

ARTIFICIAL INTELLIGENCE STUDIES

LoRa-Enabled IoT-Based Smart Irrigation Systems: Water Resource Management and Efficiency

Fırat Aydemir* 

ABSTRACT

Increasing population, climate change, and global warming are causing the world's available water resources to decrease rapidly. Therefore, it is vital to use existing water resources efficiently. Developing technology offers promising solutions to overcome this issue. In this study, the design of the Internet of Things-based smart irrigation system, one of today's popular technologies, is presented. The presented system consists of IoT nodes divided into four different categories which are central node, irrigation nodes, sensor nodes, and control nodes. The central node, which controls all irrigation processes, collects data from irrigation and control nodes via LoRa communication modules. Sensor nodes transmit humidity information from their respective cultivation areas via Wi-Fi using the MQTT communication protocol. Irrigation nodes pre-process the data coming from the sensor nodes and transmit it to the central node, they also control the water valves going to the area to be irrigated and monitor the internal pressures of the water pipes. The control node, another node in the system, constantly monitors the water level of the water tank and manages the activation of water pumps. The user interface software which has a direct connection with the central node allows users to create, monitor, and update irrigation schedules. LoRa technology ensures reliable long-distance data transmission and enables the system to operate cost-effectively and energy-efficiently. Additionally, The proposed system saves water and energy while optimizing irrigation needs according to plant types.

* Kutahya Dumlupınar University,
Engineering Faculty,
Dept. of Computer Engineering
43100 - Kütahya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8965-1429

* Corresponding author.
e-mail: firat.aydemir@dpu.edu.tr

Keywords: Internet of Things, LoRa, Smart Agriculture, Smart Irrigation

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, LoRa, Akıllı Tarım, Akıllı Sulama

Submitted: 08.12.2024
Revised: 17.12.2024
Accepted: 20.12.2024

doi: 10.30855/AIS.2024.07.02.07

LoRa Destekli IoT Tabanlı Akıllı Sulama Sistemleri: Su Kaynaklarının Yönetimi ve Verimlilik

ÖZ

Artan nüfus, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi nedenlerden ötürü dünya genelinde kullanılabilir su kaynakları çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması hayati önem taşımaktadır. Gelişen teknoloji bu sorunun üstesinden gelebilmek adına umut verici çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada günümüz popüler teknolojilerinden biri olan Nesnelerin İnterneti tabanlı akıllı sulama sisteminin tasarımı sunulmuştur. Sunulan sistem merkez düğümü, sulama düğümleri, sensör düğümleri ve kontrol düğümleri olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılan IoT düğümünden oluşmaktadır. Bütün sulama süreçlerini kontrol eden merkez düğümü, LoRa haberleşme modülleri üzerinden sulama ve kontrol düğümlerinden verileri toplamaktadır. Sensör düğümleri bağlı oldukları sulama düğümlerine konumlandırıldıkları ekim alanındaki nem bilgilerini MQTT haberleşme protokolünü kullanarak Wi-Fi üzerinden iletmektedirler. Sulama düğümleri, sensör düğümlerinden gelen verileri ön işleme tabi tutup merkez düğümüne iletmektedir, aynı zamanda sulama yapılacak alana giden su valflerinin kontrolünü sağlamakta, su borularının iç basınçlarını takip etmekte ve merkez düğümüne iletmektedirler. Sistemde yer alan diğer bir düğüm olan kontrol düğümü su tankının su seviyesini sürekli takip etmekte ve su motorlarının aktif edilmesini kontrol etmektedir. Merkez düğümün bağlı olduğu bilgisayardaki kullanıcı arayüzü sayesinde kullanıcılara sulama planları oluşturma, izleme ve güncelleme imkânı tanımaktadır. LoRa teknolojisi, uzak mesafelerde güvenilir veri iletimi sağlamakta ve sistemin düşük maliyetli, enerji tasarruflu bir şekilde çalışmasını mümkün kılmaktadır. Geliştirilen sistem, su ve enerji tasarrufu sağlarken, sulama ihtiyaçlarını bitki türlerine göre optimize etmektedir.

1. Giriş

Günümüzde artan nüfus, kentleşme ve iklim değişikliğinin etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum doğal kaynakların korunmasını ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini kritik bir zorunluluk haline getirmektedir. Özellikle su kaynakları yaşamın temel gereksinimlerinden biri olmasına rağmen, sınırlı miktarda bulunan bu kaynağın önemi çoğu zaman bilinmemektedir; yanlış kullanım, israf ve verimsiz yönetim uygulamaları, mevcut su kaynaklarının hızla tükenmesine ve dünya genelinde su kıtlığı yaşanmasına neden olmaktadır. Dünya genelinde su kıtlığının 2030 yılına kadar %40 seviyelerine yükseleceği öngörülmektedir [1]. Bu durum, yalnızca içme ve kullanma suyu açısından değil, tarım ve peyzaj gibi alanlarda da ciddi sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Küresel tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarım sektöründe kullanılmaktadır ve bu oranın 2050 yılına kadar %35'lik bir artış göstermesi beklenmektedir [2]. Tarımsal üretimin su kaynaklarına bağımlılığı ve peyzaj alanlarında estetik amaçlarla yapılan sulama uygulamalarının yüksek su tüketimi bu sorunun önemli boyutlarından sadece birkaçıdır. Dolayısıyla hem su kaynaklarını korumak hem de enerji verimliliğini artırmak için yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, enerji tasarrufu sağlayan ve otomasyon temelli sistemler, su yönetiminde geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha etkili ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Günümüzün gelişen teknolojileri arasında yer alan Nesnelerin İnterneti (IoT), bu tür sistemlerin temelini oluşturmakta ve suyun yanı sıra diğer doğal kaynakların yönetiminde de yeni bir dönemin kapılarını aralamaktadır. IoT herhangi bir insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan, belirli bir ağ üzerinden veri alışverişi yapabilen akıllı cihazların oluşturduğu bir sistem olarak tanımlanmaktadır [3]. Son yıllarda yaşanan teknolojik ilerlemeler, IoT'nin sağlık, üretim, güvenlik, tarım ve akıllı şehircilik gibi birçok farklı alanda yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır [4-9].

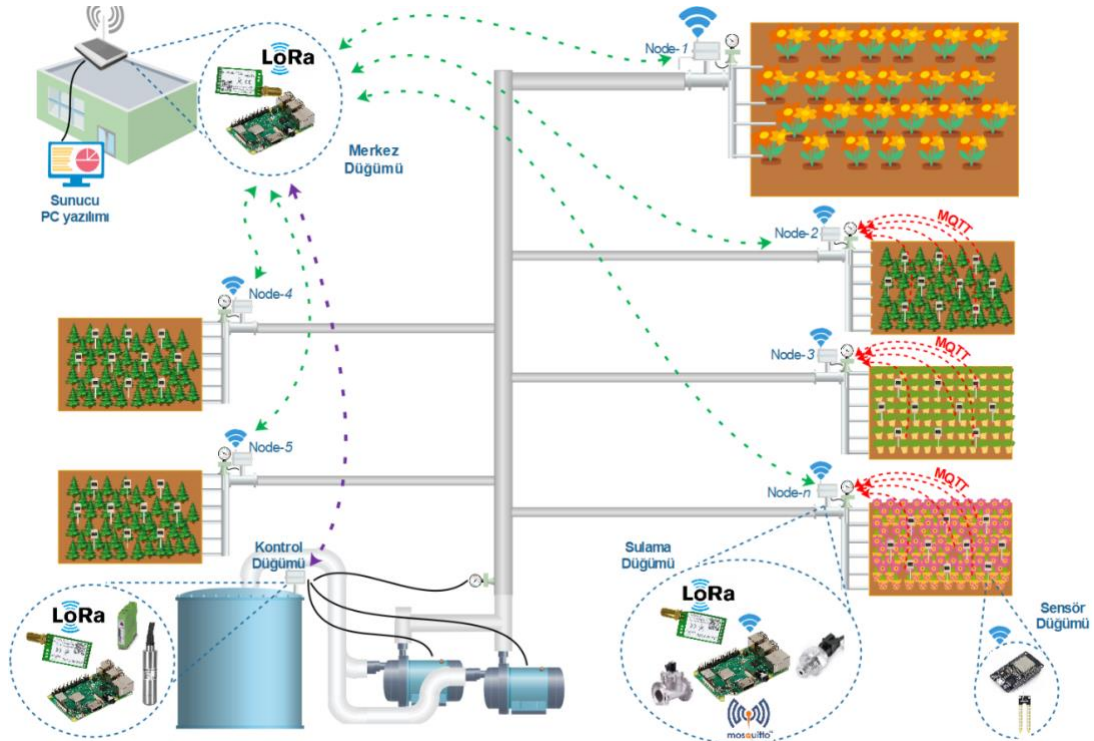
Tarım sektöründe IoT teknolojilerinin kullanımıyla geliştirilen akıllı sulama sistemleri, bitkilerin su ihtiyacını doğru bir şekilde analiz ederek sulama süreçlerini bu yönde optimize etmektedir [10]. Kullanılan sensörler vasıtasıyla, hava durumu verileri ve toprak nem seviyeleri işlenerek, yalnızca gerektiğinde ve yeteri kadar sulama yapılması sağlanmaktadır. Böylelikle su israfı minimuma indirilirken, enerji tüketiminde de kayda değer bir tasarruf elde edilmektedir. Benzer şekilde, IoT destekli akıllı sulama sistemleri peyzaj alanlarında da giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle botanik bahçeleri gibi belirli türlerin yetiştirildiği ve ticari ya da estetik değer taşıyan alanlarda, suyun doğru bir şekilde kullanımı hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir. Bunun yanında bu bahçelerin sürekli bakım gerektirmesi, bu alanlarda kullanılan suyun ve enerjinin önemli bir maliyet kalemi haline gelmesine sebep olmaktadır. Geleneksel sulama yöntemleriyle yapılan bakım çalışmaları hem kaynak israfına yol açmakta hem de istenen verimi sağlayamamaktadır, bu da bitki sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. IoT tabanlı akıllı sulama sistemleri ise bu süreci tamamen değiştirebilecek bir potansiyele sahiptir. Bu sistemler bitki türlerinin su ihtiyacını gerçek zamanlı olarak analiz ederek otomatik sulama yapabilmekte, böylece hem iş gücü hem de kaynak kullanımında önemli tasarruflar sağlamaktadır. Ayrıca, bu teknolojiler sayesinde sulama süreçlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi de mümkün hale gelmektedir [11, 12].

Bu çalışma IoT teknolojisi tabanlı akıllı sulama sisteminin botanik bahçeleri gibi peyzaj alanlarında uygulanabilirliğini ve bu sistemin hem su hem de enerji verimliliğine olan katkısını ele almayı amaçlamaktadır. IoT tabanlı çözümlerin, doğal kaynakların sürdürülebilirliği üzerindeki olumlu etkileri gelecekte bu tür sistemlerin daha yaygın bir şekilde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Akıllı tarım ve peyzaj uygulamaları, yalnızca çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, ekonomik kalkınma açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır.

2. Geliştirilen IoT Tabanlı Sulama Sistemi Mimarisi

Çiçek ve bitki yetiştiriciliğinin yapıldığı botanik bahçeler için tasarlanan akıllı sulama sisteminin blok şeması Şekil-1'de gösterilmektedir. Sistem temel olarak işletmenin merkez binasında bulunan arayüz programı ve bu programın koştığı bilgisayara bağlı olan merkez düğümü, her bir bitki türünün yetiştirildiği, parsellere ayrılmış olan üretim sahasına konumlandırılan sulama düğümleri, her bir parsel içerisindeki bitkilerin yetiştirildiği topraklardaki nem miktarlarını ölçmek için belirli aralıklarla yerleştirilen sensör düğümleri, sulama istasyonuna yerleştirilen kontrol düğümü olmak üzere dört farklı düğüm noktasından oluşmaktadır. Tasarlanan sulama sistemi merkez ünitesinin yer aldığı yerde

geliştirilen arayüz programı ile kullanıcılar, günlük, haftalık veya aylık sulama programı oluşturmaktadırlar. Kullanıcılar tarafından oluşturulan sulama programı, internet ortamında sürekli güncel olarak çekilen hava durumu bilgisi ve sensör düğümlerinden gelen toprak nem bilgileri ışığında sulama işlemi otomatik olarak ve gerektiği kadar gerçekleştirilmektedir. Sulama işleminin yapılabilmesi için sulama tankındaki su miktarının sürekli ölçülmesi gerekmekte ve azalması durumunda tankın dolumu için gerekli bildirim yapılması gerekmektedir, bu işlemler kontrol düğümü tarafından yürütülmektedir. Tankta yeterli su bulunması durumunda kontrol düğümü aracılığıyla önce birinci su motoru aktif edilmektedir. Merkez düğümü sulamanın yapılacağı bölgelerdeki sulama düğümlerine su vanalarını açmaları için komut göndermektedir. Sulama düğümleri vana çıkındaki borulardaki su basınçlarını ölçerek basınç değerlerini merkez üniteye bildirmektedirler. Merkez düğüm basınçların yetersiz kalması durumunda ya ikinci motoru aktif etmekte ya da sulama yapılması gereken bölgelerin sayısını azaltarak dönüşümlü olarak sulama işlemini gerçekleştirmektedir. Sulama düğümleri, su borularının olası bir yüksek basınç nedeni ile patlamalarını engellemek için kritik seviyenin geçilmesi durumunda su tahliyesi prosedürünü başlatarak, merkez üniteye acil uyarı göndermektedirler. Bu kısmın alt başlıklarında tasarlanan sistemde kullanılan yapıların detaylarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan sistemin blok şeması.

2.1. Sulama ve Sensör Düğümleri

Geliştirilen akıllı sulama sisteminde, IoT teknolojisinin tarım ve peyzaj alanlarına entegrasyonu kaynak yönetimde önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, bir Raspberry Pi cihazının edge cihaz (uç cihaz) olarak kullanılması, veri işleme ve kontrol süreçlerinde merkezi olmayan bir yaklaşım sağlamaktadır. Parsel olarak ayrılan alanlardaki sensör düğümü sayısı göz önüne alındığında sağlıklı bir iletişimin kurulabilmesi ve doğru bir kontrol sürecinin sağlanabilmesi için minimum donanım ihtiyaçlarını sağlayacak olan Raspberry Pi 3 Model B+ seçilmiştir. Bu modelde 1.4Ghz de çalışan Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC işlemci ve 1GB LPDDR2 SDRAM bulunmaktadır. Aynı zamanda 2.4GHz-5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac kablosuz LAN ve Bluetooth 4.2 modülü içermektedir. Diğer düğümler için de aynı model seçilmiştir. Raspberry Pi, kendisine bağlı sensörlerden gelen verileri gerçek zamanlı olarak işleyebilir ve sistemin diğer bileşenleriyle iletişim kurarak sulama süreçlerini optimize edebilir. Sistemde yer alan sensör düğümleri ESP32 Wi-Fi destekli geliştirme modülü ile kontrol edilmektedir. Sensör düğümleri konumlandırıldıkları topraktaki nem değerini belirli aralıklarla ölçmekte ve Wi-Fi aracılığıyla MQTT protokolü üzerinden Raspberry Pi' a iletmektedir. Raspberry Pi üzerinde çalışan Mosquitto MQTT broker, bu iletişim için bir merkez görevi görerek ESP32'nin verilerini alır ve sulama kontrolüne yönelik komutlar iletir. Sensör düğümlerinin

sayıları göz önüne alındığında, her bir düğüm için şehir şebekesine bağlı bir güç yönetiminin pratik bir montajlama ile gerçekleştirilemeyeceğinden, sensör düğümleri şarj edilebilir bir batarya ile çalışmaktadırlar, sulama düğümleri ise konumlandırıldıkları yerlerdeki aydınlatma direklerinden elektrik bağlantısı yapılarak enerjilendirilmişlerdir. Bu düğümlerin içerisindeki donanımların enerji sarfiyatı hesaplandığında sensör düğümlerindeki gibi batarya ile beslenmelerinin efektif olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Sisteme entegre edilen bir basınç sensörü vasıtasıyla su borularının içerisindeki basınç Raspberry Pi tarafından analiz edilerek, su valflerinin açılıp kapanmasını yönlendiren kontrol sinyalleri oluşturur. Bu süreç, yalnızca gereken miktarda suyun kullanılmasını sağlayarak hem su tasarrufunu hem de bitki sağlığını destekler. Sistem, MQTT protokolü sayesinde düşük enerji tüketimiyle hızlı ve güvenilir bir veri alışverişi sunar, uç cihaz olarak Raspberry Pi'nin güçlü işlem kapasitesi, yerel veri işleme ve karar alma yeteneklerini artırır. Böylece, akıllı sulama sisteminin hem enerji hem de su kaynakları açısından verimli bir şekilde çalışması mümkün hale gelir.

Sistemin kapsamını genişletmek ve veri iletiminde daha fazla esneklik sağlamak amacıyla, Raspberry Pi'a bir LoRa modülü entegre edilmiştir. Bu modül, uzak mesafelerde düşük enerji tüketimiyle veri iletimini mümkün kılmakta ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır [13]. LoRa teknolojisi, özellikle geniş arazilerde sulama düğümleri ile merkez düğüm arasındaki iletişimde güvenilir bir çözüm sunar. Raspberry Pi sensör düğümlerinden topladığı verileri önce işlemekte ardından LoRa modülü aracılığıyla uzaktaki merkeze düğüme iletmekte, böylece sulama sisteminin durumunu merkezi bir noktadan takip ve kontrol etme imkânı sağlamaktadır. Bu haberleşme sayesinde, geniş tarım arazilerinde veya altyapı erişiminin sınırlı olduğu alanlarda iletişim maliyetleri azaltılabilir.

2.2. Kontrol Düğümü

Kontrol düğümü, akıllı sulama sisteminin kritik bir bileşeni olarak, sulama süreçlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu düğümde, bir Raspberry Pi yer almakta ve bir LoRa modülü aracılığıyla merkez düğüme haberleşmektedir. Kontrol düğüme entegre edilmiş su derinliği ölçüm sensörü, su tankının doluluk oranını belirlemek için kullanılmaktadır. Raspberry Pi, bu sensörden elde ettiği verileri analiz ederek su seviyesini sürekli izler ve doluluk oranı bilgisini merkez düğüme iletir. Merkez düğümden gelen komutlar doğrultusunda, su tankının yanında bulunan su motoru, ihtiyaç duyulan su miktarına göre otomatik olarak aktive edilmektedir. Bu düğüm şehir şebekesinden enerjilendirilerek çalıştırılmaktadır.

Kontrol düğümü, su motorlarının etkinliğini ve güvenliğini sağlamak için gelişmiş bir izleme ve kontrol mekanizması sunmaktadır. Motorların çıkışında bulunan bir basınç sensörü, su borusu içerisindeki basıncı sürekli ölçerek kritik durumları tespit eder. Basınç seviyelerinde bir anormallik (örneğin, aşırı yüksek basınç) tespit edilirse, Raspberry Pi motorları otomatik olarak durdurur ve sistemin güvenliğini sağlar. Aynı şekilde, sulama düğümlerinde yer alan vanaların açılmasıyla borulardaki basıncın düşmesi durumunda, Raspberry Pi ikinci motoru devreye alarak su akışını optimize eder. Bu esnek kontrol mekanizması, sulama sisteminin dinamik ihtiyaçlarına hızlı ve verimli bir şekilde yanıt verebilmesini mümkün kılmaktadır.

Kontrol düğümünden toplanan basınç verileri merkez düğüme düzenli olarak iletilmektedir. Merkez düğüm bu veriler ve sulama düğümlerinden gelen basınç verileri ışığında sistemin genel performansı değerlendirilmekte ve kontrol düğüme su motorlarının çalışma durumuna ilişkin komutlar göndermektedir. Bu sayede sistemin farklı bileşenleri arasında sürekli bir veri akışı sağlanarak sulama süreçlerinin merkezi bir şekilde yönetilmesi mümkün olması sağlanmakta ve kaynakların verimli şekilde kullanılması mümkün hale gelmektedir.

2.3. Merkez Düğümü

Merkez düğüm sistemin genel yönetimini ve kullanıcı etkileşimini sağlayan en önemli yapı taşıdır. Bu düğümde bir Raspberry Pi bulunmakta ve LoRa modülü aracılığıyla sulama ve kontrol düğümlerinden gelen verileri alarak analiz edebilmektedir. Merkez düğüm tasarlanmış olan sulama sisteminin diğer düğümleri ile veri iletişimi sağlarken aynı zamanda bir bilgisayar üzerinde çalışan arayüz programı ile de veri iletişimini sağlamaktadır. Bu arayüz programı sayesinde kullanıcılar sulama süreçlerini kolayca yönetebilmekte ve takip edebilmektedirler.

Arayüz programı vasıtasıyla kullanıcılar, sulama bölgesinin haritası üzerinde sulanması gereken alanları belirleyebilir ve bu alanlar için günlük, haftalık ya da aylık sulama programını oluşturabilirler. Bu sulama programına ek olarak Merkez Düğüm internetten güncel hava durumu verilerine de ulaşarak sulama süreçlerini daha uygulanabilir bir şekilde yönetimini sağlamaktadır. Bunların yanı sıra kullanıcılar arayüzdeki bildirimler, grafikler ve analiz araçları sayesinde sistemin performansını ve işleyişini detaylı bir şekilde takip edebilmektedirler. Aynı zamanda arayüz programı üzerinden ekim alanlarındaki bitki türleri seçilerek, bitkilerin farklı su ihtiyaçlarına göre toprak nem miktarları otomatik olarak ayarlanabilmektedir.

3. Sonuç

Sunulan bu çalışma ile IoT tabanlı akıllı sulama sistemlerinin tarım ve peyzaj alanlarında verimli bir şekilde uygulanabilirliğini gösterilmiş ve sulama süreçlerinin optimize edilmesine yönelik bir yaklaşım sunulmuştur. Geliştirilen sistemde farklı IoT düğümleri arasında Wi-Fi ve LoRa teknolojileri kullanılarak veri iletimi sağlanmaktadır. Bu gerçek zamanlı veri paylaşımı sayesinde sulama işlemleri daha etkili bir şekilde yönetilmekte ve kaynak israfının önüne geçilmektedir. Raspberry Pi tabanlı uç bilişim cihazları sayesinde veri işleme ve karar verme süreçlerinin bir kısmı merkezi olmayan bir yapıda gerçekleştirilerek sistemin verimliliği artırılmıştır. Sulama düğümleri, basınç sensörleri ile sulama altyapısının korunmasını sağlarken, sensör düğümlerinden verileri toplayarak bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarı kadar sulama yapılmasını mümkün kılmaktadır. Tasarlanan sistem özellikle geniş alanlarda, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle güvenilir iletişim sağlayan LoRa teknolojisinin entegrasyonu ile daha verimli bir hale gelmiştir. Merkez düğümünün bağlı olduğu bilgisayardaki kullanıcı arayüzü ile sulama programlarının oluşturulması ve izlenmesine olanak tanınmıştır.

Kaynaklar

- [1] M. Doğan, "Sürdürülebilirlik: Su ve Suyun Önemi", *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 176-192, 2023.
- [2] H. Şahin, "Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60, 2025.
- [3] R. P. Singh, M. Javaid, A. Haleem, R. Suman, "Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic," *Diabetes Metab. Syndr.*, vol. 14, no. 4, pp. 521-524, 2020. Doi: 10.1016/j.dsx.2020.04.041
- [4] F. Aydemir, S. Arslan, "A System Design With Deep Learning and IoT to Ensure Education Continuity for Post-COVID," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 69, no. 2, pp. 217-225, May 2023. Doi: 10.1109/TCE.2023.3245129
- [5] F. Aydemir, S. Arslan, "Covid-19 Pandemi Sürecinde Çocukların El Yıkama Alışkanlığının Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sistem ile İzlenmesi", *Müh.Bil.ve Araş.Dergisi*, c. 3, sy. 2, ss. 161-168, 2021. Doi: 10.46387/bjesr.949311
- [6] W. Chen, "Intelligent manufacturing production line data monitoring system for industrial internet of things", *Computer Communications*, 151, pp. 31 - 41, 2020. Doi: 10.1016/j.comcom.2019.12.035
- [7] S. Mohsen, A. Behrooz, D. Roza, "Internet of things for smart factories in industry 4.0 a review", *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3: 192-204, 2023. Doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.006
- [8] M. Abdennabi, et al. "Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges", *Ain Shams Engineering Journal* 15.3, 102509, 2024. Doi: 10.1016/j.asej.2023.102509
- [9] E. Şahin, N. N. Arslan, F. Aydemir, "Interactive Use of Deep Learning and Ethereum Blockchain for the Security of IIoT Sensor Data", *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 369-384, 2024. Doi: 10.35193/bseufbd.1381786
- [10] M. F. Çakmakçı, R. Cakmakçı, "Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri", *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 52, 234-246, 2023.
- [11] Z. Güman, F. B. Gunay, "Nesnelerin İnterneti Yardımıyla Akıllı Tarımda Yapay Zekâ Tabanlı Gübre ve Mahsul Tahmini", *Iğdır Üniv. Fen Bil. Enst. Der.*, c. 14, sy. 3, ss. 958-973, 2024. Doi: 10.21597/jist.1445970
- [12] M. Taştan, "Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 229-236, 2019. Doi: 10.31590/ejosat.525149
- [13] E. DUMAN, "The Role and Application Areas of LoRa Communication in Smart Agriculture, A Proposed Architecture, and Its Performance Analysis", *AIS*, vol. 5, no. 2, pp. 56-70, Dec. 2022. Doi: 10.30855/AIS.2022.05.02.03