

Atf İçin: Ayberkin, D. (2025). TarBİoT KDS: Akıllı Tarım Uygulamaları için Blokzincir ve İoT teknolojileri ile Gerçek zamanlı Karar Destek Sistemi Tasarımı. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 12-24.

To Cite: Ayberkin, D. (2025). TarBİoT DSS: Real-time Decision Support System Design with Blockchain and İoT Technologies for Smart Agriculture Applications. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(1), 12-24.

TarBİoT KDS: Akıllı Tarım Uygulamaları için Blokzincir ve İoT teknolojileri ile Gerçek zamanlı Karar Destek Sistemi Tasarımı

Doruk AYBERKİN

Öne Çıkanlar:

- Akıllı tarım uygulamaları
- Blokzincir teknolojisi kullanımıyla tarımda dijital dönüşümün sağlanması

Anahtar Kelimeler:

- Akıllı tarım
- Blokzincir teknolojisi
- Nesnelerin İnterneti
- Karar destek sistemi
- Veri güvenliği ve izlenebilirlik

ÖZET:

Bu çalışma, tarım sektöründeki küresel zorlukları ele almak için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Araştırma, blokzincir ve Nesnelerin İnterneti (İoT) teknolojilerini entegre ederek, tarımsal verilerin toplanması, güvenli bir şekilde depolanması ve analiz edilmesi için kapsamlı bir sistem önermektedir. TarBİoT olarak adlandırılan bu sistem, çeşitli sensörlerden elde edilen toprak ve iklim verilerini gerçek zamanlı olarak işleyerek, çiftçilere ve diğer paydaşlara yönelik bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Sistemin temel bileşenleri arasında İoT sensör ağı, blokzincir altyapısı, veri işleme ve analiz modülü ile karar destek sistemi bulunmaktadır. Bu entegre yapı, tarımsal üretimde verimliliği artırma, kaynakları optimize etme ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme potansiyeli taşımaktadır. Blokzincir teknolojisinin sağladığı şeffaflık ve güvenilirlik, verilerin tüm paydaşlar arasında güvenli bir şekilde paylaşılmasına olanak tanıırken, karar destek sistemi, bu verileri anlamlı ve uygulanabilir bilgilere dönüştürmektedir. Çalışma, önerilen sistemin simülasyonunu gerçekleştirerek, su seviyesi, nem oranı, toprak pH değeri gibi kritik tarımsal parametrelerin izlenmesi ve analiz edilmesindeki etkinliğini değerlendirmektedir. Sonuçlar, TarBİoT sisteminin, akıllı tarım uygulamalarının geliştirilmesinde, gıda güvenliğinin artırılmasında ve sürdürülebilir tarım pratiklerinin yaygınlaştırılmasında önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Bu araştırma, tarım sektöründeki dijital dönüşümü hızlandırma ve veri odaklı tarım uygulamalarını yaygınlaştırma potansiyeli taşımaktadır.

TarBİoT DSS: Real-time Decision Support System Design with Blockchain and İoT Technologies for Smart Agriculture Applications

Highlights:

- Smart agriculture applications
- Providing digital transformation in agriculture with the use of blockchain technology

Keywords:

- Smart agriculture
- Blockchain technology
- Internet of things
- Decision support system
- Data security and traceability

ABSTRACT:

This study introduces a novel methodology for addressing global challenges in the agricultural sector. The research proposes a comprehensive system for the collection, secure storage, and analysis of agricultural data through the integration of blockchain and Internet of Things (İoT) technologies. The system, designated TarBİoT, furnishes a decision-support apparatus for farmers and other stakeholders, processing soil and climate data from assorted sensors in real-time. The system comprises several key components, including an İoT sensor network, a blockchain infrastructure, a data processing and analysis module, and a decision support system. This integrated structure has the potential to enhance efficiency in agricultural production, optimize the utilization of resources, and facilitate environmental sustainability. The transparency and reliability of blockchain technology enable the secure sharing of data among all stakeholders, while the decision support system transforms this data into meaningful and actionable information. The study employs a simulation to assess the efficacy of the proposed system in monitoring and analyzing pivotal agricultural parameters, including water level, moisture content, and soil pH. The findings indicate that the TarBİoT system can serve as a pivotal element in advancing intelligent agricultural techniques, enhancing food security, and advancing sustainable agricultural practices. This research has the potential to expedite the digital transformation in the agricultural sector and promote data-driven agricultural practices.

Doruk AYBERKİN ([Orcid ID: 0000-0003-3409-8926](https://orcid.org/0000-0003-3409-8926)), Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bayburt, Türkiye

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Doruk AYBERKİN, e-mail: doruk@bayburt.edu.tr

GİRİŞ

Küresel tarım sektörü, çağımızın en zorlu sorunlarından bazılarıyla karşı karşıyadır. Artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılama, ürün kalitesi ve güvenliğini garanti altına alma, aynı zamanda tedarik zinciri verimliliğini optimize etme gibi karmaşık meseleler, sektörün öncelikli gündemini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, blokzincir teknolojisi, tarımsal üretim ve dağıtım süreçlerinde devrim niteliğinde bir potansiyel sunmaktadır. Kassanuk ve Phasinam'ın (Kassanuk ve Phasinam, 2022) vurguladığı gibi, blokzincirin teknolojisi, özünde barındırdığı tüm paydaşlar tarafından izlenebilir ve şeffaflık özelliklerinin sağladığı güvenilirlik sayesinde, tarım endüstrisindeki çok yönlü sorunların çözümünde önemli bir seçenek haline gelmektedir. Özellikle gıda tedarik zincirindeki karmaşık zorlukları ele alma kapasitesi, sektörün bu teknolojiye olan ilgisini son yıllarda belirgin şekilde artırmıştır.

Endüstri 4.0 kavramının 2011 yılında ortaya çıkışı, tarım sektörü de dahil olmak üzere pek çok alanda köklü bir paradigma değişimini tetiklemiştir (Lasi vd., 2014). Bu dördüncü sanayi devrimi, yalnızca makineleşmeyi değil, aynı zamanda dijitalleşme ve sanallaştırma süreçlerini de kapsayan bütüncül bir dönüşümü ifade etmektedir. Endüstri 4.0 temelinde, yeni teknolojileri makinelere entegre ederek bu sürece insan faktörünü de dahil ederek birbirleri arasında kusursuz bir entegrasyon sağlamayı hedefler. Bu entegrasyon, ileri sensör teknolojileri aracılığıyla otomatik veri toplama ve aktarımı, sofistike makine öğrenmesi algoritmaları ile veri analizi ve işleme ve nihayetinde bu bilgilerin optimize edilmiş işlemler için kullanılması gibi birbiriyle yakından ilişkili aşamaları içermektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte tarım sektöründe dijitalleşmenin önemi artmış ve yapay zekâ tabanlı çözümler tarımsal üretimde verimlilik artışı sağlamıştır. Örneğin, yapay zekâ ve makine öğreniminin kullanımı ile tarımsal üretim süreçlerinin daha öngörülebilir ve optimize edilebilir hale geldiği belirtilmiştir (Chlingaryan vd., 2018). Blokzincir teknolojisinin sağladığı güvenlik ve izlenebilirlik, tarım sektöründe veri paylaşımında yeni standartlar getirmiştir (Kamilaris vd., 2019). Tarım sektöründe bu dönüşüm, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşması ve veri odaklı karar verme süreçlerinin benimsenmesi şeklinde tezahür etmektedir.

Geleneksel tarım uygulamaları ve tedarik zincirleri, genellikle şeffaflık ve izlenebilirlik açısından yetersiz kalmaktadır (Gupta vd., 2020). Blokzincir teknolojisi, bu eksiklikleri gidermek için güçlü bir çözüm sunmaktadır. Kamilaris ve arkadaşlarının (Kamilaris vd., 2019) belirttiği gibi, blokzincir, verilerin doğrulanmasını, dağıtık olarak kaydedilmesini ve tüm paydaşlar arasında şeffaf bir şekilde paylaşılmasını mümkün kılmaktadır. Upadhyay ve meslektaşları (Upadhyay vd., 2021) tarafından vurgulandığı üzere, bu teknoloji, tarımsal süreçlerde güvenilirliği ve verimliliği artırma potansiyeline sahiptir. Ayberkin ve Özen'in (Ayberkin ve Özen, 2021) çalışmasında belirtildiği gibi, blokzincir teknolojisi, farklı katılımcılar tarafından gerçekleştirilen ve senkron bir biçimde doğrulanarak kayıt edilen, yüksek güvenli ve şeffaf bir sistem sunmaktadır. Bu özellikler, tarım sektöründe gıda güvenliği, ürün izlenebilirliği ve tedarik zinciri optimizasyonu gibi kritik alanlarda önemli ilerlemeler vaat etmektedir.

Akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte kullanımı artan nesnelerin interneti ve blokzincir teknolojilerinin, karar destek sistemleri ile entegre edilmesi kararları daha iyi hale getirerek önemli rol oynamaktadır. Geliştirilen akıllı tarım uygulamaları ile verimin artırılması, maliyetlerin azaltılması, israfın önlenmesi sağlanabilmektedir. Entegre karar destek sistemleri, ekin alanlarından sensörler tarafından toplanan verileri tarım yönetimi hakkında bilgi elde etmek için analiz ederek öneriler sağlar (Munir vd., 2019).

Sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti (IoT) akıllı tarım uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve farklı tespitlerin yapılmasını sağlayan yeni teknolojilerden biridir. IoT ve sensörlerin kullanıldığı su yönetim sistemleri sayesinde oluşturulan akıllı sulama sistemleri, temiz su kaynaklarının korunmasını sağlarken aynı zamanda verimli sulama çözümleri oluşturulmasını sağlamıştır (Huong vd., 2018; Munir vd., 2019). Patil ve arkadaşları ise (Patil vd., 2018), sensörler vasıtasıyla elde edilen tarımsal verilerin korunması ve paylaşımına yönelik bir mekanizma oluşturmuşlardır.

Karar destek sistemleri, akıllı tarım içerisinde verilerin analiz edilmesi, çıkarımlar yapılması ve bilgi kaynağı oluşturulmasını sağlamaktadır. Tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı özellikle sulama kaynaklarının yönetiminde, görev planlamasında, iklim değişikliğine uyum sağlanmasında, israfın önlenmesi ve atık yönetiminde, tarımsal tedarik zincirlerinde ve sürdürülebilirlik konularında öne çıkmaktadır (Zhai vd., 2020).

Yapılan araştırmalarda tarımsal verimliliği arttırmak için farklı teknolojilerin birleştirilmesi önerilmiştir. Bu amaçla Blokzincir ve IoT teknolojileri yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Kamilaris vd., 2019; Torky ve Hassanein, 2020). Ancak karar destek sistemlerinin bu teknolojiler ile birlikte kullanımı konusunda literatür halen zayıftır.

Bu çalışmanın temel araştırma sorusu, blokzincir ve IoT teknolojilerinin entegre edildiği bir karar destek sisteminin (TarBioT KDS) tarımsal verimliliği nasıl artırabileceği, kaynak kullanımını nasıl optimize edebileceği ve çevresel sürdürülebilirliği nasıl destekleyebileceğidir. Mevcut literatür, blokzincir ve IoT teknolojilerinin tarımda ayrı ayrı uygulanmasına dair birçok çalışma sunmaktadır (Kamilaris vd., 2019; Gupta vd., 2020). Ancak bu araştırma, bu iki teknolojinin entegre edilerek gerçek zamanlı bir karar destek sistemiyle birleştirilmesini öneren erken çalışmalardan biridir. Çalışmamız, bu özellikleriyle literatürdeki mevcut çalışmalardan farklılaşmakta ve akıllı tarım uygulamalarının dijitalleşme sürecine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, tarımsal kullanım amacıyla, tarımsal alanlara yerleştirilecek sensör verilerinin verimli bir şekilde depolanması, paylaşılması ve bu verilerden çiftçilerin en üst seviyede yarar sağlayabilmesini amaçlayan bir sistem geliştirilmiştir. TarBioT karar destek sistemi farklı algılayıcılar ve yazılım teknolojilerinden faydalanan bir sistemdir. Önerilen dağıtık mimari, sistemin yüksek kullanılabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini arttırmaktadır. Blokzincir kullanımı, verilerin şeffaf olarak paylaşılabilmesi ve güvenliğini sağlamaktadır.

Çalışma, tarım sektöründe blokzincir ve IoT teknolojilerinin entegrasyonunu ve karar destek sistemleriyle birleştirilmesini inceleyerek, akıllı tarım uygulamalarının geliştirilmesine, gıda güvenliğinin artırılmasına ve sürdürülebilir tarım pratiklerinin yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçları, tarımsal üretimde verimliliği artırma, kaynakları optimize etme ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme potansiyeli taşıyan entegre bir sistem sunarak, tarım sektöründeki dijital dönüşümü hızlandırma ve veri odaklı tarım uygulamalarını yaygınlaştırma yolunda önemli bir adım atmayı amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Tarımsal kullanım amacıyla, tarımsal alanlara yerleştirilecek sensör verilerinin verimli bir şekilde depolanması, paylaşılması ve bu verilerden çiftçilerin en üst seviyede yarar sağlayabilmesini amaçlayan bir sistem geliştirildi. TarBioT karar destek sistemi farklı algılayıcılar ve yazılım teknolojilerinden faydalanan bir sistemdir. Önerilen dağıtık mimari, sistemin yüksek kullanılabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini arttırmaktadır. Blokzincir kullanımı, verilerin şeffaf olarak paylaşılabilmesi ve güvenliğini sağlamaktadır. Aynı zamanda Blokzincir teknolojisinin sağladığı bir diğer avantaj olan akıllı

sözleşmelerin kullanımı, veri doğrulama ve işleme süreçlerini otomatikleştirmektedir. Karar destek sistemi, toprak durumuna göre en uygun gübrelerin belirlenmesi, sulama sistemlerinin yönetimi, zararlılarla mücadele de dahil olmak üzere akıllı tarımla ilgili bilgileri çıkarmak için kullanılmaktadır. Makine öğrenimi ve yapay zekâ tarım sektöründeki mahsullerin verimini ve kalitesini artırmak, daha iyi mahsuller oluşturmak amacıyla verileri analiz etmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, nicel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Araştırmada geliştirilen sistemin performansı, simülasyon verileri aracılığıyla test edilmiş ve elde edilen çıktılar nicel veri analizi ile değerlendirilmiştir. Nicel araştırma yöntemi, simülasyon ortamında çeşitli tarımsal parametrelerin rastgele oluşturulması yoluyla elde edilen verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, gerçek tarımsal ortamlarda henüz test edilmemiş olan sistemin potansiyel performansı hakkında genel bir öngörü sağlanmıştır.

Nicel yöntemin tercih edilmesinin nedeni, sistemin etkinliğinin nesnel verilerle ortaya konulması ve belirli tarımsal parametreler üzerinden değerlendirilmesidir. Veri setinden elde edilen gerçek ortam verileri, belirlenen makine algoritmaları çerçevesinde analiz edilmiş edilmiştir. Bu kapsamda kullanılan makine öğrenme algoritmaları arasından en verimlisini seçmek için yapılan çalışmamızda “Random Forest” algoritmasının en uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında blokzincir tabanlı bir IoT destekli karar destek sisteminin, gerçek dünya koşullarında benzer bir performans sergileyeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, ilerleyen çalışmaların gerçek tarımsal alanlarda yapılması planlanmaktadır.

Önerilen sistem ve bu amaçla geliştirilen yazılım, IoT, blokzincir, büyük veri analizi ve yapay zekâ teknolojilerini entegre ederek güçlü bir karar destek sistemi oluşturmaktadır. Sistem, gerçek zamanlı veri toplama, güvenli saklama, ileri analiz ve akıllı karar verme yetenekleriyle çeşitli endüstriyel ve kurumsal uygulamalarda kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

Önerilen sistem, özellikle IoT teknolojisinin kullanıldığı birçok çalışmada da tercih edildiğinden, web sayfaları aracılığıyla bir kullanıcı ara yüzü sağlamak için Python/Flask mikro web çerçevesi kullanılarak geliştirilmiştir (Nageswara Rao ve Sridhar, 2018; Nandurkar vd., 2014; Suraya ve Sholeh, 2022; Tiwari vd., 2018). Bu kullanım, mümkün olduğunca çok sayıda kullanıcı için erişilebilirliği en üst düzeye çıkarmıştır. Ayrıca, bulut tabanlı hizmetlere doğrudan bir bağlantı oluşturması açısından da daha sonraki geliştirmeler için esneklik sağlayacaktır. Blokzincir katmanı, IoT katmanı ve karar destek katmanı Python programlama dili ile kodlanmış ve son kullanıcıya web ara yüzü ile sunulmuştur.

TarBioT KDS: Blokzincir ve IoT tabanlı Tarımsal Karar Destek Sistemi

TarBioT KDS, tarımsal karar destek süreçlerini optimize etmek amacıyla Nesnel İnterneti (IoT) ve blokzincir teknolojilerini entegre eden yenilikçi bir sistemdir. Bu sistem, veri toplama, güvenlik, analiz ve karar verme süreçlerini birleştiren dört ana katmandan oluşmaktadır.

Sistemin temelini oluşturan IoT sensör ağ katmanı, çevresel parametreleri (sıcaklık, nem, basınç vb.) toplayan fiziksel sensörler veya yazılım simülasyonlarından oluşmaktadır. Bu katman, toplanan verileri standart bir formata dönüştürerek, her veri paketini zaman damgası ve benzersiz sensör kimliği ile etiketlemektedir. Veriler, güvenli iletişim protokolleri aracılığıyla bir sonraki katmana aktarılmaktadır.

Blokzincir katmanı, veri bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu katman, sensörlerden gelen verileri alarak her veri paketi için bir blok oluşturmakta ve bu blokları önceki bloklarla ilişkilendirerek zincire eklemektedir. Akıllı sözleşmeler aracılığıyla veri doğrulaması gerçekleştirilmekte ve seçilen konsensüs mekanizması ile bloklar onaylanmaktadır. Bu süreç, değiştirilemez ve şifrelenmiş veri kayıtlarının oluşturulmasını sağlamaktadır.

Veri işleme ve analiz katmanı, blokzincir katmanından alınan ham verileri anlamlı bilgilere dönüştürmektedir. Bu katmanda, makine öğrenimi algoritmaları (örneğin, kümeleme ve sınıflandırma) uygulanarak veri setleri oluşturulmakta, istatistiksel analizler yapılmakta ve tahmine dayalı modeller geliştirilmektedir. Bu işlemler sonucunda, detaylı analiz raporları, tahminler ve anomali tespitleri üretilmektedir.

Karar destek sistemi katmanı, veri analizi sonuçlarını alarak önceden tanımlanmış iş kuralları ve politikaları uygulamaktadır. Bu aşamada, yapay zekâ algoritmaları kullanılarak çeşitli senaryolar değerlendirilmekte, kullanıcı tercihlerine göre risk değerlendirmeleri yapılmakta ve sonuç olarak karar önerileri ile eylem planları oluşturulmaktadır.

Sistemin tüm bileşenleri, kullanıcı dostu bir web ara yüzü üzerinden kontrol edilmektedir. Bu ara yüz, kullanıcıların sistem ile etkileşimini sağlamakta, komutların ilgili katmanlara iletilmesini kolaylaştırmakta ve veri görselleştirme araçları ile kapsamlı raporların oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

Önerdiğimiz sistem dört ana katmandan oluşmaktadır. Bunlar: IoT sensör ağ katmanı, Blokzincir katmanı, Veri işleme ve Analiz katmanı ile son olarak Karar destek sistemi katmanıdır. Tüm bileşenler bir web ara yüzü ile kontrol edilmektedir. Sistemin işleyişi, tarımsal sensörlerden veri toplanmasıyla başlamaktadır. Toplanan veriler IoT ağında standartlaştırıldıktan sonra blokzincir katmanına iletilmekte, burada güvenli bir şekilde şifrelenerek zincir üzerine kaydedilmekte ve doğrulanmaktadır. Ardından, veriler işleme katmanına aktarılarak analiz edilmekte ve sonuçlar karar destek sistemine iletilmektedir. Karar destek sistemi, bu sonuçları değerlendirerek öneriler oluşturmaktadır. Tüm bu süreç ve sonuçlar, web ara yüzü üzerinden izlenmekte ve yönetilmektedir.

Blokzincir ve IoT teknolojilerinin kullanıldığı bir karar destek sistemine (TarBioT KDS) ait katmanları ve katmanlara ait detayları gösteren bir diyagram Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. TarBioT Karar destek sisteminin genel akışı

Tüm katmanlar veri akışlarıyla birbirine bağlanmaktadır. Katmanların sağladığı işlevler ve kullanılan teknolojilere ait bilgiler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

IoT sensör ağ katmanı

Veri toplama ve iletim görevini görmektedir. Fiziksel sensörler veya yazılım simülasyonları çevresel verileri (sıcaklık, nem, basınç vb.) toplar. Veriler standart bir formata dönüştürülür. Her veri paketi, zaman damgası ve sensör ID'si ile etiketlenir. Veriler, güvenli protokoller kullanılarak iletilir. Katmana ait örnek kod parçası Şekil 2’de gösterilmiştir.

```

# IoT Cihazları ve Veri Toplama
def get_sensor_data():
    data = {
        'su_seviyesi': random.uniform(0, 100), # Su seviyesi (cm)
        'nem_orani': random.uniform(0, 100), # Nem oranı (%)
        'toprak_ph': random.uniform(3.5, 8.5), # Toprak pH seviyesi
        'sicaklik': random.uniform(-10, 40), # Sıcaklık (°C)
        'hava_basinc': random.uniform(950, 1050), # Hava basıncı (hPa)
        'azot': random.uniform(0, 100), # Azot seviyesi
        'fosfor': random.uniform(0, 100), # Fosfor seviyesi
        'potasyum': random.uniform(0, 100) # Potasyum seviyesi
    }
    return data

```

Şekil 2. IoT sensör ağ katmanına ait örnek kod parçası

Blokzincir katmanı

Veri bütünlüğü ve güvenliğini sağlamak üzere konumlandırılmıştır. Sensörlerden gelen verileri alır ve her veri paketi için bir blok oluşturur. Veriler, önceki bloklarla bağlantılı olarak zincire eklenir. Akıllı sözleşmeler kullanarak veri doğrulaması gerçekleştirilir. Seçilecek konsensüs(mutabakat) mekanizması ile bloklar onaylanır. Bu sayede değiştirilemez ve şifrelenmiş veri kayıtları oluşturulur. Katmana ait örnek kod parçası Şekil 3'te gösterilmiştir.

```

# Blockchain
class Block:
    def __init__(self, index, timestamp, data, previous_hash=''):
        self.index = index
        self.timestamp = timestamp
        self.data = data
        self.previous_hash = previous_hash
        self.hash = self.calculate_hash()

    def calculate_hash(self):
        block_string = json.dumps(self.__dict__, sort_keys=True).encode()
        return hashlib.sha256(block_string).hexdigest()

class Blockchain:
    def __init__(self):
        self.chain = [self.create_genesis_block()]

    def create_genesis_block(self):
        return Block(0, time.time(), "Genesis Block", "0")

    def get_latest_block(self):
        return self.chain[-1]

    def add_block(self, new_block):
        new_block.previous_hash = self.get_latest_block().hash
        new_block.hash = new_block.calculate_hash()
        self.chain.append(new_block)

    def is_chain_valid(self):
        for i in range(1, len(self.chain)):
            current_block = self.chain[i]
            previous_block = self.chain[i - 1]

            if current_block.hash != current_block.calculate_hash():
                return False

            if current_block.previous_hash != previous_block.hash:
                return False

        return True

```

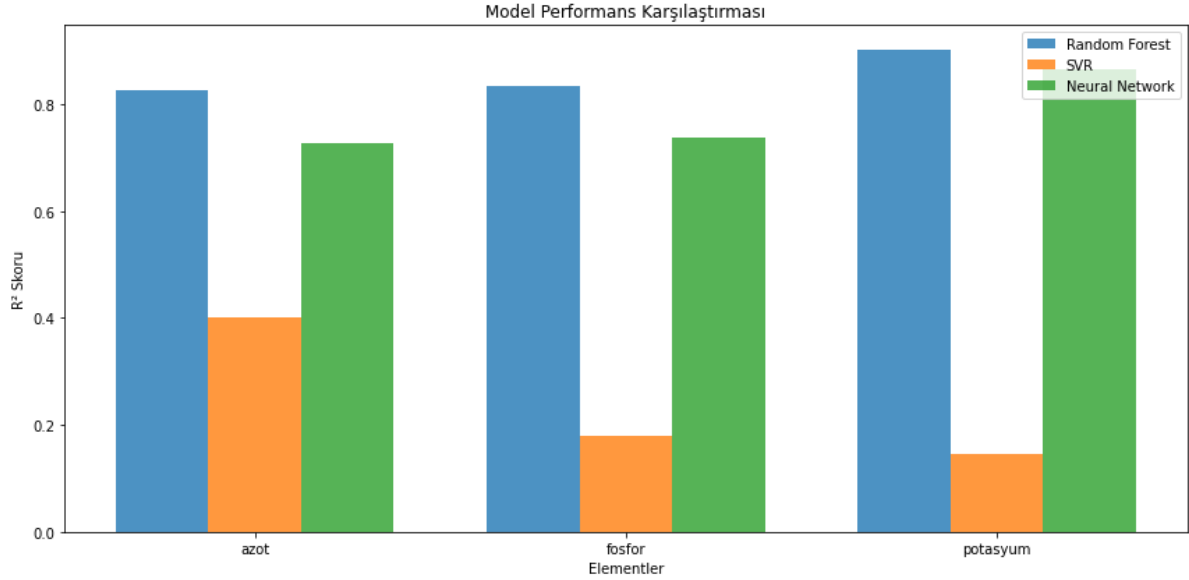
Şekil 3. Blokzincir katmanına ait örnek kod parçası

Veri işleme ve analiz katmanı

Verileri anlamlı bilgiye dönüştürülmesini sağlayan katmandır. Veri kayıtları Blokzincir' den katmanından çekilerek işlenir. Makine öğrenimi algoritmaları (örn. kümeleme, sınıflandırma) uygulanarak veri setlerinin oluşturulur. İstatistiksel analizler ve tahmine dayalı modeller oluşturularak analiz raporları, tahminler ve anomali tespitleri gerçekleştirilir. Çalışmanın en önemli bileşenlerinden biri, makine öğrenimi algoritmalarının karar destek sistemine entegrasyonudur. Bu çalışmada, farklı tarımsal araştırmalardan yararlanılarak verilerin analiz edilmesi ve anlamlı bilgilere dönüştürülmesi için SVR, Neural Network ve Random Forest gibi çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılmıştır(Benos

vd. 2021; Jagtap vd. 2022; Sahoo vd. 2017). Algoritmaların seçimi, tarımsal verilerin doğası ve modelin doğruluk, hız ve genel performans gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Makine öğrenimi modellerinin eğitimi, tarımsal araştırmalardan elde edilen Kaggle veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ingle 2020). Eğitim sırasında, çapraz doğrulama teknikleri kullanılarak modelin genelleme yeteneği artırılmış ve aşırı uyum (overfitting) riskinin önüne geçilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına ait karşılaştırma grafiği aşağıda Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Makine öğrenmesi modellerinin karşılaştırılması

Model performansı, MSE (Mean Squared Error) ve R2 (R-Squared) metriklerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Random Forest algoritmasının, hem düşük hata oranları hem de yüksek R2 değerleriyle en başarılı model olduğu belirlenmiştir. Grafiğe ait değerlendirme metrikleri aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 1. Makine öğrenmesi metotlarına ait metriklerin karşılaştırılması

Model	MSE (Azot)	MSE (Fosfor)	MSE (Potasyum)	R2 (Azot)	R2 (Fosfor)	R2 (Potasyum)
Random Forest	217.3447	169.4116	232.5682	0.8261	0.8345	0.9027
SVR	749.9255	841.1838	2040.5993	0.3999	0.1784	0.1463
Neural Network	342.2614	267.7437	321.2802	0.7261	0.7385	0.8656

```
#Veri Katmanı
def get_data():
    sensor_data = get_sensor_data()
    new_block = Block(len(blockchain.chain), time.time(), sensor_data)
    blockchain.add_block(new_block)

    response = {
        'blockchain_valid': blockchain.is_chain_valid(),
        'new_block': new_block.__dict__,
        'recommendations': analyze_data(sensor_data)
    }

    return jsonify(response)

def get_chain():
    chain_data = [block.__dict__ for block in blockchain.chain]
    return jsonify(chain_data)

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

Şekil 5. Veri işleme ve analiz katmanına ait örnek kod parçası

Ortaya sonuçlar karar destek sistemi katmanına entegre edilmiştir. Bu katman, verilerden elde edilen çıktıları analiz ederek kullanıcılara pratik ve veri odaklı öneriler sunmaktadır. Katmana ait örnek kod parçası Şekil 5'te gösterilmiştir.

Karar destek sistemi katmanı

Veri analizi sonuçları alınarak önceden tanımlanmış iş kuralları ve politikaları uygulanır. Yine bu aşamada tanımlanmış ise yapay zekâ algoritmaları ile senaryolar değerlendirilir. Kullanıcı tercihlerine göre risk değerlendirmeleri yapılır, karar önerileri ve eylem planları oluşturulur. Katmana ait örnek kod parçası Şekil 5'te gösterilmiştir.

```

# Karar Destek
def analyse_data(data):
    recommendations = []

    if data['su_seviyesi'] < 20:
        recommendations.append("Sulama gerekli.")
    if data['nem_orani'] < 30:
        recommendations.append("Nem oranı düşük, sulama yapılabilir.")
    if data['toprak_ph'] < 6 or data['toprak_ph'] > 7.5:
        recommendations.append("Toprak pH seviyesi anormal, düzenleyici ekleyin.")
    if data['sicaklik'] < 0 or data['sicaklik'] > 35:
        recommendations.append("Sıcaklık anormal, bitkileri koruma altına alın.")
    if data['azot'] < 20:
        recommendations.append("Toprak azot seviyesi düşük, azot gübresi ekleyin.")
    if data['fosfor'] < 20:
        recommendations.append("Toprak fosfor seviyesi düşük, fosfor gübresi ekleyin.")
    if data['potasyum'] < 20:
        recommendations.append("Toprak potasyum seviyesi düşük, potasyum gübresi ekleyin.")

    return recommendations

```

Şekil 6. Karar destek sistemi katmanına ait örnek kod parçası

Web arayüzü

Kullanıcı etkileşimi ve sistem kontrolünü sağlar. Kullanıcı komutları ara yüz vasıtasıyla ilgili katmanlara iletilir. Bilgiler ve özelleştirilmiş ekranlar sayesinde kullanıcı tüm bilgilere ulaşarak, veri görselleştirme araçları ile raporlar oluşturabilir. Web ara yüzünün başlıkları Şekil 6'da, verilerin alınmış olduğu arayüz durumu ise Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Web arayüzü

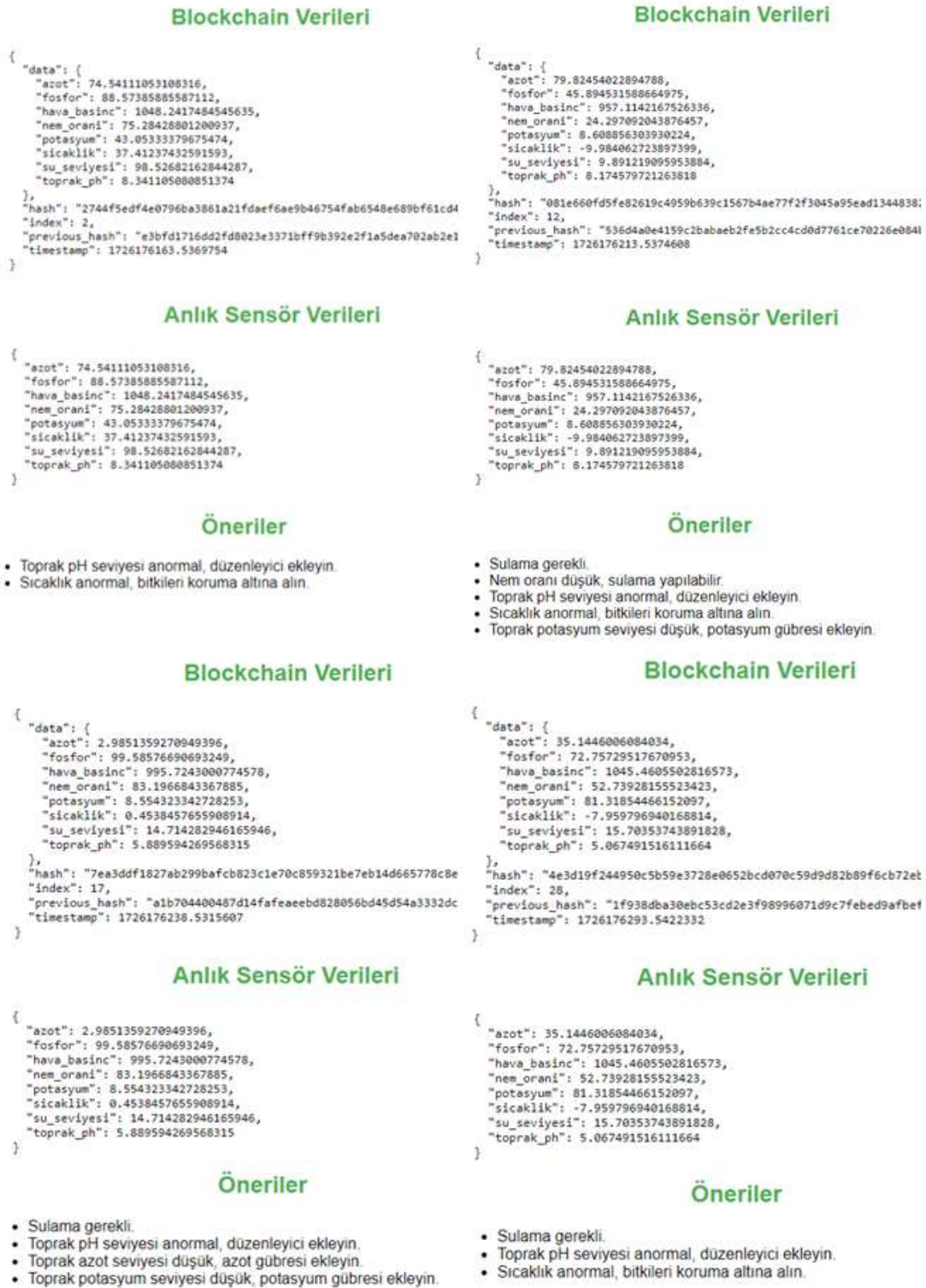
TarBioT karar destek sisteminin işleyişi

Sistemin genel işleyiş adımları şu şekildedir:

1. Tarımsal sensörler aracılığıyla veriler toplanarak IoT ağına gönderilir. (Simüle edilen verilerde kullanılabilir.)
2. IoT ağında veriler standartlaştırılarak blokzincir katmanına iletilir.
3. Blokzincir katmanına aktarılan veriler, güvenli bir şekilde şifrelenerek zincir üzerine kaydedilerek doğrulanır.
4. Blokzincir katmanından, veri işleme katmanına iletilen veriler bu katmanda analiz edilir.
5. Analiz sonuçları karar destek sistemine iletilir.
6. Karar destek sistemine iletilen sonuçlar değerlendirilerek öneriler oluşturulur.
7. Tüm bu süreç ve sonuçlar web ara yüzü üzerinden izlenir ve yönetilir.
8. Kullanıcı, web ara yüzü üzerinden sisteme komutlar gönderebilir (örn. yeni bir analiz talebi).

İşleyişe ait kullanıcı etkileşim diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.

Yukarıda verilen çizelgedeki parametre ve olası etkilere göre sistemin simülasyonu sırasında ortaya çıkan üç farklı ölçüme ait değerlerin olduğu ekran görüntüleri Şekil 9 'da verilmiştir.



Şekil 10. Simülasyon değerleri

Otomatik olarak toplanan sensör verileri sayesinde insan gücüne dayalı tarımsal izleme operasyonları azaltılmıştır. Bu sayede geleneksel tarımdaki dezavantajlar giderilebilecektir.

Değerlere bakıldığında 2,12,17 ve 28'inci bloklardaki zaman damgası(timestamp), mevcut bloğun şifrelenmiş değeri(hash) ile bir önceki bloğa ait şifrelenmiş değer (previous hash) görülebilir. Blokzincir

değerleri, zincir içerisine aktarılan sensör verilerinin şifrelenerek saklandığı değerlerdir. Bu sistem sayesinde veri bütünlüğü ve güvenilirliği konusunda yeni standartlar oluşturulurken, aynı zamanda tarımsal verilerin izlenebilirliği ve değiştirilemezliği konusunda da önemli avantajlar sağlanmıştır. Bu özellikleri ile, tarım sektöründe veri paylaşımı ve iş birliği için güvenilir bir altyapı oluşturma potansiyeli taşımaktadır.

Karar destek sistemi katmanı, analiz sonuçlarını pratik önerilere dönüştürerek, çiftçilerin ve tarım profesyonellerinin daha bilinçli ve veri odaklı kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Bu özellik, tarımsal üretimde verimliliği artırırken, aynı zamanda kaynakların daha etkin kullanımını ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlama potansiyeline sahiptir.

Önerilen sistem, akıllı tarım sistemlerinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve yaygınlaştırılması için değerli bilgiler sağlayabilir. Ayrıca, tarımsal üretim, sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için önemli veriler sunabilir. Sistemin tarım sektöründe farklı çözümleri bir araya getirerek çözebileceği bazı hedefleri şunlardır: Tarımsal verimliliği artırmak, kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak, çevresel etkileri minimize etmek, çiftçilerin karar verme süreçlerini iyileştirmek, gıda güvenliğini ve kalitesini artırmak, tarımsal üretimin dijital dönüşümünü hızlandırmak, veri odaklı tarım uygulamalarını yaygınlaştırmaktır.

SONUÇ

Bu çalışma, tarımsal verilerin toplanmasından, güvenli bir şekilde depolanmasına, analiz edilmesine ve nihayetinde anlamlı önerilere dönüştürülmesine kadar bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu entegre yapı, tarımsal karar verme süreçlerinde veri odaklı, güvenilir ve şeffaf bir ekosistem oluşturma potansiyeline sahiptir. Sistem özellikle, tarımsal üretimde kullanılan iklim ve toprak parametrelerinin elde edilmesi ve sonrasında güvenli bir biçimde dağıtımını üzerine yoğunlaşmaktadır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak, elde edilen veriler blokzincir teknolojisi sayesinde tek bir paydaş için değil sisteme dahil olan tüm paydaşlar tarafından onaylanarak sisteme dahil edilir ve paylaşılır. Bu sayede doğrulanmış, güvenli ve merkeziyetsiz tarımsal kümülatif bir bilgi bankası da kendiliğinden oluşmaktadır. Entegre karar destek sistemi verilerin, bilgiye dönüştürülmesinde etkin rol oynamaktadır.

TarBioT mevcut sistemlerden farklı olarak, kullanıcı dostu web ara yüzü, yeni teknolojileri ve detaylı analizleri kullanıcılar için erişilebilir hale getirerek, sistemin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Bu, akademik araştırmaların sahada uygulanması ve gerçek dünya problemlerine çözüm üretilmesi açısından önemli bir köprü görevi görebilmesini sağlayacaktır.

Sistemin tarım sektöründe farklı çözümleri bir araya getirerek çözebileceği bazı hedefleri şunlardır: Tarımsal verimliliği artırmak, kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak, çevresel etkileri minimize etmek, çiftçilerin karar verme süreçlerini iyileştirmek, gıda güvenliğini ve kalitesini artırmak, tarımsal üretimin dijital dönüşümünü hızlandırmak, veri odaklı tarım uygulamalarını yaygınlaştırmaktır.

Gelecekteki araştırmalar için, blokzincir teknolojisinin tarım sektöründeki spesifik uygulama alanlarını derinlemesine inceleyerek, pilot projeler geliştirerek sonuçlarını değerlendirmeyi amaçlıyoruz. Farklı blokzincir platformlarının performans ve maliyet açısından karşılaştırmalı analizlerini gerçekleştirerek farklı makine öğrenmesi metotları ile testler gerçekleştirerek önerilen sistemin tarım sektörüne farklı etkileri de araştırılacaktır.

KAYNAKLAR

- Ayberkin, D., ve Özen, Ü. (2021). Blokzincir Teknolojisinin Dijital Reklam Ve Pazarlama Sektöründe Kullanımı: Modelleme Çalışması Ve Kavramsal Bir Çerçeve. *Dijital Çağda İşletmecilik Dergisi*, 4(2), 165–171. <https://doi.org/10.46238/JOBDA.1021911>
- Benos, Lefteris, Aristotelis C. Tagarakis, Georgios Dolias, Remigio Berruto, Dimitrios Kateris, ve Dionysis Bochtis. 2021. “Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review”. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 3758* 21(11):3758. doi: 10.3390/S21113758. Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., ve Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.05.012>
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., ve Kalyanaraman, V. (2016). *Applied Innovation Review*. *Applied Innovation Review*, 2, 5–20.
- Eby, P. J. (2010). Python Web Server Gateway Interface. Python Enhancement Proposals. <https://peps.python.org/pep-3333/>
- Fernández-Caramés, T. M., ve Fraga-Lamas, P. (2018). A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things. *IEEE Access*, 6, 32979–33001. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2842685>
- Ferrández-Pastor, F. J., Mora-Pascual, J., ve Díaz-Lajara, D. (2022). Agricultural traceability model based on IoT and Blockchain: Application in industrial hemp production. *Journal of Industrial Information Integration*, 29, 100381. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2022.100381>
- Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S., ve Mittal, S. (2020). Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 8, 34564–34584. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975142>
- Huong, T. T., Huu Thanh, N., Van, N. T., Tien Dat, N., Long, N. Van, ve Marshall, A. (2018). Water and energy-efficient irrigation based on markov decision model for precision agriculture. 2018 IEEE 7th International Conference on Communications and Electronics, ICCE 2018, 51–56. <https://doi.org/10.1109/CCE.2018.8465723>
- Ingle, A. (2020). Crop Recommendation Dataset. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/atharvaingle/crop-recommendation-dataset>
- Jagtap, Santosh T., Khongdet Phasinam, Thanwamas Kassanuk, Subhesh Saurabh Jha, Tanmay Ghosh, ve Chetan M. Thakar. 2022. “Towards application of various machine learning techniques in agriculture”. *Materials Today: Proceedings* 51:793–97. doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.236.
- Jensen, T., Apan, A., ve Zeller, L. (2009). Crop maturity mapping using a low-cost low-altitude remote sensing system. İçinde P. Ostendorf, Bertram, Baldock, Penny, Bruce, David, Burdett, Michael and Corcoran (Ed.), *Proceedings of the 2009 Surveying and Spatial Sciences Institute Biennial International Conference (SSC 2009)* (s. 13). <https://research.usq.edu.au/item/9z98v/crop-maturity-mapping-using-a-low-cost-low-altitude-remote-sensing-system>
- Kamilaris, A., Fonts, A., ve Prenafeta-Boldó, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science ve Technology*, 91, 640–652. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.07.034>
- Kassanuk, T., ve Phasinam, K. (2022). Design of blockchain based smart agriculture framework to ensure safety and security. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2313–2316. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.11.415>
- Khanal, S., Fulton, J., ve Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 22–32. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.05.001>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., ve Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/S12599-014-0334-4/FIGURES/1>

- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., ve Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- Munir, M. S., Bajwa, I. S., ve Cheema, S. M. (2019). An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain. *Computers ve Electrical Engineering*, 77, 109–119. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2019.05.006>
- Nageswara Rao, R., ve Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018*, 478–483. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118>
- Nandurkar, S. R., Thool, V. R., ve Thool, R. C. (2014). Design and development of precision agriculture system using wireless sensor network. *1st International Conference on Automation, Control, Energy and Systems - 2014, ACES 2014*. <https://doi.org/10.1109/ACES.2014.6808017>
- Navarro-Hellín, H., Martínez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F., ve Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 121–131. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2016.04.003>
- Özer, B., Kuş, S., Yıldız, O., Üniversitesi, G., Enstitüsü, B., Sistemleri, B., Ankara, T., Fakültesi, M., Mühendisliği, B., Anahtar, K., Öz, A., Tarım, V., Madenciligi, V., Analizi, C., ve Bilgi, S. (2022). VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE TARIMSAL VERİ ANALİZİ: BİR AKILLI TARIM SİSTEMİ ÖNERİSİ. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 10(4), 1417–1429. <https://doi.org/10.21923/JESD.1081814>
- Patil, A. S., Tama, B. A., Park, Y., ve Rhee, K. H. (2018). A Framework for Blockchain Based Secure Smart Green House Farming. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 474, 1162–1167. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7605-3_185
- Rupnik, R., Kukar, M., Vračar, P., Košir, D., Pevec, D., ve Bosnić, Z. (2019). AgroDSS: A decision support system for agriculture and farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 260–271. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.04.001>
- Sahoo, S., T. A. Russo, J. Elliott, ve I. Foster. 2017. “Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the U.S.” *Water Resources Research* 53(5):3878–95. doi: 10.1002/2016WR019933.
- Suraya, S., ve Sholeh, M. (2022). Designing and Implementing a Database for Thesis Data Management by Using the Python Flask Framework. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, 2(1), 9–14. <https://doi.org/10.52088/IJESTY.V2I1.197>
- Tiwari, A., Sadistap, S., ve Mahajan, S. K. (2018). Development of Environment Monitoring System Using Internet of Things. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 696, 403–412. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7386-1_35
- Torky, M., ve Hassanein, A. E. (2020). Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105476. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105476>
- Upadhyay, A., Mukhuty, S., Kumar, V., ve Kazancoglu, Y. (2021). Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126130. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126130>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., ve Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105256>