düşürülmesi site yöneticisi tarafından yönetici panelinden veya veri tabanı üzerinden gerçekleştirilmektedir.



Şekil 10. İşkembe içi pH parametre ölçümlerinin izlenebilmesi için geliştirilen WEB ara yüzü-ilk sayfa (WEB interface developed for monitoring intra-rumen parameter measurements-first page)

Küpe numaralarının listelendiği tabloda bulunan herhangi bir küpe numarası için “pH ölçümleri için tıklayın” yazısına tıkladığında 12 pH ölçümünün tablo olarak görüntülediği sayfa Şekil 11’ de gösterilmiştir. Tablonun alt kısmında ise görsel olarak değişimi daha iyi algılayabilmemizi sağlayan bir grafik yer almaktadır. Bu sayfa link ile beraber gelen büyükbaş hayvan (inek) id parametre değerini kullanmakta ve buna göre şekillenmektedir. Eğer kullanıcı bütün ölçümleri bir sayfada görüntülemek isterse kullanıcı ekranındaki “Bütün Ph ölçümleri” linkine tıklayarak bütün pH ölçümlerini (sağlıklı ölçümler dahil) bir tek sayfada görüntüleyebilmektedir.

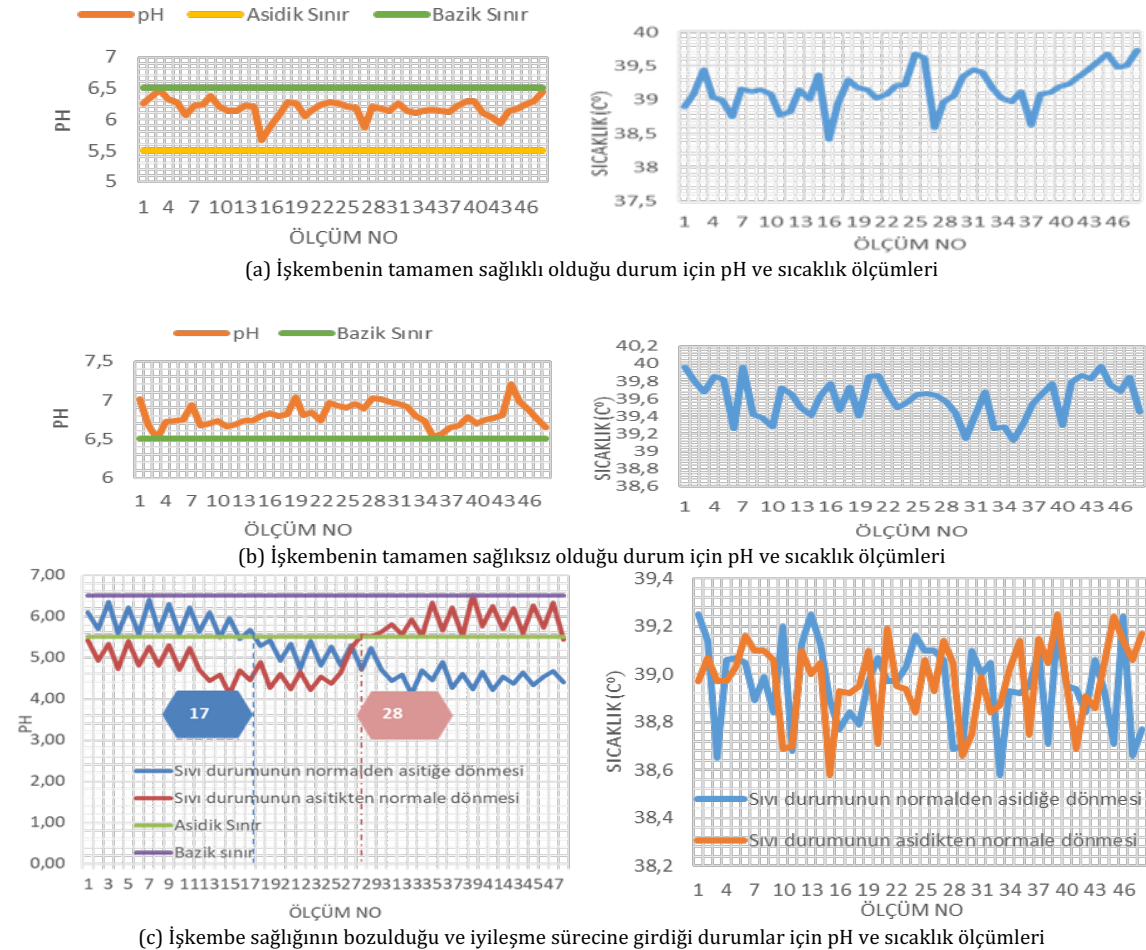


Şekil 11. İşkembe içi pH parametre ölçümlerinin izlenebilmesi için geliştirilen WEB ara yüzü-ikinci sayfa (WEB interface developed for monitoring intra-rumen parameter measurements-second page)

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Sistemin canlı hayvan üzerinde kullanılması ve denenmesi etik kurul kararına bağlı olduğundan işkembe içi pH ve sıcaklık ölçümleri; büyükbaş hayvanın işkembesinin tamamen sağlıklı olduğu, sağlığının bozulduğu, tamamen sağlıksız olduğu ve iyileşme sürecinde olduğu durumları içerecek

şekilde pH dengesi değiştirilen bir kap içerisinde bulunan sıvı üzerinden yapılmıştır [28]. Şekil 12 günlük bazda BM denetleyicinin belirlediği zaman aralıklarında dört farklı durum için parametre ölçer aracılığı ile bu kap içeresinden gerçekleştirilen pH ve sıcaklık ölçümlerini göstermektedir. Şekil 12 a' daki ölçümlerden anlaşılacağı üzere tamamen sağlıklı bir hayvanda işkembe içi pH seviyesi kap içerisinde 5.5-6.5 (asidik sınır-bazik sınır) aralığında değişecek şekilde ayarlanırken, sıcaklık için bu değer değişimi 38.4 ile 39.6 aralığında olacak şekilde düzenlemiştir. Şekil 12 b' deki tamamen sağlıklı bir hayvan için üretilen benzetim sonuçlarından pH değer değişimi 6.5 seviyesinin (bazik sınır) üzerinde gerçekleşirken, sıcaklık için bu değer değişimi 38.6 ile 39.7 aralığında kaldığı görülebilir.

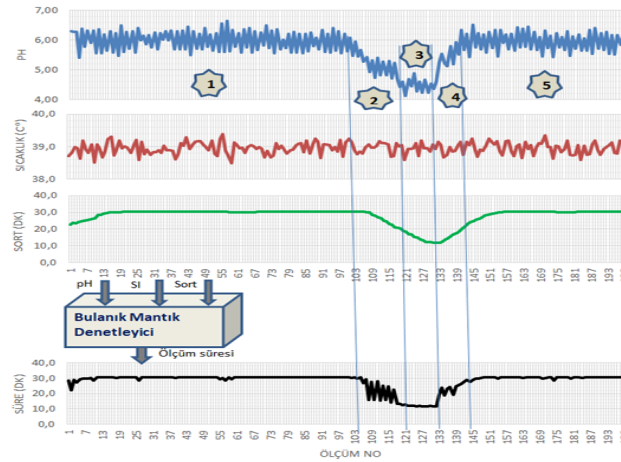


Şekil 12. Günlük bazda BM denetleyicinin belirlediği zaman aralıklarında işkembe içi pH ve sıcaklık ölçümleri (Intra-rumen pH and temperature measurements at time intervals determined by the FL controller on a daily basis)

Sağlıklı hayvan için verilen bu pH sonucu aynı zamanda işkembe içi sıvı değişiminin bazik olmasına da bir örnek teşkil eder. Çalışmada pH ve sıcaklık için üretilen benzetim verilerinde işkembe içi sıvı değişiminin asidik (pH seviyesi 5.5 altında) olduğu durumu temsil eden ölçüm sonuçları da mevcuttur. Şekil 12 c' deki işkembe sağlığının bozulduğu ve iyileşme sürecine girdiği durumlar için üretilen benzetim verilerinden mavi ile gösterilen grafikte 17. ölçüme kadar olan periyotta pH değişimi 5.5-6.5 aralığında yer aldığı için işkembe sağlığı normalken, bu noktadan sonra işkembe sağlığı pH seviyesinin asidik sınır 5.5' in altına inmesi ile bozulmaya başlamıştır. Aynı şekil üzerinde turuncu ile gösterilen grafikte 28. ölçümden sonra, daha önce asidik sınır seviyesi 5.5 'in altında devam eden pH değerinin sağlıklı bir işkembe olması gereken 5.5-6.5 aralığına yerleştiği görülmektedir. Bu periyot içerisinde sıcaklık değişimleri de diğer durumların sıcaklık değişimlerinde olduğu gibi sınırlı düzeyde kalmıştır.

Parametre ölçerin güç tüketimini azaltarak onu besleyen pilin ömrünü uzatmak için önerilen BM denetleyicinin amaçlar doğrultusunda sistemin çalışmasına katkısı, işkembe sağlığına bağlı olarak değişen farklı senaryolar şeklinde üretilen pH ve sıcaklık değerleri üzerinden test edilmiştir. Bu senaryolar büyükbaş hayvanın işkembesinin tamamen sağlıklı olduğu, sağlığının bozulmaya başladığı, sağlığının tamamen bozulduğu, sağlığının iyileşme sürecine girmeye başladığı ve yine tamamen sağlıklı

olduğu durumlar olmak üzere 5 farklı periyodu içerir. Şekil 13’ de bu periyotlardaki pH, sıcaklık ve Son 10 ölçüm süresi (Sort) girdilerine göre BM denetleyicinin ürettiği parametre ölçerin ne kadar aralıklar ile işkembeden ölçüm alacağını belirleyen süreye ait değişimler gösterilmiştir.



Şekil 13. BM denetleyicinin farklı işkembe sağlığı senaryoları altında değişen pH, sıcaklık ve Sort değerlerine bağlı olarak ölçüm süresi çıktısını elde etmesi (Obtaining the measurement time depending on the changing input parameters under different rumen health scenarios of the FL controller)

103 ölçümlük bir örneklem içeren 1. periyotta pH seviyesi tamamen sağlıklı bir işkembede olduğu gibi 5.5-6.5 aralığında değişmektedir. Sıcaklıktaki değişim ise hem bu periyot hem de diğer periyotlarda sınırlı bir değişim göstermektedir. Bu yüzden BM denetleyicinin çıkışı ağırlıklı olarak pH ve Sort parametrelerinin etkisinde kalmıştır. 1. Periyotta hem pH seviyesi hem de Sort değerindeki değişimler tamamen sağlıklı bir işkembe yansıttığından BM denetleyici çıktısı, bu periyottaki örneklemelerin büyük bir çoğunluğu için “sağlıklı bir işkembede daha uzun aralıklar ile ölçüm alınır” prensibine uygun bir şekilde (yaklaşık 30 dakika(dk)) elde edilmiştir. 2. Periyotta pH seviyesi hızlı bir şekilde düşerek 5.48-4.71 aralığına gelmiş ve sıvı değişimi normalden asidiğe dönerek işkembe sağlığı bozulmaya başlamıştır. Bu periyotta Sort değeri de kısa bir süre sabit kaldıktan sonra pH seviyesindeki düşüşle doğru orantılı olarak düşmüştür. Girişteki değişimlere bağlı olarak BM denetleyicinin çıkışı 27.7 dk-13.1 dk aralığında değişmiştir.

3. Periyot işkembe sıvısının aşırı asidik (pH seviyesi 4.8-4.1 aralığında) hale gelerek işkembe sağlığının tamamen bozulmasına neden olduğu durum görülmektedir. Bu periyotta Sort, süre ile ilgili son 10 değer in ortalamasını temsil eden bir parametre olduğu için pH seviye değişiminde olduğu gibi belli bir aralıkta değişmeyip 2. Periyotun sonunda kaldığı yerden doğrusal bir şekilde azalarak periyodun sonuna doğru 12 dk’lık sabit değerine ulaşmıştır. Bu girdilere bağlı olarak BM denetleyici ortalama 11.9 dk’lık ölçüm süresine denk gelen “işkembe sağlığı bozulmuş bir büyükbaş hayvandan daha sık aralıklar ile ölçüm alınır” prensibine uygun bir sonuç üretmiştir. 4. Periyotta pH değeri 4.63 seviyesinden hızlı bir şekilde yükselerek 5.66 seviyesine ulaşarak işkembe sağlığının iyileşme sürecine girmesini sağlamıştır. Bu süreçte Sort’ un değişim hızı pH’ ta ki değişime göre daha yavaş kalmıştır. BM denetleyicinin çıkışı ise 11.9 dk seviyesinden hızlı bir şekilde 27.6 dk seviyesine ulaşan logaritmik bir eğri formundadır. Eğrinin orta kısımlarında pH seviyesindeki değişimlerle orantılı bir salınım vuku bulmuştur. Bununla birlikte bu salınım, 2. periyottaki işkembe sağlığının bozulmaya başladığı süreçteki salınımına göre daha düşük düzeyde kalmıştır. Son olarak 5. Periyotta ise pH seviyesi normal değer aralığına döndüğü için işkembe tamamen sağlıklı bir duruma gelmiştir. Bu periyotta BM denetleyici girişindeki değişimler hemen hemen 1. periyottaki değişimler ile aynı olduğundan denetleyicinin çıktısı da benzer şekilde oldukça ilgili periyottaki değerlere yakın değerler olarak elde edilmiştir.

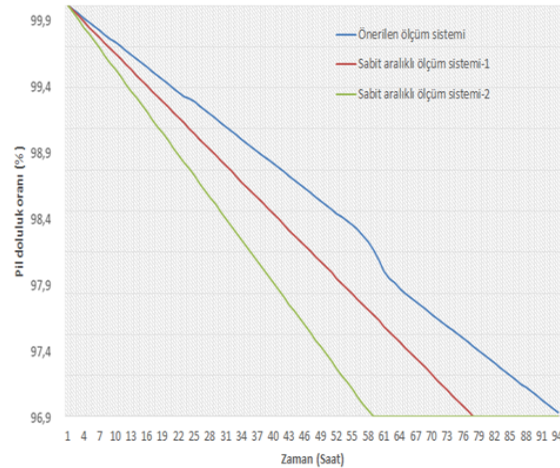
Sistemin enerji tüketimi üzerine etkisi, sabit aralıklarla ölçüm yapan iki farklı sistem ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Her iki tip sistemde de parametre ölçerin belli bir zaman dilimi için watt-saat birimi cinsinden pil üzerinden tükettiği enerjiyi ( $E_{pö-et}$ ); bir ölçümlük enerji tüketimini ( $E_{1-et}$ ), ölçüm aralığını ( $t_{öa}$ ) ve toplam çalışma süresini ( $t_{tcs}$ ) esas alan Eşitlik 1’ deki formülü kullanarak hesaplayabiliriz.

$$E_{pö-et} = 0.00155 \times \frac{1}{t_{öa}} \times t_{tcs} \quad (1)$$

Burada 0.00155 katsayısı, parametre ölçerin bir ölçümlük süreçte (15 saniye) 0.372 Watt'lık ölçülen güç tüketim değeri ile süreç zamanının (15/3600 saat) çarpımı sonucu bulunan  $E_{1-et}$  değerini temsil eder. Pilin doluluk oranı, depolanmış enerji ( $E_{pil}$ ) ile tüketilen enerji arasındaki farkın tekrar depolanmış enerjiye bölünmesi ile elde edilebilir. Aşağıda yüzde cinsinden pil doluluk oranını ( $DO_{pil}$ ) gösteren formül sunulmuştur.

$$DO_{pil} = \frac{E_{pil} - E_{pö-et}}{E_{pil}} \times 100 \quad (2)$$

Şekil 14' te önerilen sistemin sabit aralıklarla ölçüm yapan iki farklı sistem ile pil tüketimine etkileri açısından karşılaştırılmasını gösteren grafikler verilmiştir. Sabit aralıklar ile ölçüm yapan ilk sistem (ölçüm sistemi-1:15 dakikalık aralıklar ile ölçüm yapan sistem-yeşil grafik) ikinci sistemden (ölçüm sistemi-2: 20 dakikalık aralıklar ile ölçüm yapan sistem-bordo grafik) daha sık aralıklar ile ölçüm yaptığı için daha çok güç tüketimine sahiptir. Bu yüzden ilk sistemi kullanan pil ikinci sistemi kullanan pilden daha erken tükenecektir. Şekil 13' de verilen deneysel sonuçlardan anlaşılacağı üzere önerdiğimiz sistemin ölçüm aralığı işkembe içi ölçüm parametrelerine göre 10dk-35dk aralığında değişmektedir. İşkembe tamamen sağlıklı iken ölçüm parametrelerindeki değişime bağlı ortalama 28dk-35dk aralığında bir değer ile ölçümler gerçekleşirken, tamamen sağlıklı bir işkembe için bu değer 10dk-13.5dk arasında değişecektir. Şekil 14' den anlaşılacağı üzere toplam süre dikkate alındığında bu sürede daha uzun aralıklar ile ölçüm yapan önerdiğimiz sistemin güç tüketimi diğer iki sistemden daha azdır. Bunun sonucunda diğer iki sistemden de pili daha uzun süre kullanmaktadır.



Şekil 14. Önerilen sistemin sabit aralıklarla ölçüm yapan iki farklı sistem ile pil tüketimine etkileri açısından karşılaştırılması (Comparison of the proposed system with two different systems measuring at fixed intervals in terms of their effects on battery consumption)

## 5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada büyükbaş hayvanların işkembe içi parametre değişimlerini kablosuz olarak değişken zaman aralıkları ile alıp, aynı ağı kullanan farklı görüntüleme ve izleme ortamlarına aktaran Nİ temelli hayvan sağlığı izleme sistemi tasarlanmış ve uygulaması bir prototip üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada görüntüleme ve izleme ortamları olarak, kritik verilerin vuku bulması durumunda uyarma amaçlı android sistemi ve verileri incelemek ve analiz etmek için Thingspeak ve WEB ara yüzü kullanılmıştır. Özellikle hayvanların işkembe sağlığı ile ilgili veriler WEB ara yüzü üzerinden detaylı bir şekilde listelenebilmekte ve grafiksel olarak görüntülenip analiz edilebilmektedir.

Sistemi literatürdeki ve uygulamadaki çalışmalardan ayıran önemli bir özelliği de onun işkembe içi parametre ölçümlerini BM denetleyicinin belirlediği zaman aralıkları ile gerçekleştirmesidir. Zaman aralığı olarak ifade edilen bu süre, değeri işkembe içi parametre değişimleri ve hesaplanmış ölçüm süresi ile ilgili son 10 örneklemin ortalamasındaki değişime bağlı olarak değişmektedir. İşkembe sağlığının 5 farklı durumu dikkate alınarak bir kap içerisinde sunni olarak pH ve sıcaklık değerleri değiştirilerek oluşturulan işkembe sıvısı üzerinden alınan ölçümler ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, BM denetleyicinin işkembe sağlığının bozuk olduğu durumlarda daha kısa ve işkembenin sağlıklı olduğu durumlarda da daha uzun bir ölçüm süresi belirlediğini göstermiştir. Güç tüketimi üzerine elde edilen deneysel sonuçlardan önerilen sistemin sabit aralıklarla ölçüm yapan iki farklı sistemden daha düşük bir güç tüketimine sahip olduğunu ve buna bağlı olarak ta pilden tüketilen

enerjinin azaldığı gözlenmiştir. BM denetleyicinin sisteme olan diğer bir katkısı, hayvanının işkembe sağlığının bozuk olduğu dönemlerde daha sık aralıklar ile ölçüm alınmasını mümkün kılarak erken bilgilendirme sisteminin devreye alınmasında ortaya çıkar. Sistem, geliştirilen WEB ara yüzü sayesinde çiftçi yada veteriner hekimin hayvanın işkembe sağlığı ile ilgili geçmiş yada anlık verileri detaylı bir şekilde incelemesini olanak sağlayarak hayvan üzerinde farklı yemleme yöntemlerinin uygulanmasını da olası kılar. Bu durum hem hayvan sağlığının iyileşmesine hem de et ve süt verimliliğinin artmasına önemli katkılar sağlayabilir.

### Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

### Kaynaklar (References)

- [1] M. Z. Gündüz and R. Daş, "Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 24, no. 2, pp. 327-335, 2018. doi:10.5505/pajes.2017.89106.
- [2] E. Erdal, and A. Ergüzen, "Nesnelerin İnterneti (IoT)," *International Journal of Engineering Research and Development, Special Issue of Electrical Engineering & Computer Science*, vol. 12, no. 3, pp. 24-34, 2020. doi:10.29137/umagd.827676.
- [3] A. Vahid, and O. Dağdeviren, "Nesnelerin interneti için gerçek zamanlı tasarsız veri toplama platformu," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 13, no. 4, pp. 451-462, 2020. doi:10.17671/gazibtd.745598.
- [4] S. K. Supreeth, "IoT – Wildlife monitoring, virtual fencing with deforestation notifications," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 06, no. 02, pp. 1837-1840, Feb 2019.
- [5] X. Zhou, Z. Guan, E. Zhong, Y. Zhao, Y. Dai and K. Hu, "Rare wild animal ecological monitoring system based on internet of things-a case study of western black crested gibbon," in *Proc. of 12<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Xiangtan, China, 26-27 Oct. 2019*, IEEE, pp. 417-421. doi:10.1109/ICICTA49267.2019.00095.
- [6] P. Dulari, A. Bhushan, B. Bhushan and V. C. Chandel, "Internet of things (IoT) to study the wild life: a review," *Journal of Biological and Chemical Chronicles*, vol. 6, no. 2, pp. 11-15, 2020.
- [7] M. A. H. Faysal, M. R. Ahmed, M. M. Rahaman and F. Ahmed, "A Review of groundbreaking changes in the poultry industry in Bangladesh using the internet of things (IoT) and computer vision Technology," in *Proc. of 2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI), Rajshahi, Bangladesh, 8-9 Jul. 2021*, IEEE, pp. 1-6. doi:10.1109/ACMI53878.2021.9528235.
- [8] M. Singh, R. Kumar, D. Tandon, P. Sood and M. Sharma, "Artificial intelligence and IoT based monitoring of poultry health: a review," in *Proc. of 2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat), Batam, Indonesia, 7-18 Dec. 2020*, IEEE, pp. 50-54. doi:10.1109/Comnetsat50391.2020.9328930.
- [9] M. H. Memon, W. Kumar, A. Memon, B. S. Chowdhry, M. Aamir and P. Kumar, "Internet of things (IoT) enabled smart animal farm," in *Proc of 2016 3<sup>rd</sup> International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 16-18 Mar. 2016*, IEEE, pp. 2067-2072, INSPEC Accession Number: 16426460.
- [10] B.S. Thakur and J. Sheetalani, "Analyzing a cattle health monitoring system using IoT and its challenges in smart agriculture," *Intelligent System Design. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1171, 2021, [online] Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5400-1\\_79](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5400-1_79). [Accessed: Oct. 12, 2021].
- [11] K. A. Gündüz and E. T. Akyüz, "Nesnelerin interneti ve hayvancılık alanındaki uygulamalar," *Selçuk Üniversitesi Sosyal Ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, vol. 14, pp. 232-246, 2017.
- [12] C. H. Huang, P. Y. Shen and Y. C. Huang, "IoT-based physiological and environmental monitoring system in animal shelter," in *Proc. of 2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks, Sapporo, Japan, 7-10 Jul. 2015*, IEEE, pp. 317-322. doi:10.1109/ICUFN.2015.182557.
- [13] Faruq, I. Syarif, A. S. Ahsan, M. U. H. Al Rasyid and Y. P. Pratama, "Health monitoring and early diseases detection on dairy cow based on internet of things and intelligent system," in *Proc. of 2019 International Electronics Symposium (IES), Surabaya, Indonesia, 27-28 Sept. 2019*, IEEE, pp. 183-188. doi:10.1109/ELECSYM.2019.8901527.
- [14] A. A. Chaudhry, R. Mumtaz, S. M. Hassan Zaidi, M. A. Tahir and S. H. Muzammil School, "Internet of things (IoT) and machine learning (ML) enabled livestock monitoring," in *Proc. of 2020 IEEE 17<sup>th</sup> International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET), Charlotte, NC, USA, 14-16 Dec. 2020*, IEEE, pp. 151-155, doi: 10.1109/HONET50430.2020.9322666.
- [15] S. Muthumanickam, B. Keertana, L. Lavanya, S. Madhumitha and P. Sathvikaa, "Hardware implementation of health monitoring of domestic animals using RFID," in *Proc. of 2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Puducherry, India, 30-31 Jul. 2021*, IEEE, pp. 1-6. doi:10.1109/ICSCAN53069.2021.9526431.

- [16] A. Zaitov, "Internet of things for monitoring grazing cattles" in Master thesis in Embeded Systems School of Information and Communication Technology, Sweden:KTH Royal Institute of Technology Stockholm, Oct. 2016.
- [17] T. Xia et al., "Research and application of cow estrus detection based on the internet of things," in *Proc. of 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, Guangzhou, China, 21-24 Jul. 2017, IEEE, pp. 665-667. doi:10.1109/CSE-EUC.2017.125.
- [18] D. Gurusamy, T. K. Elemo, E. Emare and S. A. Kamaru, "Internet of things and wireless sensor network a technological marvel in better monitoring of cows," *International Journal of Information and Computing Science*, vol. 6, no. 4, pp. 53-58, Apr. 2019.
- [19] J. Park and E. Park, "Monitoring method of movement of grazing cows using cloud-based system," *ECTI Transactions On Computer and Information Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 24-33, Apr. 2021.
- [20] C. Yoon, M. Huh, S. -G. Kang, J. Park and C. Lee, "Implement smart farm with IoT technology," in *Proc. of 2018 20<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, Chuncheon, Korea (South), 11-14 Feb. 2018, IEEE, pp. 749-752. doi:10.23919/ICACT.2018.8323908
- [21] A. Easwaran,, P. Arvandan, E. Dhanyasree, R. Surya and S. Selvakumar, "Internet of things enabled smart animal farm prototype," *Journal of Physics Conference Series*, vol. 2070, No. 1, pp. 1-10, 2021. doi:10.1088/1742-6596/2070/1/012115
- [22] E. Kandemir, "Tak-Üret modunda tek dönüştürücülü maksimum verimde çalışan şebeke bağımlı PV panel sistemi tasarımı," YL tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2015.
- [23] J. Vedashree, S. Abinaya and M. H. Kishor. "Fire monitoring system using RF modüle," *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technolog*, vol. 5, no. 2, pp. 579-581, 2019.
- [24] "Arduino ile RF 433 MHz kablosuz iletişim modülü kullanımı," *www.kodlakafa.com*, [Online]. Available: <http://www.kodlakafa.com/arduino/arduino-ile-rf-433-mhz-kablosuz-iletisim-modulu-kullanimi>. [Accessed: Mar. 28, 2019].
- [25] "RF alıcı ve verici modül teknik özellikleri," *www.robotiksystem.com*, [Online]. Available: [http://www.robotiksystem.com/rf\\_alici\\_verici\\_modul.html](http://www.robotiksystem.com/rf_alici_verici_modul.html). [Accessed: Mar. 25, 2019].
- [26] A. Karacı, "Akıllı şehir hava takip sistemi ve astım hastaları için PM2.5 konsantrasyonu ölçüm aracının geliştirilmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 418-425, Sep. 2018. doi:10.21923/jesd.412665
- [27] E. Çağatay and Ö. Z. Ali. "İş sağlığı ve güvenliği için IoT tabanlı gömülü sistem tasarımı ve uygulaması," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 18, pp. 494-504, Apr. 2020. doi:10.31590/ejosat.692616
- [28] F. Gürcan, "Büyükbaş hayvanlarda işkembe sağlık durumu izleme sistemi prototipinin geliştirilmesi," YL Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.

This is an open access article under the CC-BY license

