

## Internet of Things and Agricultural Applications

Ali Çaylı<sup>1\*+</sup>

<sup>1</sup>Türkoğlu MYO, Kahramanmaraş Sutcu İmam University, Kahramanmaraş, Turkey

\*Corresponding author: alicayli@ksu.edu.tr

+Speaker: alicayli@ksu.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

**Abstract** – The increasing world population has increased the demand for food. Many threats such as agricultural land use, environmental impacts, global warming and drought risks necessitate industrialization of agricultural production and optimum utilization of existing agricultural areas. In recent years, rapidly increasing technological innovations to adapt to agricultural production systems allows the use of new production systems. Wireless sensor networks (WSN) and Internet of Things (IoT), called machine communication (M2M) assists decision-makers in the analysis of collected data and the control of complex systems through decision support systems. At the stage of storing, analyzing and obtain results the tremendous amount of data collected by heterogeneous IoT devices, cloud systems are needed, which is an Internet-based type of computing method that enables shared software and hardware information to be communicated to computers and other equipment on demand. Combining all of these systems can promote the rapid development of agricultural modernization. However, rapidly rising technological innovations bring some challenges. The application of these technologies to increase production in the agriculture and provide convenience does not enough interest from the producers, which is due to the lack of technical knowledge, the high costs of the systems and may also be a reluctance for new technological systems. In this study, some recent technological innovations, applications of the IoT in agriculture and some difficulties encountered are presented.

**Keywords** - Smart Agriculture, Internet of Things, Precision Agriculture, Wireless Sensor Networks

## Nesnelerin İnterneti ve Tarımsal Uygulamaları

**Özet** – Artan dünya nüfusu beraberinde gıdaya olan talebi de artırmıştır. Tarımsal alanların amacı dışında kullanımı, çevresel etkiler, küresel ısınma, kuraklık riskleri gibi birçok tehdit tarımsal üretimin endüstrileşmesini ve mevcut tarımsal alanların optimum düzeyde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda hızla yükselen teknolojik yeniliklerin tarımsal üretim sistemlerine adapte edilmesi yeni üretim sistemlerinin kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Kablosuz sensör ağları (Wireless Sensor Network, WSN) ve Nesnelerin İnterneti (Internet Of Things, IoT) olarak adlandırılan makineler arası iletişim (M2M), nesnelere veri toplanmasına, analiz edilmesine ve karar destek sistemleri sayesinde de karmaşık sistemlerin kontrolünde karar vericilere yardımcı olmaktadır. Heterojen yapıdaki IoT cihazları ile toplanan muazzam miktardaki verilerin (Big Data) depolanması, analiz edilmesi ve sonuç üretilmesi aşamasında, paylaşılan yazılım ve donanım bilgilerinin talep üzerine bilgisayarlara ve diğer donanımlara iletilmesini sağlayan internete dayalı bir tür bilgi işlem yöntemi olan bulut bilişim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerin hepsinin bir arada kullanılması tarımsal modernizasyonun hızlı gelişimini teşvik edebilir. Ancak hızla yükselen teknolojik yenilikler bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Tarımda üretimi artıracak ve kolaylıklar sağlayacak bu teknolojilerin uygulanması, teknik bilgi yetersizliği, sistemlerin maliyetlerinin yüksek oluşu ve yeni teknolojik sistemlere karşı çekingenlik gibi sebeplerden dolayı üreticiler tarafından yeterli ilgiyi görmemektedir. Bu çalışmada, son zamanlardaki bazı teknolojik yenilikler, nesnelerin internetinin tarımdaki uygulamaları ve karşılaşılan bazı zorluklar sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Akıllı tarım, Nesnelerin interneti, Hassas tarım, Kablosuz sensör ağları

### I. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu gıdaya olan talebi de artırmakta ve bu talebin karşılanabilmesi için yeni üretim modelleri ve yüksek yatırım gerektiren modern tarım uygulamaları geliştirilmektedir. Üretim maliyetlerinin düşürülerek düşük gelirli tüketicilerin de gıda talebinin karşılanabilmesi için tarım sektörünün endüstrileşmesini ve teknolojiyi daha yoğun kullanmayı gerektirmektedir. Endüstrinin birçok alanında teknolojik çözümler yaygın olarak kullanılmaktadır. Son

yıllarda İnternet ağının yaygınlaşması ve teknolojik gelişmeler sanayi sektöründe “Nesnelerin İnterneti” (Internet of Things) adı verilen, yeni bir teknolojinin kullanımı için alan açmıştır. Bu tür sistemlerin tarımda da kullanılması modern tarım uygulamalarına fırsat tanıyacak ve birçok yeni çözümler sunabilecektir.

İnternete bağlı cihaz sayısı 2020 yılında 50 milyara ulaşacaktır [1]. Manyika [2]'e göre 2025 yılında Nesnelerin İnterneti uygulamalarının doğrudan ve dolaylı olarak 3.9-11.1 trilyon dolar ekonomik potansiyele sahip olduğunu

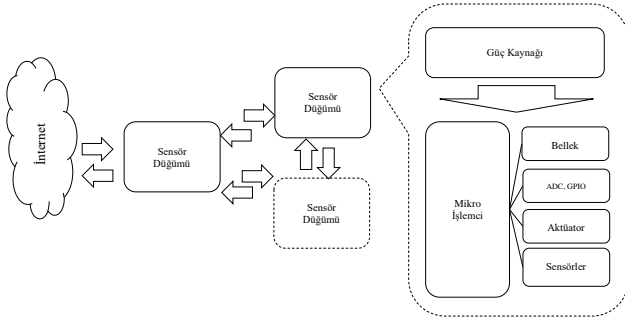
bildirmektedir. Tarımda verimlilik ve üretimin artırılmasında bu teknolojiden yararlanılması özellikle izleme ve kontrol sistemleri ile hassas tarım uygulamalarına geçiş, büyük önem arz etmektedir.

## II. NESNELERİN İNTERNETİ

Nesnelerin İnterneti temel olarak, algı katmanı (algılama), ağ katmanı (veri aktarımı) ve uygulama katmanı (veri depolama) olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Günümüze kadar büyük gelişmeler yaşanmasına rağmen, Nesnelerin İnterneti hala gelişmektedir [3, 4]. Algılama, iletim ve uygulama katmanlarından oluşan bu teknoloji, nesnelerin ilgili bilgilerinin, uzaktan algılanmasını ve izlenmesini mümkün hale getirmiştir.

### A. Algılama Katmanı

Bu katmanda, veri toplama ve bilgi sağlama amacıyla kullanılan temel öğe sensörlerdir. Bu cihazlar sabit veya hareketli kullanım amacıyla tasarlanabilmektedir [5]. Ayrıca RFID etiketleri, düşük güç tüketimine sahip sensörler ve kablosuz sensör düğümleri gibi donanımlar ortamdaki veri toplanması amacıyla kullanılırlar. Tipik bir kablosuz sensör düğümü, bir mikro işlemci, en az bir sensör modülü ve verilerin iletilmesi için düşük güç tüketimine sahip bir radyo vericisinden oluşur (Şekil 1).



Şekil 1 Tipik bir kablosuz sensör düğümü

### B. İletim Katmanı

İletim katmanında, kablosuz sensör ağı (KSA) ve RFID teknolojilerine sahip cihazlar ile Wi-Fi, Bluetooth, GPRS gibi geleneksel kablosuz iletişim protokollerinin yanında, bu amaç için tasarlanmış IEEE 802.15.4 standardı ve Zigbee gibi yeni nesil protokoller kullanılmaktadır. Bu protokoller sayesinde düğümler tarafından elde edilen veriler doğrudan veya dolaylı olarak başka bir düğüm üzerinden ana istasyona aktarılabilir. Düşük güç düğümlerinin iletişim gücü ve mesafesi sınırlıdır [6]. "İnternet" teriminin ima ettiği gibi, ağ oluşturma yeteneği bu cihazlarının temel özelliklerinden biridir. Günümüzde internette insanlar çoğunlukla son kullanıcı iken, Nesnelerin İnterneti insan dışı varlıkların interneti olacak ve bu nedenle çok sayıda makineden makineye (M2M) iletişim gerçekleşecektir [7]. İletişim için MQTT, XMPP, CoAP ve HTTP gibi farklı protokoller kullanılmaktadır. MQTT (Message Queue Telemetry Transport), 1999'da IBM ve Arcom'tan Arlen Nipper tarafından oluşturulmuş bir MQTT broker için yayınlama ve abonelik mekanizmasına dayanan, kısıtlı cihazlar ve düşük bant genişliği, yüksek gecikme süresi veya güvenilir ağlar için tasarlanmış son derece basit ve hafif bir yayıncı/abone mesajlaşma protokolüdür. Ağ bant genişliğini ve cihaz kaynak gereksinimi en az düzeyde, aynı zamanda güvenilirliği ve veri teslimatının bir ölçüde doğruluğunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Özellikle

düşük bant genişliği ile istemci cihazların daha düşük enerji harcamasını sağlar. İletişim TCP 1883 portundan, ya da rasgele bir ağ soketi üzerinden yapılmaktadır. Aynı zamanda güvensiz, kullanıcı adı-parola ve TLS/SSL olmak üzere üç güvenlik seviyesi sağlar. MQTT'nin bir diğer avantajı, en çok bilinen Mosquitto ve Paho gibi farklı programlama dilleri ile açık kaynak uygulamalarının da bulunmasıdır. MQTT'nin bir varyasyonu olan Zigbee gibi KSA protokolleri de bulunmaktadır [5]. Bluetooth düşük enerji, LoRa/LoRaWAN, DASH7 ve düşük güçlü Wi-Fi de son zamanlarda çeşitli dağıtımlarda ortaya çıkmıştır [7-9].

### C. Uygulama Katmanı

Uygulama veya yazılım katmanı olarak adlandırılabilir bu katman ise web tabanlı mobil uygulamalar başta olmak üzere, mikro işlemci (MCU) yazılımlarını, sunucu ve bulut bilişim yönetim yazılımları ile makineler arası iletişim protokolü (M2M) yazılımlarını kapsamaktadır [5].

Nesnelerin İnterneti uygulamalarında donanımsal olarak heterojen bir yapı söz konusudur. Çok sayıda ve farklı yapıdaki cihazın sisteme eş zamanlı bağlantı yapması, veri tiplerinin değişkenliği bir sorun oluşturmaktadır. Heterojen sistemler arasındaki makinadan bilgisayara olan iletişimi destekleyen çerçeve yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır [10]. Aynı zamanda geleneksel olarak kullanılan IPv4 sisteminde de yeterli adres bulunmamaktadır. Buna çözüm olarak sunulan IPv6 adresleme sistemi altyapısının tüm cihazlar tarafından desteklenmesi ile Nesnelerin İnterneti uygulamaları daha geniş alanlarda kullanılabilir olacaktır. Ancak Nesnelerin İnterneti yapısında kullanılan cihazların sınırlı yetenekleri IPv6 ve UDP veri transferini ve gelişmiş bazı ağ özelliklerinin kullanılmasını sınırlandırmaktadır [11]. Bu amaçla geliştirilen 6LoWPAN [12, 13] bu sorunlara çözüm üretebilecektir.

Nesnelerin İnternetinin ana hedefi, teknik özellikleri birbirinden farklı milyarlarca cihazın aynı ağda bulunarak bir arada haberleşmesine olanak tanımadır. Bu şekilde farklı yapıdaki cihazların birbirleri ile haberleşmesini sağlamak için bir ara katman (middleware) fikri ortaya atılmış ve büyük ilgi görmüştür [3]. Ara katman aynı zamanda bulut bilişim sistemi ile entegre edilerek servis odaklı mimari (SOA) adı verilen bir mekanizma sunulmuştur [14-16].

Nesnelerin İnterneti uygulamaları ile elde edilecek muazzam büyüklükteki verilerin depolanması ve işlenmesi de bir başka sorundur. Milyarlarca cihazın sürekli olarak ürettiği verinin işlenmesi ve bu amaçla geliştirilen yeni algoritmalar tarımsal alanda da yeni uygulamaların geliştirilmesine ve bakış açısının değişmesine neden olacaktır.

Modern tarım senaryolarında, kaydedilen veriler, doğrudan ölçülemeyen olgular hakkında bilgi elde etmek amacıyla yapay zekâ algoritmaları, makine öğrenme teknolojileri ve modellere dayalı karar verme sistemleri altında otomatik olarak işlenir, düzeltilir, kullanılır veya birleştirilir. Bu sistemler son kullanıcıya en uygun taktiği önerebilir ya da tam otomatik algılama ve kontrol çözümleri sunan işletici cihazlar için uygun kontrol sinyallerini üretebilir [7].

## III. TARIMDA KULLANILAN DONANIMLAR VE SENSÖRLER

Bilginin başlıca kaynaklarından biri de ölçüm verileridir. Bazı istisnalar olsa da yaygın olarak bilinen bir ifadeyle "ölçülemeyen bir şey yönetilemez". Veri toplama, kaydetme ve iletişim sağlamak için kullanılan bu tür araçların çoğu bilgi teknolojileri adı altında ele alınmaktadır [17].

Tarımsal üretimde çevre koşullarının izlenmesi ve uygunluğunun denetlenmesi yüksek verim ve kaliteli bir üretim için gereklidir. Bu amaçla sıcaklık, oransal nem, güneş ışınımı, basınç, toprak nemi, toprak sıcaklığı, toprak tuzluluğu ve diğer mekânsal verilerin ölçülmesi için farklı yapıda sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmacılar bu amaçlara uygun donanım ve sensör önerileri sunmaktadırlar [18-24]. Sunulan bu araştırma ve önerilerin birçoğu farklı iletişim ve uygulama yazılımları kullanan açık sistemlerdir. Bu sayede yeni uygulama konseptlerinin geliştirilmesi ve farklı alanlara adapte edilmesi mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda bu açık sistemlerin yanında ticari ürünlerde araştırmacılara ve üreticilere geniş bir yelpazede uygulama vizyonu sunmaktadır.

Sensörler, farklı değişkenlerin (örneğin toprak besinleri, hava durumu verileri) ve üretimi etkileyen faktörleri izlemek ve ölçmek için kullanılır. Sensörler, konum sensörleri, optik sensörler, mekanik sensörler, elektrokimyasal sensörler ve hava akımı sensörleri olarak sınıflandırılabilir [25]. Bu sensörler hava sıcaklığı, çeşitli derinliklerde toprak sıcaklığı, yağış, yaprak ıslaklığı, klorofil, rüzgâr hızı, çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgâr yönü, bağıl nem, güneş ışınımı ve atmosferik basınç gibi bilgileri toplamak için kullanılır. Tarımsal amaçlı kullanılan bazı sensör türleri Çizelge 1’de verilmiştir [26].

Çizelge 1. Tarımsal amaçlı kullanılan sensörler

Sensör tipi	Fonksiyon	Kullanım alanı
Optik	Toprak özelliklerini ölçmek için ışığın kullanılması	Toprağın kil, organik madde ve nem içeriğini belirlemek için foto-diyotlar ve foto-detektörler
Mekanik	Toprak sıkışmasını veya mekanik direnci ölçmek için problemlerin kullanılması	Su emiliminde köklerin kullandığı kuvveti tespit eden tansiyometreler
Elektro-kimyasal	Topraktaki belirli iyonları tespit etmek için elektrot kullanımı	Topraklarda azot fosfor potasyumunun (NPK) tespitinde iyon seçici elektrotların (ISE) ve iyon seçici alan etkili transistör sensörlerinin (ISEFT) kullanılması
Dielektrik toprak nemi	Topraktaki dielektrik sabitini ölçerek nem seviyesinin tespiti için elektrot kullanımı	Toprak su içeriğini algılamak için frekans bölgesi reflektometrisi (FDR) veya zaman bölgesi reflektometrisi (TDR)
Hava akımı	Toprak hava geçirgenliğini ölçmek	Sıkıştırma, yapı, toprak tipi ve toprağın nem seviyesi gibi özellikler ölçülebilir
Konum	Enlem, boylam ve rakımı için GPS uydularının kullanılması	GPS, hassas tarım için bir köşe taşı olan hassas konumlandırma sağlar

#### IV. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Kablosuz sensör ağları, esneklik, hata toleransı, yüksek algılama doğruluğu ve hızlı uygulama, mikro elektromekanik sistemlerin uzaktan kontrol edilmesini, uzaktan bilgi toplanması gibi birçok işlem ile yeni uygulama alanları bulmaktadır [27]. Sensörler, kablosuz sensör ağlarının temel bileşenidir. Bu teknoloji ağ sensörleri kullanır ve böylece üretim zincirindeki bilgi kullanımını artırarak tarımsal bir dönüşüm sunar [28]. Kablosuz iletişim ve elektronik alanındaki son gelişmeler, küçük boyutlu ve kısa mesafelerde iletişim kuran düşük maliyetli, düşük güçlü ve çok işlevli sensörlerin geliştirilmesine ve üretilmesine olanak sağlamıştır. Kablosuz bağlantılarla ağa bağlanmış ve çok sayıda konuşlandırılmış olan ucuz ve akıllı sensörler evleri, şehirleri ve çevreyi izlemek ve kontrol etmek için muazzam fırsatlar sunmaktadır [29]. Gelişen teknoloji ile boyutları küçülen sensörler hayatın hemen her alanında kullanılmaktadır. Sensörler ve sensör ağlarının sayısız yararları ile başarılı bir şekilde kullanıldığı alanlardan birisi de tarımdır. Tarımsal uygulamalarda veri toplama ve izleme gibi uygulamalar, yönetim ve işletme masrafları azaltarak, tarımsal üretimde kalite ve verimin artırılmasını sağlamaktadır [30]. Tarımsal alanda kullanılan cihazların ve sensörlerin kaliteli ve doğru ölçüm yapması uygulamaların başarısı için önemlidir. Zira tarımsal faaliyetlerin birçoğu geniş ve açık arazi koşullarında yürütülmektedir. Bu sebeple kullanılacak donanımların bu koşullara uygun ve dayanıklı olması aynı zamanda düşük güç tüketimi ile uzun süre çalışabilme kabiliyeti olmalıdır. Nesnelere interneti için kullanılan kablosuz teknolojiler, Mobil iletişim için Global Sistem (GSM), Kablosuz Kişisel Alan Ağı (WPAN), Kablosuz Bölgesel Alan Ağı (WRAN), Noktadan Noktaya (P2P), Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı

(LPN/LPWAN) olmak üzere yedi ana kategori ayrılabilir. Çeşitli kablosuz standartlara göre de çok sayıda kablosuz cihaz geliştirilmiştir.

#### V. TARIMDAKİ UYGULAMALAR

Hassas tarım, mahsul verimini arttırmak için ileri teknolojiyi kullanma sanatı ve bilimi olarak tanımlanmaktadır. Kablosuz sensör ağ teknolojileri, hassas tarımın gelişmesinde en büyük itici güçtür. Kablosuz iletişim ve elektronik alanındaki son gelişmeler, küçük boyutlu ve kısa mesafelerde iletişim kuran düşük maliyetli, düşük güçlü ve çok işlevli sensörlerin geliştirilmesine ve üretilmesine olanak sağlamıştır [30]. Geliştirilen bu sistemler tarımsal üretimin her aşamasında ihtiyaçlara cevap verecek niteliktedir. Ürünün yetiştirilmeye başlanmasından hasat edilip tüketiciye ulaştırılmasına kadar devam eden süreç içerisinde birçok farklı uygulamaya konu olmaktadır. Aynı zamanda kaliteli ve güvenli tarım ürünlerine olan talep bu tür akıllı sistemlerin geliştirilmesini ve kullanımını motive etmektedir.

##### A. İzleme ve Kontrol Sistemleri

Tarımsal üretimi etkileyen en önemli parametre çevre koşullarıdır. Uygun iklim koşullarının sağlanması ve bu koşulların takip edilmesi özellikle kontrollü üretim yapıları olan seralar başta olmak üzere birçok tarımsal yapıda ve üretim sistemlerinde çok önemlidir [31]. Elektronik teknolojisindeki hızlı gelişmeler, çeşitli düşük maliyetli algılama, izleme ve kontrol sistemlerinin önünü açmıştır [32]. Bu gelişmeler sayesinde sensör boyutları küçülmekte ve çevreleriyle etkileşime girebilen düşük maliyetli yetenekli makineler daha yaygın kullanılmaktadır. Bu cihazlara çeşitli ticari pazarlarda artık daha kolay erişilebilmektedir. Piyasada farklı markalar altında sayısız ticari veri toplama ürünü bulunmaktadır.

Geleneksel olarak kullanılan sistemler internetin yaygınlaşması ve daha yetenekli cihazların geliştirilmesi sayesinde kablosuz sistemler ve Nesnelerin İnterneti cihazlarına doğru bir değişim göstermiştir. Yüksek hesaplama kapasitesinin yanında düşük maliyet ve düşük güç tüketimi ile öne çıkan bu cihazlar, günümüzde daha çok kontrol ve izleme ihtiyacı olan seralarda iklimsel kontrol ve erken uyarı sistemleri, toplanan veriler ile sistemlerin tam ve otomatik olarak kontrol edilmesi ve görüntü işleme teknikleri kullanarak bitki gelişimi, arazi sınıflandırılması, hastalık ve zararlıların tespit edilmesi gibi birçok alanda yaygınlaşmaktadır.

Tarımsal alanda birçok KSA uygulaması yapılmıştır [33-35]. Liqiang, ve ark. [36] Buğday tarlası çevre koşulları izleme sistemi geliştirmişlerdir. Pawara, ve ark. [37] nar bahçesinde hastalık etmenlerinin gelişiminin izlenmesi ve erken uyarı amacıyla çevre koşullarının merkezi veri toplama istasyonuna aktarılması için bir sistem önermişlerdir. Ferentinos, ve ark. [38] KSA'nın sera ortamında kullanımı için tasarım ve işletim metodolojisi önermişlerdir. Zhou, ve ark. [39] sera sulama sistemini zigbee kablosuz ağ protokolü ve PID denetleyiciler ile kontrol etmiştir. Liu, ve ark. [40] akıllı sera çevre koşulları izleme sistemi geliştirmişlerdir. Wu, ve ark. [41] geliştirdikleri sistemin tarımsal amaçlı erken uyarı sistemi, su pompasının uzaktan ve akıllı kumanda edilmesi gibi birçok pratik uygulamada kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Shi, ve ark. [42] geliştirdikleri sistemle, serada mikro düzeyde çevresel parametrelerin izlenebileceğini, bu sistemin hızlı ve kolay ağ kurulumu, istikrarlı çalışma, genişleme imkânı ile düşük güç tüketimi gibi avantajı sahip olduğunu bildirmişlerdir. Wang, ve ark. [43] serada sıcaklık ve oransal nem parametrelerinin ölçümü için kablosuz sensör düğümü sistemi geliştirmiştir. Yang, ve ark. [44] sera ortamında fide üretim yönetimi için RFID tabanlı entegre çok fonksiyonlu uzaktan algılama sistemi geliştirmiştir. Lea-Cox, ve ark. [45] sera ortamında KSA ile düşük maliyetli çevresel izleme ve kontrol sistemi önermişlerdir. Damas, ve ark. [46] İspanya'da sulama yapılan geniş alanlarda çok sayıda su dağıtım vanasını uzaktan kontrol etmişler ve su sarfiyatında %30-60 oranında tasarruf ettiklerini bildirmişlerdir. Ehlert, ve ark. [47] bitki gelişme oranına göre azot gübrelemesi için kullandıkları KSA sistemi ile %10-12 oranında gübre tasarrufu sağlamışlardır. He, ve ark. [48] IEEE 802.11 Wi-Fi protokolü ile kablosuz sensörler ile topladıkları veriler ile gübreleme algoritması ve bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Zhang, ve ark. [49] hava sıcaklığı, ortam nemi ve ışığı kablosuz sensörler ile ölçerek bitki sağlığı değerlendirmek için analiz yapmışlardır. Gang [50] seralarda geleneksel veri toplama sistemleri yerine bluetooth teknolojisi ile geliştirdikleri sistemin avantajlarını rapor etmiştir. Kolokotsa, ve ark. [51] seralar için geliştirdikleri akıllı çevre ve enerji yönetim sistemi ile iç ortam ışık, sıcaklık, bağıl nem, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve dış sıcaklık verilerini izleyerek bulanık mantık kontrolü ile seranın iç ortam iklimini kontrol etmişlerdir. Polo, ve ark. [52] toplam maliyeti 900 dolar olan düşük maliyetli bir insansız hava aracı ile kablosuz sensör ağı sistemi geliştirmişler ve sistemin geleneksel sensör sisteminin kullanılmasının mümkün olmadığı geniş alanlarda başarılı bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Awasthi ve Reddy [53] kablosuz sensör ağı ve hassas tarıma odaklı yaptığı çalışmasında, mevcut uzaktan izleme ve kontrol sistemlerini sınıflandırmıştır.

## B. Görüntü İşleme

Bir bitkideki farklı gelişim parametrelerinin izlenmesi, tarımsal üretimi iyileştirmek için yararlı bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Hassas tarımda mahsul izleme, çok sayıda teknolojiyle sağlanabilir; ancak, kablosuz sensör ağlarının kullanılması düşük maliyetli ve düşük güç tüketimi nedeniyle öne çıkmaktadır. Ayrıca bitkilerin davetsiz misafirlerden (insan veya hayvanlar) ve üretim işleminin yetersiz kontrolünden olumsuz etkilendiği de bilinmektedir. Görüntü işleme tekniği, davetsiz misafirleri tespit etmek ve tanımlamak ayrıca üretim sürecini daha iyi kontrol etmek için iyi bir çözümdür [54]. Wang, ve ark. [55] sera içindeki sıcaklık ve nemi doğru bir şekilde ölçebilen ve resim işleme yazılımı ile ürünlerin büyüme koşullarının tespit edilebilen bir tarımsal bilgi toplama robotu geliştirmişlerdir. Meda, ve ark. [56] bitki sağlığının izlenmesi ayrıca bakteri ve mantar hastalıklarının tespit edilmesi için regresyon modeli ile görüntü işleme kullanan bir sistem önermişlerdir. Wang, ve ark. [57] makine görüşüne dayalı yaklaşım ile hastalıktan etkilenen yaprak veya bitkiyi tespit etmek için boyut, şekil, doku, renk ve konum esaslı özellikleri inceleyen Nesnelerin İnterneti tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Oliver, ve ark. [58] çiftçilerin ürün kalitesini iyileştirmesine ve bağ alanlarındaki kayıpları azaltmasına yardımcı olmak amacıyla bazı bağ hastalıklarının izlemek ve tahmin etmek için görüntü işleme tekniklerine dayalı Nesnelerin İnterneti ortamı tasarlamışlardır. González, ve ark. [59] meyve ağaçlarındaki zararlı popülasyonunu tespit etmek için ağaçlara yerleştirilen böcek tuzaklarında sayım yapan kablosuz görüntü işleme sistemi geliştirmişlerdir. Azfar, ve ark. [60] haşere kontrol mekanizmasını teknolojik, teknolojik olmayan ve entegre çözümlerde analiz ederek etkinlik, maliyet ve diğer performans parametrelerine göre karşılaştırmışlardır.

## C. Hayvancılık Alanında Kullanımı

Hayvancılık işletmelerinde verim, diğer tarımsal faaliyetlerdeki gibi çevresel koşullarla yakından ilgilidir [61-63]. Süt üretimi yapılan ahır ve sağım tesisleri ile kanatlı kümes hayvanlarında üretim sürecindeki çevre koşulları, yem tüketimleri, hayvanların fizyolojik verileri gibi birçok veri Nesnelerin İnterneti uygulaması ile toplanabilir. Toplanan bu verilerle yapılacak analizler, verimliliği kısıtlayan sorunların anlaşılması ve çözülmesine yardımcı olabilir.

Kırsal alanlarda en büyük finansal kazancın kaynağı tarımdır. Bu nedenle çiftçilerin verimliliği artırmak, hayvancılık ve mahsulle ilgili sorunları azaltmak için etkili teknik yöntemler uygulamak esastır. Bilgi işlem ve bilgi depolamadaki gelişmeler çok miktarda verinin depolanabilmesini sağlamıştır. Buradaki zorluk, bilgi açığını kapatabilecek veri madenciliği gibi yeni yöntem ve tekniklere yol açan bu ham verilerden bilgi elde etmektir [64].

Corkery, ve ark. [62] tavuk kümesleri çevre koşulları ve hava kalitesi verilerini toplayarak yaptıkları çalışmada çevre koşullarının iç ortam hava kalitesine etkisinin önemli olduğunu, çevresel parametreler arasındaki ilişkilerin daha geniş kapsamlı araştırılması için daha fazla veri toplanması gerektiğini bildirmişlerdir. Zhang, ve ark. [61] tavuk yetiştiriciliği ortamı için 16 kanallı bir kablosuz izleme cihazının şematik diyagramları ve PCB çizimlerini ve üreme ortamı bilgisini elde etmek için kullanılan MCU programı, kalp atışı mekanizması programı ve bir döngüde verileri okumak için bir program tasarlayarak, Nesnelerin İnterneti tabanlı açık hayvancılık ve kanatlı hayvan yetiştirme ortamı izleme cihazları geliştirmişlerdir. Geliştirilen cihaz tasarımının

hayvancılık ve kümes hayvancılığının modern yönetimi için teknik destek sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Shinde ve Prasad [64] hayvanlar üzerine yerleştirdikleri sensörler ile (sıcaklık, kalp atış hızı, ağırlık) fiziksel bilgilerini toplayarak Bayes sınıflandırma yöntemine göre analiz eden bir Nesnelerin İnterneti sistemi önermişlerdir.

Kablosuz sensörler ile Nesnelerin İnterneti, koku ve tehlikeli gaz izlemenin yanı sıra [65-67], hayvan izleme ve davranış analizlerinde de kullanılmıştır [68-73].

#### D. Gıda Tedarik Zincirinde Kullanımı

Gıda güvenliği, FAO [74] tarafından “Tüm insanların, her zaman, aktif ve sağlıklı bir yaşam için beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılamak amacıyla yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel ve ekonomik erişim sağlanması” olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple üreticiden tüketiciye gıda tedarikinin her aşamasında izlenebilirlik önem kazanmaktadır. Nesnelerin İnterneti bu aşamada faydalı bir araç olarak kullanılabilir. Son on yılda, insan sağlığı üzerinde etkisi olan bir düzine gıda krizi yaşanmıştır. Gıda kontaminasyon sorununa çözüm için AB, tüm gıda ve yem üreticilerinin özel izlenebilirlik sistemleri uygulamasını zorlayan üretim, işleme ve dağıtımın tüm aşamalarında gıda izlenebilirliği için bir dizi yasa ve standart uygulamaktadır. Bu sistemin en önemli unsurlarından biri, üreticiden tüketiciye gıda nakliyesi ve taşıma sürecinde gıda kalitesini izleme imkânı sağlamasıdır. Günümüzde Nesnelerin İnterneti gibi yeni teknolojilerin kullanılması ile gıda üreticileri, taşımacılık ve perakende şirketleri ile bağlantı kurmak mümkün olabilmektedir [75].

Gıda taşımacılığı sırasında karşılaşılan riskler 15 ana grup altında toplanabilir. Bunlar; soğutma ve sıcaklık kontrolü, nakliye birimi yönetimi (önleme, temizlik, vb.), paketleme, yükleme ve boşaltma, güvenlik, haşere kontrolü, konteyner tasarımı, koruyucu bakım, çalışan hijyeni, politikalar, iade yüklerin taşınması, bekletme ve izlenebilirlik [76]. Bu nedenle, güvenli gıda ürünleri taşımacılığını sağlamak ve herhangi bir kontaminasyondan kaçınmak için, üretim noktaları ile kullanım noktaları arasındaki ulaşımda izlenebilirlik oldukça önemlidir. Aynı zamanda merkezi veri toplama ve analitik desteğiyle, Nesnelerin İnterneti tabanlı mekanizmalar gıda bozulmasından kaynaklı israfı önemli ölçüde azaltabilir, taşıma ve dağıtım verimliliğini artırabilir ve kirli ya da bozuk ürünlerin taze gıda tedarik zincirinden hızla çıkarılmasını destekleyebilir [77, 78].

RFID gıda tedarik zincirinde en yaygın kullanılan teknolojilerden birisidir. Bu alanda yapılan çalışmalar genel olarak ürünlerden alınan sensör verilerinin RFID bilgisi ile eşleştirilmesi ve bu sayede ürün durumunun izlenmesine olanak sağlayan tasarımlardan oluşmaktadır. Bu teknolojisi ile tarım ve gıda tedarik zincirinin tamamında, üretim, işleme, depolama, dağıtım ve satış bağlantılarındaki gıda verilerinin toplanması, aktarılması ve paylaşılması yoluyla gıda güvenliğini etkin bir şekilde sağlayacak olan izlenebilirlik gerçekleştirilebilir [79]. Maksimovic, ve ark. [75] taşıma sırasında gıda maddelerinin izlenmesi için düşük maliyetli, küçük boyutlu, esnek, hızlı sistem genişletme, gerçek zamanlı erişim ve otomatik kargo tanımlama özelliklerine sahip bir sistem önermişlerdir. Verdouw, ve ark. [80] tarımsal gıda tedarik zincirlerinde Nesnelerin İnterneti tabanlı lojistik bilgi sistemleri için bir referans mimarisi geliştirmişlerdir. Bu mimaride, teknoloji olanaklarını kullanıp, alana özgü işlevlerin yeniden kullanılmasını kolaylaştırarak, düşük maliyetli özel çözümler sağlanmasını destekleyen Nesnelerin

İnterneti ve bulut bilişimi birleştiren karma bir çözüm sunmuşlardır. Önerilen diğer sistemler, ölçülen olaylara ve yapay zekaya dayalı otomatik servisler, akıllı tasarımlar ve otomatik karar verme yeteneği sunmaktadır [81-85]. Gıda tedarik zincirinin hem mikro hem de makro yönlerini dikkate alan veri odaklı analiz yapmak için kullanılan çeşitli çerçeveler de (Framework) sunulmuştur [86-89].

## VI. KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Nesnelerin İnternetinin tarımsal alanda uygulanması teknik ve ekonomik zorluklar olarak iki başlık altında incelenebilir.

### A. Teknik Zorluklar

Tarımsal alanda kullanılan ekipman, yüksek güneş ışınları, aşırı sıcaklıklar, yağmur veya yüksek nem, güçlü rüzgarlar, titreşimler ve elektronik devreleri tahrip edebilecek diğer tehlikeler gibi çevresel olaylara doğrudan maruz bırakılmak zorundadır. Aynı zamanda uç noktadaki cihazların, bataryaların sınırlı güç kaynakları ile uzun süre aktif kalması ve güvenilir şekilde çalışması gerekir. Bu nedenle, sık sık pil değişimi veya istasyonların sıfırlanması nedeniyle (program arızası durumunda) uygun programlama araçları ile yeniden programlanması zorunluluğu, geniş ölçekli açık alanlarda sorun olabilir [7]. Kablosuz sensör uygulamalarının güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları kullanması ve bu suretle bataryalarını şarj etmeleri batarya sorununun bir çözüm olarak sunulabilir [90-92]. Güç hasadı bir dereceye kadar bir çözüm olabilir ancak bu cihazların güç tüketimi, küçük güç toplama modüllerinin (örneğin güneş panelleri, rüzgâr türbinleri vb.) kapasiteleri dahilinde olmak zorundadır. Dahası, birbiriyle bağlantılı cihazların büyük bir kısmı inanılmaz derecede büyük veri üretir ve bu da küçük ölçekli sunucu altyapılarının kaynak kapasitelerinin ötesine geçebilir [3, 93]. Bu cihazların ürettikleri verilerin aktarımında da veri yapıları açısından bir tekdüzellik yoktur. Milyarlarca cihazın birlikte çalışması için gereken protokol ve standartlar üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir [94]. Sözdizimsel birlikte çalışabilirlik için XML, JSON, CSV gibi veri biçimleri kullanılmaktadır [95].

Nesnelerin İnternetinde, birlikte çalışabilirlik en büyük zorluktur. Kablosuz iletişimde yaygın olan diğer bir sorun, aynı bantta (örneğin Bluetooth, ZigBee ve Wi-Fi) veya komşu bantlarda çalışan cihazlar arasındaki parazittir. Çok sayıda ve farklı yapıdaki Nesnelerin İnterneti cihazlarının elektromanyetik spektrumda lisanslı olmayan frekansları kullanmaları istenmeyen veri kayıplarına ve parazitlere neden olabilir [26]. Veri güvenliği ve gizlilik ise bir başka sorundur. Özellikle çok miktarda ve farklı ortamdaki toplanan verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve üreticilerin bazı hassas bilgileri için gizliliğin sağlanması konularında çeşitli tartışmalar vardır [96, 97]. Günümüzde halen bilgisayar korsanlarının saldırıları sonucu birçok sistem zarar görmekte veya hizmet veremez duruma gelebilmektedir. Bu durum Nesnelerin İnterneti cihazları veya buradan elde edilen verilerin iletildiği sunucular için de bir risk oluşturmaktadır. Bu sistemler, ağ geçidi tıkanıklık saldırısına, hizmet reddine (DDoS) ve yönlendirme saldırılarına eğilimli olabilir. Hassas tarım için kullanılan konum tabanlı servis, cihaz yakalama saldırısı gibi saldırılara maruz kalabilir [97, 98].

### B. Ekonomik Zorluklar

Tarımda Nesnelerin İnternetinin ekonomik açıdan, kurulum ve işletme maliyeti olarak iki grupta ele alınması gerekir. Kurulum maliyeti, sensörler, mikroişlemci ve bellek birimleri,

aktüatör, güç besleme birimini içerir. Özellikle geniş alanlardan çok noktadan veri toplanması istendiğinde, cihaz sayısı artacağından, maliyet bir sorun oluşturacaktır. Çünkü kaliteli veri için kaliteli sensörlerin kullanılması gerekir. Kaliteli sensörlerin maliyeti ise yüksektir.

Kurulan bir sistemin bulut ortamı veya merkezi bir sunucu gibi bir başka ortama veri aktarması için bir iletim ortamına da ihtiyaç duyulur. Genellikle tarımsal alanlarda ağ bağlantısı sağlamak için geleneksel alt yapılar bulunmadığından GSM veya uydu bağlantılı sistemler kullanılmaktadır. Bu da daha fazla maliyet getirebilir.

Toplanan verilerin depolanması ve analiz edilmesi için bir veri deposuna ihtiyaç vardır. Bu hizmeti ücretsiz veren kuruluşlar vardır. Ancak bunlar belli sayıda donanım ve veri yoğunluğuna izin vermektedir. Büyük verilerin depolanması ve işlenmesi için çiftçilerin ya kendi sunucularını işletmesi veya bu tür hizmet veren kuruluşlardan ücretli olarak hizmet almaları gerekecektir.

Nesnelerin İnterneti cihazları düşük güçte genellikle batarya beslemesi ile çalışan cihazlardır. Bu cihazların periyodik olarak bakımlarının yapılması, yıpranmış bataryaların değiştirilmesi hem işgücü hem de ekonomik bir yük getirecektir. Aynı zamanda tarımsal işletmelerde yeterli teknik bilgiye sahip personel istihdam edilmesi gerekebilir.

Özellikle kırsal alanlarda bulunan çiftçilerin yeterli teknik bilgisinin olmaması Nesnelerin İnternetinin tarımda benimsenmesini yavaşlatan önemli bir faktördür. Bu, çiftçilerin çoğunun kırsal kesimde sıklıkla bulunduğu ve çoğunlukla eğitimsiz olduğu gelişmekte olan ülkelerde yaygındır. Çiftçinin bilgi teknolojilerini kullanamaması, tarımsal üretim için büyük bir engel teşkil etmektedir [99].

Çiftçiler, Nesnelerin İnterneti teknolojilerini kullanarak kendi çiftliklerinden toplanan verilerden gelir elde etmeyi destekleyen iş modelleri ile ilgilenebilirler. Sağlanan veriler servis sağlayıcılar tarafından sömürülmektedir ve bu, çiftçilerin verilerinin kontrolü ve mülkiyeti için bir tartışma alanı olmaya devam etmektedir [26].

Büyük verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için yazılım geliştirilmesi veya kiralınması da ek bir maliyet getirebilir. Tarımsal üretimin her bir dalında farklı üretim sistemleri ve farklı materyaller kullanılmaktadır. Yazılımlar için girdi parametrelerinin farklılığı, geliştirilecek yazılımların da farklı algoritma ve analiz yöntemlerine göre tasarlanması zorunluluğunu beraberinde getirmektedir.

## VII. SONUÇ

Nesnelerin İnterneti, üreticilere her yerden ve her zaman üretim sistemlerinin çevre koşullarını izleme, süreçleri kontrol etme ve otomatikleştirme imkânı sağlayarak üretim maliyetlerini azaltıp verimliliği de artırabilir. Bu çalışmada yapılan literatür taraması Nesnelerin İnternetinin tarımsal alandaki uygulamaları konusunda birçok çalışma yapıldığını ortaya koymaktadır. Nesnelerin İnterneti sadece araziden veri toplama değil aynı zamanda toplanan verilerin analiz edilmesi ve sonuç üretilmesini de kapsamaktadır. Üretimden tüketim noktasına kadar verim ve kalitenin artırılması, işgücü optimizasyonu, israfın önlenmesi ve kaynakların verimli kullanılması gibi birçok alanda yeni çözümler getirmektedir. Tarımsal alanda bu sistemin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel, maliyet ve teknik bilgi eksikliğidir. Ayrıca veri mahremiyeti, veri güvenliği ve bazı teknik zorluklarında aşılması gereklidir. Aynı zamanda bazı teknik standartların ve yasal düzenlemelerin de yapılması gerekebilir. Daha geniş bir

kullanım için özellikle küçük ve orta ölçekli tarımsal işletmelerde sistemin teşvik edilmesi ve teknik bilgi desteği sağlanması önemlidir. Aynı zamanda tarımsal veri depolama ve işleme odaklı yeni iş modellerinin de yaygınlaşması hem çiftçi tarafına hem de teknoloji şirketlerine fayda sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] D. Evans, "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything," *CISCO white paper*, vol. 1, no. 2011, pp. 1-11, 2011.
- [2] J. Manyika, *The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype*. McKinsey Global Institute, 2015.
- [3] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 10/28/ 2010.
- [4] S. Sarkar, S. Chatterjee, and S. Misra, "Assessment of the Suitability of Fog Computing in the Context of Internet of Things," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 6, no. 1, pp. 46-59, 2018.
- [5] A. Çaylı, A. Akyüz, A. N. Baytorun, S. Boyacı, S. Üstün, and F. B. Kozak, "Control of Greenhouse Environmental Conditions with IOT Based Monitoring and Analysis System," *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, vol. 5, no. 11, pp. 1279-1289, 2017.
- [6] A. Çaylı and A. S. Mercanlı, "The Impact of Greenhouse Environmental Conditions on the Signal Strength of wi-fi Based Sensor Network," *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, vol. 5, no. 6, pp. 774-781, 2017.
- [7] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, "Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 31-48, 2017.
- [8] A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadinia, and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks," in *SENSORS, 2016 IEEE*, 2016, pp. 1-3: IEEE.
- [9] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, and T. Watteyne, "Understanding the limits of LoRaWAN," *IEEE Communications magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34-40, 2017.
- [10] S. Sarangi, J. Umadikar, and S. Kar, "Automation of Agriculture Support Systems using Wisekar: Case study of a crop-disease advisory service," (in English), *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 122, pp. 200-210, Mar 2016.
- [11] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, 2014.
- [12] J. Hui and P. Thubert, "Compression format for IPv6 datagrams over IEEE 802.15. 4-based networks," 2070-1721, 2011.
- [13] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15. 4 networks," 2070-1721, 2007.
- [14] B. Cheng, D. Zhu, S. Zhao, and J. Chen, "Situation-aware IoT service coordination using the event-driven SOA paradigm," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 2, pp. 349-361, 2016.
- [15] R. Chen, J. Guo, and F. Bao, "Trust management for SOA-based IoT and its application to service composition," *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 482-495, 2016.
- [16] J.-S. Leu, C.-F. Chen, and K.-C. Hsu, "Improving heterogeneous SOA-based IoT message stability by shortest processing time scheduling," *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 7, no. 4, pp. 575-585, 2014.
- [17] S. Cox, "Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, no. 2, pp. 93-111, 2002/11/01/ 2002.
- [18] N. Gondchawar and R. Kawitkar, "IoT based smart agriculture," *International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering*, vol. 5, no. 6, pp. 2278-1021, 2016.
- [19] T. Baranwal and P. K. Pateriya, "Development of IoT based smart security and monitoring devices for agriculture," in *2016 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, 2016, pp. 597-602: IEEE.
- [20] A. Giri, S. Dutta, and S. Neogy, "Enabling agricultural automation to optimize utilization of water, fertilizer and insecticides by implementing Internet of Things (IoT)," in *2016 International Conference on Information Technology (InCITE)-The Next Generation IT Summit on the Theme-Internet of Things: Connect your Worlds*, 2016, pp. 125-131: IEEE.
- [21] I. Mat, M. R. M. Kassim, A. N. Harun, and I. M. Yusoff, "IoT in precision agriculture applications using wireless moisture sensor network," in *2016 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, 2016, pp. 24-29: IEEE.

- [22] K. Patil and N. Kale, "A model for smart agriculture using IoT," in *2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)*, 2016, pp. 543-545: IEEE.
- [23] L. Dan, C. Xin, H. Chongwei, and J. Liangliang, "Intelligent agriculture greenhouse environment monitoring system based on IOT technology," in *2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City*, 2015, pp. 487-490: IEEE.
- [24] E. Nurellari and S. Srivastava, "A Practical Implementation of an Agriculture Field Monitoring using Wireless Sensor Networks and IoT Enabled," 2019.
- [25] S. Li, A. Simonian, and B. A. Chin, "Sensors for agriculture and the food industry," *The Electrochemical Society Interface*, vol. 19, no. 4, pp. 41-46, 2010.
- [26] O. Elijah, T. A. Rahman, I. Orikumhi, C. Y. Leow, and M. N. Hindia, "An overview of Internet of things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3758-3773, 2018.
- [27] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [28] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, "The internet of things: An overview," *The Internet Society (ISOC)*, pp. 1-50, 2015.
- [29] M. A. M. Vieira, D. C. Da Silva Jr, C. N. Coelho Jr, and J. M. Da Mata, "Survey on wireless sensor network devices," *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA03)*, pp. 537-544, 2003.
- [30] M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, "Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks," *Journal of cleaner production*, vol. 88, pp. 297-307, 2015.
- [31] A. Çaylı, A. Akyüz, A. N. Baytorun, S. Üstün, and A. S. Mercanlı, "The Feasibility of a Cloud-Based Low-Cost Environmental Monitoring System Via Open Source Hardware in Greenhouses," *Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, vol. 21, no. 3, pp. 312 - 322, 2018.
- [32] D. K. Fisher and P. J. Gould, "Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research," *Modern Instrumentation*, vol. 1, pp. 8-20, 2012.
- [33] J. N. Wang, X. T. Niu, L. J. Zheng, C. T. Zheng, and Y. D. Wang, "Wireless Mid-Infrared Spectroscopy Sensor Network for Automatic Carbon Dioxide Fertilization in a Greenhouse Environment," (in English), *Sensors*, vol. 16, no. 11, Nov 2016.
- [34] P. Abouzar, D. G. Michelson, and M. Hamdi, "RSSI-Based Distributed Self-Localization for Wireless Sensor Networks Used in Precision Agriculture," (in English), *Ieee Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 10, pp. 6638-6650, Oct 2016.
- [35] R. Sui and J. Baggard, "Wireless Sensor Network for Monitoring Soil Moisture and Weather Conditions," (in English), *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 31, no. 2, pp. 193-201, Mar 2015.
- [36] Z. Liqiang, Y. Shouyi, L. Leibo, Z. Zhen, and W. Shaojun, "A Crop Monitoring System Based on Wireless Sensor Network," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 558-565, 2011/01/01/2011.
- [37] S. Pawara, D. Nawale, K. Patil, and R. Mahajan, "Early Detection of Pomegranate Disease Using Machine Learning and Internet of Things," in *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2018, pp. 1-4: IEEE.
- [38] K. Ferentinos, N. Katsoulas, A. Tzounis, C. Kittas, and T. Bartzanas, "A climate control methodology based on wireless sensor networks in greenhouses," in *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1107*, 2014, pp. 75-82.
- [39] B. Zhou, Q. L. Yang, K. N. Liu, P. Q. Li, J. Zhang, and Q. J. Wang, "Greenhouse Irrigation Control System Design based on ZigBee and Fuzzy PID Technology," (in English), *Piageng 2013: Intelligent Information, Control, and Communication Technology for Agricultural Engineering*, vol. 8762, 2013.
- [40] D. Liu, X. Cao, C. W. Huang, and L. L. Ji, "Intelligent Agriculture Greenhouse Environment Monitoring System Based on IOT Technology," (in English), *2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City (Icitsb)*, pp. 487-490, 2016.
- [41] S. F. Wu, G. W. Wang, Y. Y. Xiao, and J. P. Xue, "Vegetable Monitoring and Control Based on Internet of Things," (in English), *International Symposium on Signal Processing Biomedical Engineering, and Informatics (Spbei 2013)*, pp. 619-628, 2014.
- [42] Y. B. Shi, Y. P. Shi, D. B. Xiu, X. Wang, M. M. Wang, and R. X. Wang, "Design of wireless sensor system for agricultural Micro environment based on WiFi," (in English), *Sensors, Measurement and Intelligent Materials, Pts 1-4*, vol. 303-306, pp. 215-222, 2013.
- [43] C. Wang, C. Zhao, X. Qiao, X. Zhang, and Y. Zhang, "The design of wireless sensor networks node for measuring the greenhouse's environment parameters," in *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 2007, pp. 1037-1046: Springer.
- [44] I.-C. Yang *et al.*, "RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management," in *Proceedings of 2008 ASABE annual International meeting*, 2008.
- [45] J. D. Lea-Cox, G. Kantor, J. Anhalt, A. Ristvey, and D. S. Ross, "A wireless sensor network for the nursery and greenhouse industry," in *Southern Nursery Association Research Conference*, 2007, vol. 52.
- [46] M. Damas, A. Prados, F. Gómez, and G. Olivares, "HidroBus® system: fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 25, no. 3, pp. 177-184, 2001.
- [47] D. Ehlert, J. Schmerler, and U. Voelker, "Variable rate nitrogen fertilisation of winter wheat based on a crop density sensor," *Precision Agriculture*, vol. 5, no. 3, pp. 263-273, 2004.
- [48] J. He, J. Wang, D. He, J. Dong, and Y. Wang, "The design and implementation of an integrated optimal fertilization decision support system," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 54, no. 3, pp. 1167-1174, 2011.
- [49] W. Zhang, G. Kantor, and S. Singh, "Integrated wireless sensor/actuator networks in an agricultural application," in *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, 2004, pp. 317-317: ACM.
- [50] L. L. L. Gang, "Design of Greenhouse Environment Monitoring and Controlling System Based on Bluetooth Technology [J]," *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, vol. 10, pp. 97-100, 2006.
- [51] D. Kolokotsa, G. Saridakis, K. Dalamagkidis, S. Dolianitis, and I. Kaliakatsos, "Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 1, pp. 155-168, 2010.
- [52] J. Polo, G. Hornero, C. Duijneveld, A. Garcia, and O. Casas, "Design of a low-cost Wireless Sensor Network with UAV mobile node for agricultural applications," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 119, pp. 19-32, 2015.
- [53] A. Awasthi and S. Reddy, "Monitoring for precision agriculture using wireless sensor network-a review," *Global Journal of Computer Science and Technology*, 2013.
- [54] A.-J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro, "Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, no. 2, pp. 288-303, 2011.
- [55] W. Wang, C. Y. Li, L. H. Chu, and C. Y. Qu, "Study on Air-Ground Amphibious Agricultural Information Collection Robot," (in English), *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (Urai)*, pp. 938-944, 2016.
- [56] N. S. Meda, T. G. Sadashiva, S. K. Ramani, and S. Iyengar, "Mobile WSN Testbed for Agriculture: Plant Monitoring System," in *2017 2nd International Conference On Emerging Computation and Information Technologies (ICECIT)*, 2017, pp. 1-6: IEEE.
- [57] J. Wang, Y. Chen, and J.-P. Chanet, *An Integrated Survey in Plant Disease Detection for Precision Agriculture using Image Processing and Wireless Multimedia Sensor Network*. 2014.
- [58] S. T. Oliver, A. González-Pérez, and J. H. Guijarro, "An IoT proposal for monitoring vineyards called SEnviro for agriculture," in *Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things*, 2018, p. 20: ACM.
- [59] M. González *et al.*, *A Wireless Sensor Network Application with Distributed Processing in the Compressed Domain*. 2014, pp. 104-115.
- [60] S. Azfar, A. Nadeem, and A. Basit, "Pest detection and control techniques using wireless sensor network: A review," *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol. 3, no. 2, pp. 92-99, 2015.
- [61] J. Zhang, F. Kong, Z. Zhai, S. Han, J. Wu, and M. Zhu, "Design and development of IoT monitoring equipment for open livestock environment," *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol*, vol. 17, no. 26, pp. 2-7, 2016.
- [62] G. Corkery, S. Ward, C. Kenny, and P. Hemmingway, "Monitoring environmental parameters in poultry production facilities," in *Computer Aided Process Engineering-CAPE Forum 2013, 2013*, 2013: Institute for Process and Particle Engineering, Graz University.
- [63] A. Ilapakurti and C. Vuppalapati, "Building an IoT Framework for Connected Dairy," (in English), *2015 Ieee First International Conference on Big Data Computing Service and Applications (Bigdataservice 2015)*, pp. 275-285, 2015.



- [64] T. A. Shinde and J. R. Prasad, "IoT based animal health monitoring with naive Bayes classification," *IJETT*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [65] S. M. M. Syed Zakaria *et al.*, *Odour and Hazardous Gas Monitoring System for Swiftlet Farming using Wireless Sensor Network (WSN)*. 2012, pp. 331-336.
- [66] M. Mustafa, A. Abdullah, M. Masnan, and M. Bakar, "Development of Wireless Electronic Nose Using NRF24L01 RF Transceiver for Toxic Gases Monitoring," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, vol. 10, no. 1-14, pp. 95-99, 2018.
- [67] S. Benaissa *et al.*, "Internet of animals: Characterisation of LoRa sub-GHz off-body wireless channel in dairy barns," *Electronics Letters*, vol. 53, no. 18, pp. 1281-1283, 2017.
- [68] M. Asikainen, K. Haataja, and P. Toivanen, "Wireless indoor tracking of livestock for behavioral analysis," in *2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2013, pp. 1833-1838: IEEE.
- [69] K. H. Kwong *et al.*, "Practical considerations for wireless sensor networks in cattle monitoring applications," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 81, pp. 33-44, 2012.
- [70] J. I. Huircán *et al.*, "ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 74, no. 2, pp. 258-264, 2010/11/01/ 2010.
- [71] A. Barriuso, G. Villarrubia González, J. De Paz, Á. Lozano, and J. Bajo, "Combination of multi-agent systems and wireless sensor networks for the monitoring of cattle," *Sensors*, vol. 18, no. 1, p. 108, 2018.
- [72] B. Minnaert, B. Thoen, D. Plets, W. Joseph, and N. Stevens, "Wireless energy transfer by means of inductive coupling for dairy cow health monitoring," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 152, pp. 101-108, 2018.
- [73] J. Hart and V. Hartová, "Improvement of monitoring of cattle in outdoor enclosure using IQRf technology," 2018.
- [74] FAO, "Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action," ed, 1996.
- [75] M. Maksimovic, V. Vujovic, and E. Omanovic-Miklicanin, "A Low Cost Internet of Things Solution for Traceability and Monitoring Food Safety During Transportation," in *HAICTA*, 2015, pp. 583-593.
- [76] J. M. Ryan, *Guide to Food Safety and Quality During Transportation: Controls, Standards and Practices*. Academic Press, 2017.
- [77] A. Pal and K. Kant, "IoT-based sensing and communications infrastructure for the fresh food supply chain," *Computer*, vol. 51, no. 2, pp. 76-80, 2018.
- [78] S. Luthra, S. K. Mangla, D. Garg, and A. Kumar, "Internet of Things (IoT) in agriculture supply chain management: A developing country perspective," in *Emerging Markets from a Multidisciplinary Perspective*: Springer, 2018, pp. 209-220.
- [79] F. Tian, "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," in *2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM)*, 2016, pp. 1-6: IEEE.
- [80] C. Verdouw, R. Robbemond, T. Verwaart, J. Wolfert, and A. Beulens, "A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains," *Enterprise information systems*, vol. 12, no. 7, pp. 755-779, 2018.
- [81] R.-Y. Chen, "Autonomous tracing system for backward design in food supply chain," *Food Control*, vol. 51, pp. 70-84, 2015.
- [82] R. Jiang and Y. Zhang, "Research of Agricultural Information Service Platform Based on Internet of Things," in *2013 12th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science*, 2013, pp. 176-180.
- [83] L. Xu, S. Liu, and D. Li, "Key Technology of South Sea Pearl Industry Management Information Service Platform Based on the Internet of Things," Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 479-490: Springer Berlin Heidelberg.
- [84] S. Lu and X. Wang, "Toward an intelligent solution for perishable food cold chain management," in *2016 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, 2016, pp. 852-856: IEEE.
- [85] R. Badia-Melis and L. Ruiz-Garcia, "Real-time tracking and remote monitoring in food traceability," in *Advances in Food Traceability Techniques and Technologies*: Elsevier, 2016, pp. 209-224.
- [86] R. Accorsi, S. Cholette, R. Manzini, and A. Tufano, "A hierarchical data architecture for sustainable food supply chain management and planning," *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, no. 1, pp. 1039-1054, 2018/12/01 2018.
- [87] M. Abdel-Basset, G. Manogaran, and M. Mohamed, "Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems," *Future Generation Computer Systems*, vol. 86, pp. 614-628, 2018.
- [88] A. Corallo, M. E. Latino, and M. Menegoli, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability," *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, vol. 12, no. 5, pp. 146-150, 2018.
- [89] G. Büyüközkan and F. Göçer, "Digital supply chain: literature review and a proposed framework for future research," *Computers in Industry*, vol. 97, pp. 157-177, 2018.
- [90] M. Culman, J. M. Portocarrero, C. D. Guerrero, C. Bayona, J. L. Torres, and C. M. de Farias, "PalmNET: An open-source wireless sensor network for oil palm plantations," in *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2017, pp. 783-788: IEEE.
- [91] A. González, R. Aquino, W. Mata, A. Ochoa, P. Saldaña, and A. J. S. Edwards, "Open-wise: A solar powered wireless sensor network platform," vol. 12, no. 6, pp. 8204-8217, 2012.
- [92] A. H. Dehwah, S. B. Taieb, J. S. Shamma, and C. G. Claudel, "Decentralized energy and power estimation in solar-powered wireless sensor networks," in *2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, 2015, pp. 199-200: IEEE.
- [93] J. H. Ziegeldorf, O. G. Morchon, and K. Wehrle, "Privacy in the Internet of Things: threats and challenges," *Security and Communication Networks*, vol. 7, no. 12, pp. 2728-2742, 2014.
- [94] V. M. Tayur and R. Suchithra, "Review of interoperability approaches in application layer of Internet of Things," in *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, 2017, pp. 322-326: IEEE.
- [95] C. Brewster, I. Roussaki, N. Kalatzis, K. Doolin, and K. Ellis, "IoT in agriculture: Designing a Europe-wide large-scale pilot," *IEEE communications magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 26-33, 2017.
- [96] M. Asplund and S. Nadjm-Tehrani, "Attitudes and perceptions of IoT security in critical societal services," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2130-2138, 2016.
- [97] P. Varga, S. Plosz, G. Soos, and C. Hegedus, "Security threats and issues in automation IoT," in *2017 IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)*, 2017, pp. 1-6: IEEE.
- [98] A. Newell, H. Yao, A. Ryker, T. Ho, and C. Nita-Rotaru, "Node-capture resilient key establishment in sensor networks: Design space and new protocols," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 47, no. 2, p. 24, 2015.
- [99] O. Elijah, I. Orikumhi, T. A. Rahman, S. A. Babale, and S. I. Orakwue, "Enabling smart agriculture in Nigeria: Application of IoT and data analytics," in *2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON)*, 2017, pp. 762-766: IEEE.