

## Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Blokzincir Kullanımı Üzerine Bir Uygulama

Mustafa SANLI<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aselsan, Ankara

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4871-6932>

\*Sorumlu yazar: msanli@aselsan.com.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.10.2023

Kabul tarihi: 17.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Nesnelerin interneti

Blokzincir

Akıllı sözleşme

Bilişim sistemleri

Bulut bilişim

### ÖZ

Blokzincir teknolojisinin Nesnelerin İnterneti (IoT) alanında kullanımı, çok sayıda kullanıcının ve cihazın birlikte yer aldığı sistemlerde güveni, güvenliği ve verimliliği artırmak için umut verici bir fikir olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, merkezi olmayan yapısı ve değiştirilemez kayıt tutma yeteneği sayesinde Blokzincirin veri bütünlüğü, kimlik doğrulama ve ölçeklenebilirlik de dahil olmak üzere IoT sistemlerinin karşılaştığı temel zorluklara nasıl çözüm sağladığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Blokzincir teknolojisinin ve IoT'nin temel ilkeleri incelenmekte ve bu teknolojilerin birlikte kullanılması ile ortaya çıkan başarılı uygulamalara yer verilmektedir. Bu uygulamalarda Blokzincirin IoT cihazları arasında güvenli ve şeffaf veri alışverişini nasıl kolaylaştırdığı, güvensiz ortamlarda bilgi bütünlüğünü nasıl sağladığı incelenmektedir. Çalışmada aynı zamanda IoT süreçlerinin otomatikleştirilmesinde, araçların azaltılmasında ve güvene dayalı işlemlerin gerçekleştirilmesinde akıllı sözleşmelerin rolü de incelenmektedir. Çalışma, var olan örnek olayları inceleyerek tedarik zincirleri, akıllı evler, sigortacılık ve enerji dağıtımı gibi IoT kullanım alanlarında Blokzincirin uygulamalarına örnekler vermektedir. Ayrıca, Blokzincirin IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistemin tasarımı yapılmıştır. Sistemin donanım ve yazılım bileşenleri tasarlanmış, Blokzincir üzerinde yer alan bir akıllı sözleşme ve bu akıllı sözleşmenin kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Sunulan uygulama örnekleri ve tasarımı yapılan uçtan uca sistem çözümü, Blokzincirin güvenilir ve merkeziyetsiz IoT sistemleri için önemini vurgulamaktadır.

## An Application on the Use of Blockchain in Internet of Things Systems

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.10.2023

Accepted: 17.01.2024

Published online: 11.03.2024

#### Keywords:

Internet of things

Blockchain

Smart contract

Information systems

Cloud computing

### ABSTRACT

The use of Blockchain technology in the Internet of Things (IoT) field has emerged as a promising idea to increase trust, security and efficiency in systems where large numbers of users and devices co-exist. This study reveals how Blockchain, thanks to its decentralized structure and immutable record-keeping ability, provides solutions to key challenges faced by IoT systems, including data integrity, authentication, and scalability. In this study, the basic principles of Blockchain technology and IoT are examined and successful applications that arise from the combined use of these technologies are investigated. These applications examine how Blockchain facilitates secure and transparent data exchange between IoT

devices and how it ensures information integrity in insecure environments. The study also examines the role of smart contracts in automating IoT processes, reducing intermediaries and performing trust-based transactions. The study examines existing case studies and gives examples of Blockchain use cases in IoT application areas such as supply chains, smart homes, insurance and energy management. Additionally, in order to create an example system solution for the use of Blockchain in IoT solutions, a system was designed that collects environmental data during the transportation of food products and healthcare materials, saves it in a database, and triggers determined events when the situations defined on the smart contract occur. The hardware and software components of the system were designed. A smart contract on the Blockchain and the user interface of this smart contract were developed. The application examples and the designed end-to-end system solution emphasize the importance of Blockchain for reliable and decentralized IoT systems.

---

**To Cite:** Sanlı M. Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Blokzincir Kullanımı Üzerine Bir Uygulama. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 818-833.

## 1. Giriş

Blokzincir, değişmezliği ve güvenilirliği konusunda tüm kullanıcıların görüş birliğinde olduğu, isteyen tüm kullanıcıların kendi kopyasını saklayabildiği bir kayıt defteri tutma ihtiyacı üzerine ortaya çıkmıştır. Blokzincirin bir uygulaması olan dijital para fikri Bitcoin ile birlikte ortaya atılmıştır (Nakamoto, 2008). Sonrasında Bitcoin'in temelindeki teknoloji olan Blokzincir, veriye güven duyulması ve değişmezliğinin temin edilmesi gereken pek çok farklı alanda kendine uygulama alanı bulmuştur (Swan, 2015; Zyskind ve ark., 2015; Peters ve Panavi, 2016; Rosby ve ark., 2016, Sharples ve Domingue, 2016). Veri, Blokzincir teknolojisinde boyutu önceden tanımlanmış bloklar hâlinde saklanmaktadır. Kriptografik teknikler kullanılarak bu blokların içine yazılan bilginin yazıldıktan sonra değiştirilemez olması garanti edilmektedir. Her bir veri girişi, veriyi oluşturan kaynak tarafından dijital olarak imzalanarak Blokzincir ağında yayınlanmaktadır. Blokzincir ağındaki çok sayıdaki kullanıcı tarafından doğruluğu kontrol edilen bu kayıtlar bir araya getirilerek bloklar oluşturulmaktadır. Hash olarak adlandırılan kriptografik fonksiyonlar kullanılarak blokların kısa özeti oluşturulmakta ve her bloğun özeti bir sonraki blok içerisine yazılarak uçtan uca değiştirilemez bir zincir elde edilmektedir. Veri miktarı arttıkça yeni bloklar oluşturulmakta ve önceki bloklara bir zincir yapısına benzer şekilde eklenmektedir. Bu veri zincirinin bir kopyası, Blokzincir ağına dahil olan tüm kullanıcıların bilgisayarlarında saklanmaktadır. Bu sebeple, veri yönetiminde tek merkezli bir yapı yerine dağıtık yani pek çok noktada kopyası tutulan bir yapı kullanılmış olmaktadır. Tüm kullanıcıların bir kopyasını sakladığı zincirdeki blokların sırasının ve içeriğinin değiştirilemez olması Blokzincir teknolojisinde kullanılan kriptografik metotların garantisini altındadır.

Sağladığı güven, değiştirilemezlik ve dağıtık yönetim imkânlarıyla Blokzincir günümüzde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dijital paralar, para transferleri ve ödemeler, telif haklarının takibi, değerli belgelerin saklanması, borsalar ve sigortacılık Blokzincirin günümüzde kullanıldığı çok sayıda alandan yalnızca birkaç tanesidir (Kaushik ve ark., 2017; Abbas ve Sung-Bong, 2018; Gao ve ark., 2018; Tasatanattakool ve Techapanupreeda, 2018; Deloitte, 2020).

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT), çok sayıda nesnenin İnternet aracılığıyla birbiriyle ve insanlarla devamlı iletişimde olması ile ortaya çıkan teknolojidir. Her bir nesnenin bünyesinde algılayıcılar, eyleyiciler, elektronik kontrol donanımı ve İnternete bağlanmayı sağlayan ağ donanımı bulunmaktadır. Nesnelere toplanan veri, işlenerek ve analitik yöntemlerle anlamlandırılarak uygulama amaçları doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu amaç bazen uygulama alanının izlenmesi gibi temel işlemlere hizmet etmektedir. Bazen de veri içindeki istatistiksel kalıpların belirlenerek ileriye dönük önermeler yapan akıllı sistemler veya oluşabilecek arızaları önceden haber veren derin öğrenme uygulamaları şeklinde karşımıza çıkabilmektedir.

IoT, ilk defa Kevin Ashton'un 1999'da bir sunumunda gündeme gelmiştir. O zamanların sadece merkezi veya kişisel bilgisayarların İnternete bağlandığı dünyasında milyonlarca nesnenin İnternete bağlı olması uzak bir hedef olsa da, günümüzde artık milyarlarca nesne İnternet üzerinden bağlantılıdır ve bu sayı hızla artmaktadır (IoT Analytics, 2023).

Daha çok başlarda, 2008 yılında İnternete bağlı nesne sayısı dünya üzerindeki insan sayısını geçmiştir (IoT Statistics, 2023). Kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla, İnternete bağlanan nesnelere insanları, süreçleri ve veriyi dahil eden Her Şeyin İnterneti (Internet of Everything, IoE) kavramı da kullanılmaya başlanmıştır (IoE, 2023). Artan nesne sayısına bağlı olarak günümüzde IoT dünyasında yaşanan başlıca sorunlar veri güvenliğinin sağlanması ve çok sayıda nesnenin ölçeklenebilir şekilde yönetilmesidir.

IoT dünyasında yaşanan güven sorununun çözümünde Blokzincir, verinin şeffaf ve değiştirilemez şekilde saklandığı bir ortam sunmaktadır. Veri Blokzincirde sisteme ilk girdiği noktaya kadar takip edilebilmekte, tüm işlem kayıtlarının kopyaları pek çok ayrı noktada ve herkesin teyit edebileceği şeffaflıkta saklanmaktadır. Kullanılan kriptografik algoritmalar IoT'de nesnelerin kimliklerinin yönetimi ve nesnelere toplanan verinin bütünlüğünün sağlanması konusundaki güvenlik sorunlarını çözmek için kullanılmaktadır. Tüm bunların yanında, Blokzincirde verinin tek bir merkezden yönetilmemesi, verinin kopyasının pek çok farklı yerde saklanması sebebiyle binlerce cihazın yer aldığı IoT uygulamalarında ölçeklenme problemlerine çözüm sağlanmaktadır. Çok sayıda IoT cihazının dağıtık bir yapıda koordinasyonu, ağın tek bir noktasında yaşanan problemlerin ağın tümünün çalışmasını etkilememesi gibi olanaklar sağlamaktadır. Blokzincir, IoT'nin pek çok sorununa çözüm sunmaktadır.

Ancak, Blokzincir ile IoT teknolojilerinin entegrasyonunda çözülmesi gereken önemli teknolojik ve ekonomik sorunlar bulunmaktadır. Bunların en önemlileri arasında IoT sistemlerinde yer alan yüksek miktardaki gerçek zamanlı verinin Blokzincir üzerinde saklanması ve yönetilmesi yer almaktadır. Merkeziyetsiz yapısı sebebiyle Blokzincir, veritabanlarına göre oldukça yavaş veri işleyebilmektedir. Blokzincire veri kaydetmek için gerekli olan işlem ücretleri de yüksek miktarda verinin etkin şekilde yönetilmesine ekonomik bir engel oluşturmaktadır.

Çalışmamız kapsamında IoT ile Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanımına örnek olarak veribanını Blokzincir ile birlikte kullanan bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışmamızın literatüre katkısı kapsamında geliştirilen bu örnek uygulama ve sunulan metod yer almaktadır.

## 2. Nesnelerin İnterneti Alanında Blokzincir Uygulamaları

Blokzincir ve IoT teknolojilerinin birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkan çözümler, çok farklı sektörlerde uygulama alanı bulmaktadır. Çalışmamızın bu bölümünde önce var olan uygulama alanları özetlenmekte, arkasından örnek bir uygulamanın donanım ve yazılım bileşenleri ile gerçekleştirilmesi yapılmaktadır.

### 2.1. Lojistik ve Tedarik Zinciri

Lojistik ve tedarik zinciri endüstrisi, ürünlerin nakliyesini ve depolanmasını sağlayarak diğer endüstrilerin iş modellerini gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu sektörün barındırdığı kendine özgü zorluklar arasında yüksek miktarda dokümantasyon gereksinimi, nakliye takibinin kontrolü ve ödemelerde yaşanan gecikmelerin yönetimi yer almaktadır. Bu zorlukların büyük bölümünü IoT ve Blokzincir teknolojilerini kullanarak çözmek mümkündür. Nakliye sırasında konteynerin sıcaklık, konum ve durum bilgileri, geliş ve sevk tarihleri değiştirilemez şekilde Blokzincir üzerinde saklanabilmektedir. Bu sistemi kullanıcıların her zaman erişebileceği ve güvenebileceği bir platform sunmaktadır.

Örnek olarak, Ambrosus, gıda ve ilaç sektöründe tedarik zinciri için hizmet sunan Blokzincir tabanlı IoT ağıdır (Ambrosus, 2023). Sistem, algılayıcılar, dağıtık kayıt defterleri ve veri tabanları arasında güvenli ve sorunsuz şekilde iletişimi sağlayarak lojistik süreçlerinin takip edilebilir bir şekilde yürütülmesine olanak vermektedir. WaltonChain (WaltonChain, 2023) ve OriginTrail (OriginTrail, 2023) çalışmaları tedarik zincirlerinde veri akışının sağlanması için güvenli alt yapıyı Blokzincir teknolojisi ile oluşturan diğer örneklerdir. DHL, Maersk ve IBM gibi firmaların uyguladığı çözümler de Blokzincir ve IoT teknolojilerinin birlikte kullanımına başarılı örnekler oluşturmaktadır (Hvolby ve ark., 2021). Mediledger, ilaç ve tıbbi malzemenin dağıtımında yer alan lojistik süreçlerinde üretici, bayi ve kullanıcı arasındaki ilişkileri IoT ve Blokzincir teknolojilerini entegre ederek düzenlemektedir (Mediledger, 2023). Blokzincirin lojistik zincirlerindeki takip süreçlerinde IoT ile birlikte kullanılması ile ortaya çıkan kazanımlar da çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir (Kim ve Laskowski, 2018; Kshetri 2018).

### 2.2. Akıllı Evler

İnternet üzerinden haberleşen akıllı eşyalar ve evler konusunda yeni ürünlerin hızla ortaya çıktığı görülmektedir (AlHammadi ve ark., 2019). Tüm bu akıllı nesnelerin topladığı verinin veri tabanları yerine Blokzincir üzerinde saklanması mümkündür. Saklama ortamı olarak Blokzincirin kullanılmasıyla verinin güvenliği ve değiştirilemez olması garanti edilmektedir. Blokzincir teknolojisinin olanaklarıyla, veri sahibinin kimliği ortaya çıkmadan, verinin enerji tasarrufu gibi amaçlarla üçüncü parti taraflarca kullanılması mümkündür. Örneğin Walmart'ın akıllı evlerde Blokzincir kullanımı hakkında yayınladığı bir patent bulunmaktadır (Jones, 2018). Başka bir örnekte IoTeX ve NKN gibi platformlar akıllı ev cihazlarının yönetiminde Blokzincir tabanlı dağıtık ağları kullanmaktadır (IoTeX, 2018). Akıllı evlerde

yer alan cihaz ve algılayıcılar arasındaki veri paylaşımının Blokzincir teknolojisi yardımıyla daha güvenli şekilde sağlanabileceği ortaya konmuştur (Gaikwad ve ark., 2022). Avustralyalı teknoloji şirketi Telstra, IoT tabanlı akıllı ev çözümlerinde kullanıcıların biyometrik verilerini Blokzincir teknolojisi ile güven altına almaktadır (Telstra, 2023). Akıllı evlerde kullanılan IoT cihazlarının siber saldırılara karşı güvenliğinin sağlanmasında da Blokzincir teknolojisi önemli fırsatlar içermektedir (Moon ve ark., 2022). Ayrıca kullanıcı ve cihazların erişim kontrolünün sağlanmasında da bir güvenlik katmanı olarak Blokzincir teknolojisi kullanılmaktadır (Shakarami ve ark., 2022).

### **2.3. Otomotiv**

Otomotiv endüstrisi IoT'den büyük ölçüde faydalanmaktadır (Bajaj ve ark., 2018). Blokzincirin yaygınlaşmasıyla otomotiv üretiminde IoT ve Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanılarak yeni imkânlarla ulaşıldığı görülmektedir. IoT ve Blokzincir teknolojileri birlikte kullanılarak araçların ve araç bileşenlerinin tedarik zinciri içerisinde takibi sağlanmaktadır. Üretici bilgisi, üretim tarihi ve yeri gibi bilgilerin yanında IoT algılayıcıları yardımıyla toplanan bilgiler de Blokzincir tabanlı kayıt defterlerinde saklanmaktadır. Saklama ortamının sağladığı şeffaflık ve değiştirilemezlik, üretici, müşteri, satış merkezi, servis noktası gibi paydaşların ürün bilgilerini güvenle kullanmasına olanak vermektedir.

Ford, BMW, GM, Renault gibi büyük otomotiv üreticilerinin ve IOTA Foundation, Trusted IoT Alliance gibi IoT platformlarının da dahil olduğu 37 şirketin katılımıyla MOBI isimli bir platform kurulmuştur (MOBI, 2023). Bu platform, araç üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde IoT ve Blokzincir teknolojilerini birlikte kullanarak çözümler üretmek için çalışmaktadır.

Bunların yanında elektrikli araçların şarj istasyonlarında, yakıt ödemelerinin yapılmasında, akıllı trafik kontrol sistemlerinde IoT ve Blokzincir teknolojilerinden yararlanan çözümler kullanılmaktadır. NetObjex'in geliştirdiği akıllı park sistemlerinde, boş park alanları IoT ile tespit edilirken park ücretleri kripto cüzdanlar ile otomatik olarak yapılmaktadır (NetObjex, 2023).

### **2.4. Sigortacılık**

Sigortacılık alanındaki uygulamalar oldukça kapsamlı çözümler içermektedir. Giyilebilir cihazlar kullanıcının diyet, aktivite, kalp atış hızı, kan basıncı ve daha pek çok biyolojik bilgisini toplamakta, bu veri özel Blokzincir ağlarında güvenli ve değiştirilemez şekilde saklanmaktadır. Sağlık sigortası sağlayan şirketler bu verilere ulaşabilmekte ve sigorta kapsamı bu verilere göre belirlenmektedir (Ahmad ve Saxena, 2022). Sağlık sektöründe kayıtların güvenli ve değiştirilemez olarak tutulması konusunda bir başka çalışmada da Hyperledger Blokzinciri kullanılarak bir çözüm oluşturulmuştur (Nuredini ve ark., 2023).

Akıllı evlerde kullanılan IoT tabanlı güvenlik sistemlerinin Blokzincir teknolojisi ile saklanan verileri, sigorta şirketine yapılan ödeme başvurularının gerçekliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Araçlarda yer alan IoT cihazları, sürücünün aracını kullanım sıklığını ve "iyi sürücü" tanımına ne ölçüde uyduğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Blokzincir üzerinde saklanan bu verinin geriye dönük olarak

değiştirilmesi mümkün olmadığı için, trafik ve araç sigortası yapan şirketler için teklif oluşturma süreçlerinde güvenilir bir kaynak oluşturmaktadır (Xiao ve ark., 2022).

Ayrıca sigortacılığın önemli alanlarından tarımsal ve zirai aktivitelerde IoT verisinin değiştirilemez olarak saklanması Blokzincirden yararlanılmaktadır (Bai ve ark., 2022). Yeni nesil Fintech uygulamalarında da IoT ve Blokzincir birlikte kullanılarak sisteme duyulan güvenin artırılması sağlanmaktadır (Chauhan, 2022).

## **2.5. Enerji Dağıtım**

IoT tabanlı sistemler bina ve enerji yönetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji kullanımının gerçek zamanlı takibi ile sadece ücret toplama süreçlerinin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda enerji dağıtım hatlarındaki yükün planlanması ve dengelenmesi de mümkün olmaktadır.

Brooklyn'de enerji verimliliğinin artması için IoT ve Blokzincir teknolojileri başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Brooklyn Energy, 2023). Mahalle sakinleri arasında oluşturulan mikro şebekelerle, güneş enerjisiyle üretilen elektriğin yakın komşulara satılabilmesi sağlanmıştır. Benzer bir çözüm olan PowerLedger, bu fikri daha da yaygınlaştırarak herhangi bir enerji şebekesinde cihazlar ve insanlar arasında enerji alışveriş işlemlerini IoT ve Blokzincir teknolojisini birlikte kullanarak sağlamaktadır (PowerLedger, 2023). Başka bir örnekte, bir konsorsiyum Blokzinciri kullanarak enerji satışının güvenli olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır (Li ve ark., 2018). Akıllı şebekelerin işletiminde IoT ve Blokzincir için pek çok uygulama alanı bulunmaktadır (Iindombo ve Chitauro, 2023). Enerji şebekelerinde haberleşme güvenliği de bu teknolojilerle geliştirilen çözümlerle sağlanabilmektedir (Ullah ve Park, 2021).

## **2.6. Haberleşme**

IoT cihazlarının haberleşmesi için gerekli olan kablolu veya kablosuz haberleşme altyapısının uygulama alanında bulunmadığı veya daha maliyet etkin çözümlerin kullanılmak istendiği durumlarda, IoT cihazlarının kendi oluşturdukları kablosuz ağlar veri iletiminde bir çözüm olarak kullanılabilir. Helium, Blokzincir madencilerini kablosuz erişim noktası olarak kullanmakta, uzun menzilli kablosuz iletişim teknolojileri ile IoT cihazlarına bu ağa dahil olma imkânı sağlamaktadır (Helium, 2023). Bu ağın koordinasyonu ve yönetimi Blokzincir tabanlı bir sistem ile sağlanmaktadır. Erişim noktası olarak hizmet veren madencilere, bu hizmet karşılığı ödemeler yine Blokzincir üzerinden dijital paralar ile yapılmaktadır.

Bu alanda bir başka örnek BlockMesh ağıdır (BlockMesh, 2023). Bu ağ IoT cihazları için tamamen ücretsiz veri iletim ortamı sunmaktadır. Ağın çalışmasında gerek duyulan veri iletimine katkı sağlayan kullanıcılar ve IoT cihazları sağladıkları hizmet ölçüsünde kredi kazanmakta, kazandıkları bu krediyi kendi verilerini iletmek için kullanmaktadır. Böylece, dayanışma esasına dayanan ve kapsama alanı da ağa dâhil olan IoT cihazı sayısına bağlı olarak genişleyen bir mesh (örgü) ağ oluşturulmaktadır. Bu ağ, dağıtık yapıda Blokzincir tabanlı bir sistem üzerinden yönetilmektedir. Ayrıca yüksek veri iletim

kapasitesi sunan 5G ağlarında kritik bilgilerin kontrollü iletimi konusunda da IoT ve Blokzincirin entegrasyonuna dayanan çözümler geliştirilmiştir (Srinivasu ve ark., 2021). Endüstriyel IoT haberleşmesinde güvenli iletişimin sağlanmasında da Blokzincir teknolojisi kullanılmaktadır (Rathee ve ark., 2022).

## 2.7. Gıda

Gıda maddelerinin kaynağından tüketim noktasına kadar depolandığı ve işlendiği noktaların takip edilmesinde IoT ve Blokzincir teknolojileri birlikte kullanılmaktadır. Özellikle çok sayıda tedarikçiden faydalanan firmaların üretim süreçlerini yönetmesinde ve tüketicilere gıda maddelerinin kaynağı konusunda güvenilir bilgiler sunmasında bu teknolojiler önem kazanmaktadır (Tse ve ark., 2017; Kaur ve ark., 2022; Balamurugan ve ark., 2021). RFID gibi fiziksel ürünlerin takibini kolaylaştıran teknolojilerin de dâhil edilmesiyle gıda maddelerinin takibi konuda geniş ölçekli örnek çalışmalar ortaya konmuştur (Zuo ve ark., 2022).

Blokzincir ve IoT birlikte kullanıldığında pek çok farklı alanda teknolojik problemlere yeni çözüm fırsatları sunmaktadır. IoT cihaz sayısı her geçen gün hızla artarken, bu cihazlardan toplanan verinin saklanması ve gereken şekilde işlenmesi için Blokzincir dağıtık bir platform sunmakta, IoT alanında yaşanan güven, güvenlik ve ölçeklenme problemlerine çözüm getirmektedir.

## 3. Materyal ve Metot

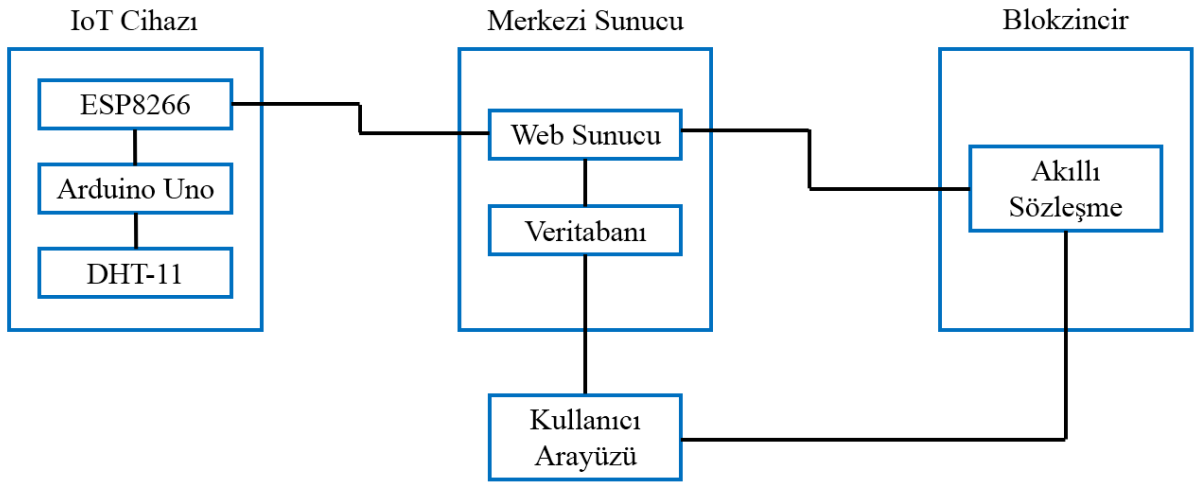
Blokzincir'in IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem çözümünün getirdiği faydalar aşağıda listelenmiştir:

- Bir IoT uygulamasının Blokzincir ile entegrasyonu ve uçtan uca sistem çözümünün oluşturulmasına örnek oluşturmaktadır.
- Çok sayıda algılayıcının dahil edilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle, çok farklı alanlarda IoT çözümlerinin Blokzincir ile entegre edilmesine temel ve ölçeklenebilir bir çerçeve sunmaktadır.
- IoT algılayıcılarından toplanan verinin akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan kurallara uygun olarak güvenilir ve değiştirilemez şekilde olaylar tetiklemesini sağlamaktadır. Örnek olarak, belirli sıcaklık ve nem değerleri dışına çıktığında sigorta, teslimat, ödeme vb. hükümlerin otomatik olarak çalıştırılmasını sağlamaktadır.

IoT sistemleri yüksek miktarda verinin gerçek zamanlı toplanmasını ve işlenmesini gerektirdiği için, bu verinin tamamen Blokzincir üzerinde yönetilmesi teknolojik ve ekonomik zorluklar içermektedir. Blokzincirde bloklar arasında geçen sürenin oldukça uzun olması verinin gerçek zamanlı

kaydedilmesine engel oluşturmaktadır. Yine bu sürenin uzun olması sebebiyle kötü niyetli kullanıcıların başka kullanıcılar tarafından Blokzincire yazılmak istenen işlemleri izleyerek kendilerine çıkar sağlayacak işlemler yapması şeklinde ortaya çıkan front-running saldırıları görülebilmektedir. Ayrıca, her bir veri kayıt işlemi için ödenmesi gereken işlem ücretleri, çok sayıda algılayıcı içeren IoT sistemlerinin verisini Blokzincir üzerinde tutmayı çok pahalı ve verimsiz hale getirmektedir. Bu sorunlara çözüm olarak, sistem çözümümüzde IoT verisini saklamak için veritabanından yararlanan bir çözüm ortaya konmuştur. Algılayıcılardan toplanan veri hızlı ve ekonomik bir veri depolama alanı olan merkezi veritabanında saklanmaktadır. İlave güvenlik ve değiştirilemezlik ortamı olarak Blokzincir üzerinde çalışan bir akıllı sözleşme yer almaktadır. Akıllı sözleşme üzerinde kod ile belirtilen koşullar gerçekleştiğinde, Blokzincir olayları tetiklenmekte ve bu olaylar herkesin erişimine açık şekilde blokzincir üzerine kaydedilmektedir. Verinin tamamının Blokzincir üzerine kaydedilmesi yerine tetiklenen olayların kaydedilmesi, IoT ve Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanımındaki teknolojik ve ekonomik sorunlara bir çözüm oluşturmaktadır.

Sistem çözümünü oluşturan temel bloklar Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Sistem çözümünü oluşturan temel bloklar

IoT cihazı, sıcaklık ve nem algılayıcıları ile bulunduğu depo, konteyner, dolap vb. ortamın ölçümünü yapmakta, kablosuz internet üzerinden ölçüm değerlerini HTTP GET çağrılarını şeklinde bir web sunucusuna iletmektedir. Bu web sunucusunda, ölçüm değerleri veritabanı üzerinde saklanmaktadır. Web sunucusu, gelen ölçüm değerlerini veritabanına kaydederken aynı zamanda Blokzincir üzerinde bulunan akıllı sözleşmeye de göndermektedir. Akıllı sözleşmede tanımlanan koşullar gerçekleştiğinde, koşula uygun olaylar tetiklenmektedir. Kullanıcılar, web tarayıcılarında bir eklenti olarak yer alan Metamask kripto cüzdanları ile kullanıcı arayüzünü içeren bir web sayfasına erişmektedir. Bu web sayfası ReactJS ve web3.js Javascript kütüphanelerini kullanmakta, böylece akıllı sözleşme fonksiyonları ile etkileşebilmektedir. Akıllı sözleşme tarafından tetiklenen olaylar, Blokzincir üzerine



değiştirilemez olarak zaman damgalarıyla kaydedildiği gibi, aynı zamanda bu web sayfası üzerinden de görüntülenebilmektedir. Sistemin temel bileşenleri aşağıda listelenmiştir:

Donanım bileşenleri:

- NodeMCU ESP8266, üzerinde kablosuz haberleşme modemi taşıyan küçük bir mikroişlemci kartıdır. Sistemde algılayıcı verisinin İnternet üzerinden iletimi için kullanılmaktadır.
- Arduino Uno, ATmega328 mikroişlemci tabanlı bir geliştirme kartıdır. Üzerinde analog ve dijital giriş/çıkışlar bulundurduğu için algılayıcı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistemdeki görevi algılayıcı verisini okuyarak NodeMCU ESP8266 kartına UART seri haberleşme ile iletmektir.

Yazılım bileşenleri:

- Metamask, yaygın olarak kullanılan bir kripto cüzdandır (Metamask, 2023). Tarayıcı eklentisi olarak kullanılabilirdiği için Ethereum (Ethereum, 2023) tabanlı Blokzincirlere erişimde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Kripto anahtarları saklamak ve Blokzincir üzerinde yer alan akıllı sözleşmelerle etkileşim için kullanılmaktadır.
- Ropsten Test Ağı (Ropsten Blockchain, 2023), Ethereum Blokzincirinin test ağlarından biridir. Ethereum'un asıl ağı olan Mainnet kullanımına geçmeden önce, uygulamaların test ortamında geliştirilmesi için kullanılmaktadır.
- Web Sunucu, Linux işletim sistemi üzerinde çalışmakta ve HTTP çağrılarını alıp işlemek için kullanılmaktadır.
- Veritabanı, algılayıcı verisini kaydetmek için kullanılmaktadır.
- Remix IDE (Remix IDE, 2023) akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi ve Blokzincir üzerinde yayınlanması için kullanılan web tabanlı bir geliştirme ortamıdır. Akıllı sözleşmeler Solidity dili ile geliştirilmektedir. Bu geliştirme ortamı, akıllı sözleşme kodunun derlenmesi ve Blokzincir üzerine aktarılması için kullanılmaktadır.
- ReactJS (React, 2023) web geliştirmede kullanılan bir Javascript kütüphanesidir. Blokzincir ile etkileşime geçebilen web sayfaları hazırlamak için web3.js kütüphanesi (Web3, 2023) ile birlikte kullanılmıştır.
- Truffle suite (Truffle Suite, 2023) akıllı sözleşme geliştirmede ve testinde kullanılan bir araçlar topluluğudur.
- Ganache (Ganache, 2023) bilgisayarın yerel ortamında çalışan bir test Blokzinciridir.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Şekil 3'te gösterilen sistemin gerçekleşmesi ve testi için izlenen adımlar aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir. Bu adımlar, tipik bir Blokzincir geliştirme sürecine de örnek oluşturmaktadır.

- Donanım geliştirme süreci: Öncelikle donanım bileşenleri hazırlanmıştır. Arduino'da basit bir kod ile algılayıcı okuma ve seri kanaldan NodeMCU ESP8266 ile paylaşma işlemi

gerçekleştirilmiştir. NodeMCU ESP8266 üzerinde çalışan kod ile de seri kanaldan gelen verinin kablosuz İnternet üzerinden http GET çağrısı hâlinde web sunucusuna gönderilmesi sağlanmıştır.

- Bulut ortamının hazırlanması: Linux işletim sistemi üzerine bir Web Sunucu ve bir veritabanı kurulmuştur. Bu sunucu üzerinde çalıştırılan ve PHP dilinde çalışan bir kod ile gelen HTTP GET çağruları işlenerek algılayıcı verisinin veritabanına yazılması sağlanmıştır.
- Blokzincir geliştirme süreci: Öncelikle, kullanılacak Blokzincir olarak Ethereum seçilmiştir. Bu seçimin yapılmasında Ethereum'un akıllı sözleşmelere olanak tanınması, web arayüzü için gelişmiş kütüphanelerin bulunması, yaygın kullanımı, tasarımın Ethereum tabanlı birçok Blokzincire kolayca taşınabilir olması gibi sebepler belirleyici olmuştur. Sonrasında, akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi aşamasında Solidity programlama dili (Solidity, 2023) ve Remix IDE geliştirme ortamı kullanılmıştır. Akıllı sözleşme içerisinde kodlanan fonksiyonlar Remix IDE üzerinde test edilmiştir. Geliştirme tamamlandıktan sonra, akıllı sözleşmeler Truffle Suite üzerinde test edilmiştir. Testin son aşamasında bilgisayara kurulan yerel Ganache Blokzincir üzerinde akıllı sözleşmelerin fonksiyonları test edilerek doğrulanmıştır. Kullanıcı arayüzü olarak hazırlanan web sayfasında web3.js ve ReactJS Javascript kütüphaneleri Blokzincir ile etkileşimi sağlamak için kullanılmıştır. Tüm testler tamamlandıktan sonra akıllı sözleşmeler önce test ağına sonra da Polygon ağına yüklenmiştir. Polygon ağı (Polygon Blockchain, 2023), Ethereum'un hız ve ekonomik açıdan ölçeklenebilmesi için geliştirilmiş 2. Katman bir yan ağdır. Ethereum üzerinde çalışan akıllı sözleşmeler küçük değişikliklerle Polygon üzerinde daha hızlı ve ekonomik şekilde çalıştırılabilmektedir.

Testlerin son aşamasında IoT cihazı bir dolaba yerleştirilerek sistemin gerçek çalışma koşullarında davranışı incelenmiştir. IoT cihazı 15 dakikalık periyotlarla bulunduğu ortamın sıcaklık ve nem ölçümünü yaparak web sunucusuna göndermektedir. Akıllı sözleşme içerisine yazılan kod, sıcaklık 18°C altına düştüğünde ve 27°C üzerine çıktığında Blokzincir üzerinde olay tetiklemektedir. Bu olaylar hem değiştirilemez şekilde Blokzincir üzerine kaydedilmekte, hem de kullanıcı arayüzünde görüntülenmektedir. Testi gerçekleştirebilmek ve olay tetiklenmesini sağlamak amacıyla, dolap sıcaklığı dışarıdan müdahale edilerek 2 noktada 18°C altına düşürülmüştür ve 3 noktada 27°C üzerine çıkarılmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'te 24 saat boyunca 15 dakikada bir alınan sıcaklık ve nem verisini grafiği görülmektedir. Akıllı sözleşme tarafından Blokzincir üzerinde tetiklenen olaylar Şekil 4'da verilmiştir. Olayların tetiklendiği zamanlar ile sıcaklığın akıllı sözleşmede tanımlanan limitlerin dışına çıktığı zamanların tam olarak örtüştüğü görülmektedir.

Bu örnek uygulama, sadece IoT çözümlerinin kullanıldığı benzer sistemlerle (Murthy ve ark., 2023; Rao ve ark., 2023) karşılaştırıldığında, Blokzincirin getirdiği ilave güvenilirlik imkânları sayesinde tanımlanan olayların değiştirilemez şekilde saklanmasını sağlamaktadır. Sunulan çözüm, pek çok

paydaşın birlikte yer aldığı ve güvene dayalı kurgulanan IoT çözümlerinde yaşanan sorunlara çözüm getirmektedir.



**Şekil 2.** Test dolabından alınan sıcaklık değerin 24 saat içerisindeki değışimi



**Şekil 3.** Test dolabından alınan nem değerin 24 saat içerisindeki değışimi

## Tetiklenen Olaylar



Şekil 4. Akıllı sözleşme tarafından Blokzincir üzerinde tetiklenen olaylar

### 5. Sonuç

Bu araştırma, nesnelerin interneti alanında Blokzincir teknolojisinin çeşitli uygulamalarını incelemiş ve bu iki teknolojinin birlikte kullanılmasının IoT ekosistemine sağlayabileceği faydaları vurgulamıştır. Öncelikle, Blokzincirin temel kavramlarının IoT çözümlerinde nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Blokzincirin, IoT sistemlerinin veri bütünlüğünü, güvenliği ve ölçeklenebilirliğini artırma potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Blokzincirin dağıtık yapısı, IoT cihazları arasındaki veri alışverişini güvenilir kılarak, kötü niyetli müdahaleleri engellemeye yardımcı olabilecektir. Bunun yanında Blokzincir IoT için güvenli, şeffaf ve verimli bir veri yönetimi çözümü olarak önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir.

Araştırmada, öncelikle gerçek dünya uygulamalarına yer verilmiş, Blokzincir teknolojisinin IoT sistemlerini nasıl geliştirebileceğini gösteren örnekler sunulmuştur. Bu örnekler arasında tedarik zinciri yönetimi, sigortacılık, enerji dağıtım sektörü ve haberleşme gibi alanlar bulunmaktadır. Bu uygulama örnekleri, Blokzincirin IoT ekosistemine katkılarını ve getirdiği avantajları göstermektedir. Araştırmanın sonraki kısmında Blokzincirin IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem tasarımı, donanım ve yazılım bileşenleri ile Blokzincir tabanlı bir IoT çözümünün uçtan uca gerçekleşmesini içermektedir.

Sonuç olarak, bu araştırma hem gerçek dünya örneklerinden yararlanarak hem de uçtan uca bir sistem tasarımı sunarak Blokzincirin IoT alanında potansiyelini vurgulamakta ve bu iki teknolojinin kesişiminde yer alan fırsatları incelemektedir.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça**

Abbas QE., Sung-Bong J. A survey of blockchain and its applications. International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication. 11-13 Şubat 2019, Sayfa no: 1-3, Japonya.

Ahmad S., Saxena C. Internet of things and blockchain technologies in the insurance sector. International Conference on Computing, Analytics and Networks, 18-19 Kasım 2022, Sayfa no: 1-6, Hindistan.

AlHammadi A., AlZaabi A., AlMazrooqi B. Survey of IoT-based smart home approaches. IEEE Advances in Science and Engineering Technology International Conferences. 26 Mart-10 Nisan 2019, Sayfa no: 1-6, Birleşik Arap Emirlikleri.

Ambrosus. URL: <https://ambrosus.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Bai P., Kumar S., Kumar K. Use of blockchain enabled IoT in insurance: A case study of calamity based crop insurance. Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT), 11-12 Ağustos 2022, Sayfa no: 1135-1141, Hindistan.

Bajaj R., Rao M., Agrawal H. Internet of things (IoT) in the smart automotive sector: A review. IOSR Journal of Computer Engineering 2018; 36-44.

Balamurugan SA., Ayyasamy A., Joseph KS. IoT-blockchain driven traceability techniques for improved safety measures in food supply chain. International Journal of Information Technology 2021; 14: 1087-1098.

BlockMesh. URL: <https://www.blockmesh.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Brooklyn Energy. URL: <https://www.brooklyn.energy>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Chauhan RR., Chirputkar AV., Pathak P. Blockchain and IoT in developing fintech ecosystem - an assistance to insurance industry. 2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA), 23-25 Mart 2022, Sayfa no: 431-437, Tayland.

Crosby M., Nachiappan N., Pattanayak P., Verma S. Kalyanaraman V. BlockChain technology: Beyond bitcoin. Applied Innovation Review 2016; 2: 6-10.

Deloitte. Deloitte's global blockchain survey. URL: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6608\\_2020-global-blockchain-survey/di-cir-2020-global-blockchain-survey.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6608_2020-global-blockchain-survey/di-cir-2020-global-blockchain-survey.pdf), Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Ethereum. URL: <http://ethereum.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

- Gaikwad K., Kulkarni K., Kohle S., Patil P. Implementation of blockchain technology in IOT based smart home. 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST), 21-23 Ekim 2022, Sayfa no: 6-10, Hindistan.
- Ganache. URL: <http://trufflesuite.com/ganache>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Gao W., Hatcher WG., Yu W. A survey of blockchain: Techniques applications and challenges. International Conference on Computer Communication and Networks. 30 Temmuz-2 Ağustos 2018, Sayfa no: 1-5, Çin.
- Helium. URL: <https://www.helium.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Hvolby H., Steger-Jensen K., Bech A., Vestergaard S., Svensson C., Neaogoe M. Information exchange and block chains in short sea maritime supply chains. *Procedia Computer Science* 2021; 181: 722-729.
- Iindombo S., Chitauro M. An analysis of the implementation of blockchain technology in smart grid edge IoT devices. International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC), 16-18 Ağustos 2023, Sayfa no: 1-5, Namibia.
- IoE. URL: [https://www.cisco.com/web/AP/IoEWebinarSeries/docs/the\\_internet\\_of\\_everythings\\_relevance\\_to\\_cloud\\_and\\_mobility\\_applications.pdf](https://www.cisco.com/web/AP/IoEWebinarSeries/docs/the_internet_of_everythings_relevance_to_cloud_and_mobility_applications.pdf), Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoT Analytics. URL: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoT Statistics. URL: <https://safeatlast.co/blog/iot-statistics>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoTeX, 2018. NKN collaborates with IOTEX, URL: [https://www.prweb.com/releases/nkn\\_collaborates\\_with\\_iotex\\_to\\_enable\\_the\\_smart\\_home\\_for\\_the\\_sharing\\_economy/prweb15804856.htm](https://www.prweb.com/releases/nkn_collaborates_with_iotex_to_enable_the_smart_home_for_the_sharing_economy/prweb15804856.htm), Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Jones M. Walmart goes after patent for smart appliance management on the blockchain, URL: <https://blockchaintechnology-news.com/2018/08/walmart-goes-after-patent-for-smart-appliance-management-on-the-blockchain>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Kaur A., Bhamra GS., Kukreja V., Sharma S., Singh S., Yoon B. Adaptation of IoT with blockchain in food supply chain management: An analysis-based review in development, benefits and potential applications. *Sensors* 2022; 22.
- Kaushik A., Choudhary A., Ektare C., Thomas D., Akram S. Blockchain - literature survey. IEEE International Conference On Recent Trends in Electronics Information & Communication Technology. 19-20 Mayıs 2017, Sayfa no: 2145-2148, Hindistan.
- Kim H.M., Laskowski M. Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. *Intelligent Systems in Accounting Finance Management* 2018; 25: 18–27.
- Kshetri N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management* 2018; 39: 80–89.

Li Z., Kang J., Yu R., Ye D., Deng Q., Zhang Y. Consortium blockchain for secure energy trading in industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 2018; 14(8): 3690–3700.

Medilegger. URL: <https://mediledger.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Metamask. URL: <https://metamask.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

MOBI. URL: <https://dlt.mobi>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Moon H., Song JG., Shin H., Jang JW. Home IoT device management blockchain platform using smart contracts and a countermeasure against 51% attacks. 4th Asia Pacific Information Technology Conference, 14-16 Ocak 2022, Tayland.

Murthy MS., Kumar RP., Saikiran B., Nagaraj I., Annavarapu T. Real time weather monitoring system using IoT. *E3S Web of Conferences* 2023; 391.

Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

NetObjex. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/netobjex-demonstrates-decentralized-smart-parking-solution-with-cryptocurrency-payment-300568290.html>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Nuredini D., Mechkaroska D., Domazet E. A secure and effective solution for electronic health records with hyperledger fabric blockchain. 8th International Congress on Information and Communication Technology (ICICT), 20-23 Şubat 2023, Londra, İngiltere.

OriginTrail. URL: <https://www.origintrail.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Peters GW., Panavi E. Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. *Banking Beyond Banks and Money* 2016; 239-279.

Polygon Blockchain. URL: <http://polygon.technology>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

PowerLedger. URL: <https://www.powerledger.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Rao P., Pingalkar AS., Chayal GS., Kamble SB. IoT based weather monitoring system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* 2023; 3.

Rathee G., Ahmad F., Jaglan N., Konstantinou C. A secure and trusted mechanism for industrial IoT network using blockchain. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 2022; 19: 1894-1902.

React. URL: <http://react.dev>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Remix IDE. URL: <http://remix.ethereum.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Ropsten Blockchain. URL: <http://ropsten.etherscan.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Rosby M., Nachiappan, Pattanayak P., Verma S., Kalyanaraman V. Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation Review* 2016.

Shakarami M., Benson JO., Sandhu RS. Blockchain-based administration of access in smart home IoT. *ACM Workshop on Secure and Trustworthy Cyber-Physical Systems*, 26 Nisan 2022, Baltimore, DC, ABD.

- Sharples M., Domingue J. The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward. European Conference on Technology Adaptive Learning. 13-16 Eylül 2016, Sayfa no: 490-496, Fransa.
- Solidity. URL: <http://soliditylang.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Srinivasu PN., Bhoi AK., Nayak SR., Bhutta MR., Wozniak M. Blockchain technology for secured healthcare data communication among the non-terminal nodes in IoT architecture in 5G network. *Electronics* 2021; 10: 1437.
- Swan M. *Blockchain: Blueprint for a new economy*: 1th ed. CA, ABD: O'Reilly Media; 2015.
- Tasatanattakool P., Techapanupreeda C. *Blockchain: Challenges and applications*. International Conference on Information Networking. 10-12 Ocak 2018, Sayfa no: 473-475, Tayland.
- Telstra. URL: <https://www.telstra.com.au>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Truffle Suite. URL: <http://trufflesuite.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Tse D., Zhang B., Yang Y., Cheng C., Mu H. Blockchain application in food supply information security. *IEEE International Conference Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Aralık 2017, Sayfa no: 1357–1361, Singapur.
- Ullah MH., Park J. Distributed energy trading in smart grid over directed communication network. *IEEE Transactions on Smart Grid* 2021; 12: 3669-3672.
- Xiao Z., Li Z., Yang Y., Chen P., Liu RW., Jing W., Pyrlloh Y., Sotthiwat E., Goh, R. Blockchain and IoT for insurance: A case study and cyberinfrastructure solution on fine-grained transportation insurance. *IEEE Transactions on Computational Social Systems* 2020; 7: 1409-1422.
- WaltonChain. URL: <https://www.waltonchain.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Web3. URL: <http://ethereum.org/en/developers/docs/apis/javascript>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Zuo J., Feng J., Gameiro MG., Tian Y., Liang J., Wang Y., Ding J., He Q. RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods* 2022; 6: 100198 - 100198.
- Zyskind G., Nathan O., Pentland A. Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data. *IEEE Security and Privacy Workshops*, 21-22 Mayıs 2015, Sayfa no: 180-184, San Jose, CA, ABD.