T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BLOKZİNCİR İLE ENERJİ TİCARETİ VE AKILLI SÖZLEŞMELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyda YONCACI

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

HAZİRAN 2022

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BLOKZİNCİR İLE ENERJİ TİCARETİ VEAKILLI SÖZLEŞMELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyda YONCACI
36193628013

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

HAZİRAN 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ'e,

Erasmus değişim programı süresince danışmanlığımı yapan Assoc.Prof. Corrado Aaron VISAGGIO'ya,

Çalışmalarımda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım sürecinde benden her türlü desteklerini aileme,

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "Blokzincir ile Enerji Ticareti ve Akıllı Sözleşmeler" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Şeyda Yoncacı

İÇİNDEKİLER

ÇİZELGELER DİZİNİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

IEA : International Energy Agency

P2P : Peer to peer

MWh : Megawatt-saat

RES : Renewable Energy Sources

DSM : Demand Side Management

LEM : Local Energy Market

SDN : Software Defined Networking

HEM : Home Energy Management

ICT : Information and Communications Technology

VPP : Virtual Power Plant

RETS : Residential Energy Trading Systems

ITS : Intelligent Transportation System

6G : Altıncı nesil kablosuz iletişim sistemini

pBFT : Practical Byzantine Fault Tolerance

PoS : Proof of Stake

DC : Direct Current

DOE : Department of Energy

DFR : Digital Frequency Recorders

PMU : Phasor Measurement Units

DSR : Dynamic Oscillation Record

OSOS : Otomatik Sayaç Okuma Sistemi

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition

IoT : Internet of Things

M2M : Machine to Machine

RFID : Radio Frequency Identification

CAES : Compressed Air Energy Storage

UID : User Identifier

DDoS : Distributed Denial of Service

DoS : Denial of Service

DLT : Distributed Ledger Technology

PKC **:** Public Key Cryptography

HTTP **:** Hyper Text Transfer Protocol

HTTPS **:** Hyper Text Transfer Protocol Secure

TCP/IP **:** Transmission Control Protocol/Internet Protokol

SMTP **:** Simple Mail Transfer Protocol

EVM **:** Ethereum Virtual Machine

IDE **:** Integrated Development Environment

SQL **:** Structured Query Language

C2C **:** Consumer to Consumer

kWh **:** KiloWattsaat

eth **:** Ethereum kripto para birim

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BLOKZİNCİR İLE ENERJİ TİCARETİ VE
AKILLI SÖZLEŞMELER

ŞEYDA YONCACI

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

100 + XI Sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Küreselleşen dünyanın enerjiye evrensel erişimini zorunlu kılması, artan enerji ihtiyacının karşılanma zorluğu ve enerji dağıtımının mevcut düzene yetememesi gibi unsurlar yeni bir dağıtım teknolojisine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Enerji sektöründe enerjiye bu denli ihtiyacın olduğu dördüncü sanayi devrimini yaşadığımız bu dönemde enerjiyi akıllı kullanmak enerji üretiminin de önüne geçmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte enerji dağıtım sistemlerinde pek çok yenilik yapılmıştır. Özellikle akıllı şebekelerle kurulmuş sistemler enerji kullanımını daha verimli hale getirmiştir. Ancak uzun iletim hatlarından kaynaklanan kayıp ve aracılara ödenen ekstra maliyet tüm kullanıcılara eşit olarak dağıtılmaktadır. Bu soruna çözüm olarak; birçok alanda uygulanabilirliği hala tartışılmakta olan blokzincir teknolojisinin enerji ticaretinde uygulayarak enerjinin evrensel dağıtımının yapılacağı bir dünya önerilmektedir. Blokzincir teknolojisinin uyum sağladığı dağıtık defter sistemini anlamak, uygulayabilmek, zorlukların ve fırsatların sistematik bir şekilde inceleyebilmek enerji piyasalarına yön verebilmek açısından çok önemlidir. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji ve dijitalleşmenin artan kullanımı ile blokzincir tabanlı enerji ticareti için arz ve talebin birleştirilmesi, dağıtımının izlenebilmesi, akıllı sözleşmeler, P2P enerji ticareti gibi sürdürülebilir kalkınma planlarının olmazsa olmazı olan enerji dağıtımı değerlendirilmiştir. Ayrıca kullanıcıların kaydedildiği ve enerji ticaretinin yapıldığı bir web sayfası tasarlanmıştır. Akıllı sayaçlarla belirlenen üretilen ve tüketilen ortalama enerji miktarları enerji alıcısı tarafından görülebileceği ve tüm satıcılar, alıcıya olan uzaklığa göre listelenerek daha yakın satıcıdan daha ucuz enerji satın alabileceği bir sistem tasarlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla oluşan bir ekosistemde adrese dayalı bir ödeme sistemi önerilmiştir. Remix editöründe Solidty diliyle oluşturulmuş bir akıllı sözleşme yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir, Dağıtılmış defter, Akıllı Şebekeler, Akıllı sözleşmeler, Üreten tüketici

ABSTRACT

Master Thesis

ENERGY TRADING WITH BLOCKCHAIN AND SMART CONTRACTS

ŞEYDA YONCACI

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Energy Science and Technologies

100 + XI Pages

2022

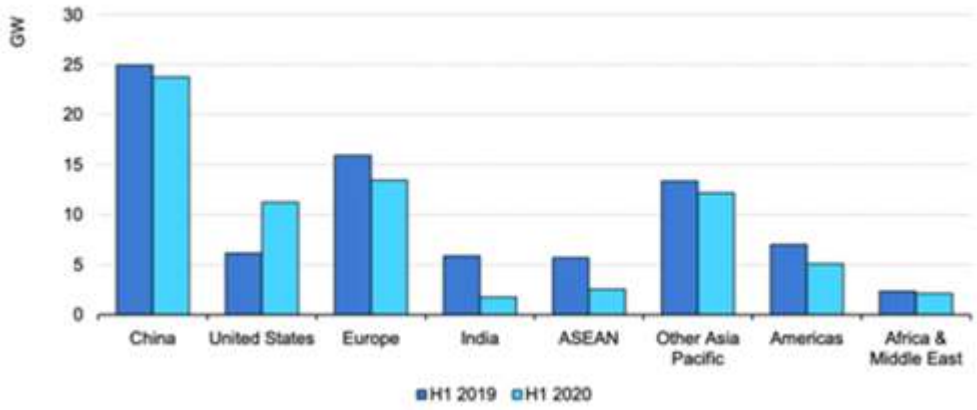
Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Factors such as the globalizing world's necessity for universal access to energy, the difficulty of meeting the increasing energy need, and the inadequate energy distribution to the current order show the need for a new distribution technology. In this period when we are experiencing the fourth industrial revolution, where energy is so needed in the energy sector, it is more important to use energy efficiently than energy production. With the developing technology, many innovations have been made in energy distribution systems. Especially systems established with smart grids have made energy use more efficient. However, the loss due to long transmission lines and the extra cost paid to distributors are distributed equally to all users. As a solution to this problem, by applying blockchain technology, whose applicability is still being discussed in many areas, in energy trade, a world in which energy will be global distribution is proposed. It is very important to understand and apply the distributed ledger system that blockchain technology adapts to and to be able to systematically examine the challenges and opportunities in terms of directing the energy markets. In this thesis, energy distribution, which is indispensable for sustainable development plans such as combining the supply and demand for blockchain-based energy trade, monitoring its distribution, smart contracts, P2P energy trade, with the increasing use of renewable energy and digitalization has been evaluated. In addition, a web page has been designed where users are registered and energy trade is made. The average amount of energy produced and consumed, determined by smart meters, can be seen by the energy buyer. A system is designed in which all sellers can be listed according to the distance from the buyer and can buy cheaper energy from the closer seller. An address-based payment system has been proposed in an ecosystem consisting of renewable energy resources. A smart contract created with Solidity language is written in the remix editor.

Keywords: Blockchain, Distributed ledger, Smart grids, P2P (peer to peer), Smart contracts, Prosumers

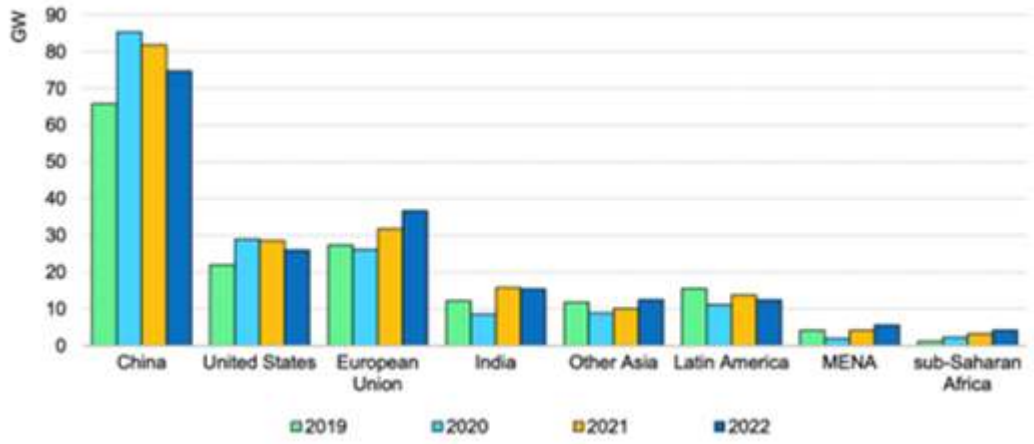
1. GİRİŞ

Dördüncü sanayi devrimini yaşadığımız bu günlerde yenilenebilir enerji kaynakları enerji piyasasındaki yerini sağlamlaştırsa da gelişen yeni teknolojilerle birlikte enerjiye bağımlılığımız da hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise sayı ve kapasite olarak her geçen gün büyümektedir. Ocak 2021 ile küresel yenilenebilir enerji kapasitesi %4 artış göstermiş ve 2020 ile 200GW kapasite artışı yaşanmıştır. Küresel ilave enerji kapasite artışında ise %90'dan fazlasını yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmuştur [1].



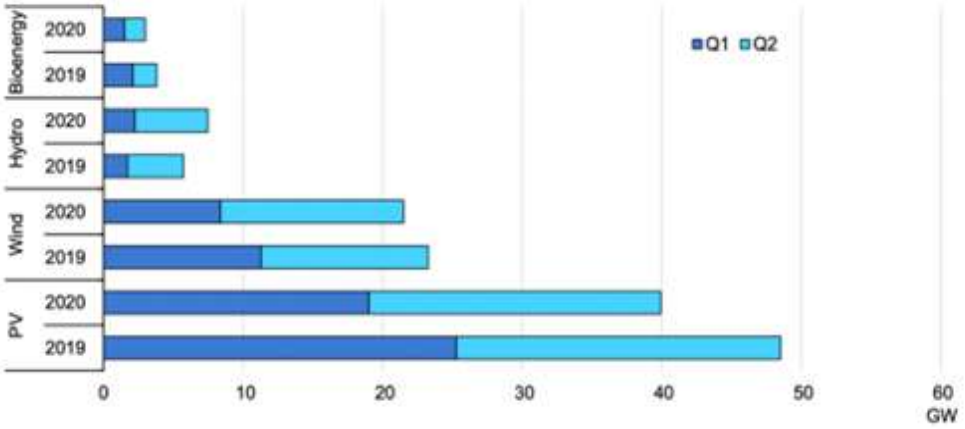
Şekil 1.1 : Yenilenebilir elektrik kapasite artışı.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışının yanında kapasite enerji sektöründeki kapasite oranları da hızla artmaktadır. 2020 Ulusal enerji ajansına (IEA) göre 2022'de yenilenebilir enerji kapasitenin 271 GW artması ve bu artışla 2025 yılında yenilenebilir enerji talebinin 1/3'ünün karşılanması beklenmektedir. Hidroelektrik enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının yarısını karşılaması beklenmektedir (Renewables 2020, 2020).



Şekil 1.2 : Ülke ve bölge bazlı yenilenebilir enerji elektrik kapasite artışı.

Yenilenebilir enerji kaynakları ve kapasite artışı ile bireysel enerji üretimi ve kendi kendine yetebilen makro ve mikro çevrelere dönüşmektedir. Birçok önde gelen petrol ve gaz şirketlerinin, yenilenebilir enerji yatırımlarının önceki yıllara oranla 10 kat artırması beklenmektedir.



Şekil 1.3 : Yenilenebilir elektrik kapasite artışı (teknoloji bazlı).

Günümüzde enerji kaynaklarının kısıtlı olmasının yanında hızla gelişen sanayilerin enerji ihtiyaçları yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısı ve verimi artmış olsa da geleneksel enerji dağıtım yöntemlerini sorgulanmaktadır. Hızlı gelişen teknolojiyle birlikte bireysel enerji üretim- tüketimini sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru kullanılması büyük önem taşımaktadır. Elektrik dağıtımı dünyanın hemen hemen her yerinde geleneksel dağıtım

yöntemlerini kullanmaktadır. Geleneksel şebeke yapısında enerji merkeze gönderilir ve tüketicilere oradan dağıtım yapılır. Özellikle uzak mesafeler düşünüldüğünde enerji kayıplarına yol açan bu sistem yerine yeni bir teknolojinin ortaya çıkışı ile birçok ülke merkezi olmayan bir dağıtım modeli üzerinde çalışmalar başlatmıştır. 2009 da yayınlanan Satoshi Nakamoto makalesinde bir ödeme yöntemi olarak sunulan bu sistem, kendisini şöyle tanımlıyor: "Tamamen eşten-eşe çalışan bir elektronik para sistemi herhangi bir finansal kurumdan geçmeden bir taraftan diğerine çevrimiçi ödeme gönderilmesini mümkün kılar" (Nakamoto, 2008). Bu ödeme yöntemi birçok alanda üçüncü kişileri ortadan kaldıran eşler arası her türlü alım satım-satım işlemlerinin yapılabileceği blokzincir teknolojisine dönüştürülmüştür. Enerji iletim ve dağıtımında blokzincir teknolojisinin kullanımıyla birlikte özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla tüketiciler "üreten-tüketici" (prosumers) konumuna gelebilecektir. Bu teknolojiyle merkezileşmemiş sistemlerin varlığıyla operasyon maliyetleri mesafeden kaynaklı enerji kayıpları, personel maliyetleri ve özellikle üçüncü kişileri ortadan kaldırmasıyla verimlilik ve tasarruf vadetmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Yeni bir teknoloji olarak hayatımıza giren blokzincir artık birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Özellikle enerjiye bağımlılık gittikçe artarken enerjiyi hem yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edebilen hem de daha verimli enerji tüketimini öneren birçok yöntem uygulanmaktadır. Devletlerin verimlik açısından sürdürülebilir kalkınma projelerine daha da önem vermesiyle birçok uygulama hayata geçirilmeye devam etmektedir. Günümüz teknolojisiyle uyum sağlayan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden çalışmaların en önemlisi akıllı şebeke kavramıyla hayatımızda yer bulmuştur.

Akıllı şebekenin mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (rüzgâr veya güneş veya biyokütle veya dalga enerjisi) entegre etmek ve güç sistemi akışındaki ani değişikliklerle başa çıkabilmek için Talaat ve diğ. [2] tarafından depolama kapasitesini ve güvenilirliğini artıran bulut tabanlı bir sistem modellenmiştir.

Mikro şebeke tasarımına ilişkin karar vermede Tsao ve diğ. [3] tarafından önerilen modelin uygulanabilirliğini, eşler arası ticaretin mikro şebekenin toplam kârı üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır.

Mikro şebeke kapsamında binaların enerji maliyetlerinin azaltıldığını ve ana şebekeyi daha etkin hale getirdiğini göstermek için Cui ve diğ. [4] tarafından bir simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Eşler arası ticareti (P2P) ve geleneksel enerji sistemlerindeki ağ kayıplarını kıyaslayan ve yenilenebilir enerji ile entegre edilebilen simülasyonlar üzerine çalışmalar yapılmıştır [5]. Yine eşler arası ticaret (P2P) sistemini öneren, üretilen enerjinin serbestçe ticaretini yapılabildiği bir başka makale Pee ve diğ. [6] tarafından yapılmıştır. Chen ve diğ. [7] yapmış olduğu makalede P2P enerji planı için yerel enerji tüketimini artırmaya ve her bir üreticinin P2P enerji paylaşımından kaynaklanan güç kayıplarını azaltmaya yönelik bir P2P enerji paylaşım modeli oluşturulmuştur.Eşler arası ticaretin temel özelliklerine, şebekeye, üretici ve tüketicilere uygunluğuna genel bir bakış sunan bir diğer makalede [8] mevcut araştırmaların, sanal ve fiziksel katmanlarda ele alınan zorluklar sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

Mikro şebekede P2P enerji ticaretinin, potansiyel olarak katılımcı haneler arasında haksız bir maliyet dağılımına neden olduğunu savunan Alam ve diğ. [9] tarafından bu haksız maliyet dağılımı sorununu için Talep Tarafı Yönetimi (DSM, Demand Side Management) sistemi ile akıllı evler arasında P2P enerji ticaretini koordine eden Ticaret Yoluyla Enerji Maliyeti Optimizasyonu (ECO-Trade)) adlı bir algoritma tasarlanmıştır.

Gai ve diğ. [10] tarafından yazılan temel olarak enerji ticareti kullanıcılarının akıllı şebekedeki gizliliğini ele alan makalede fiziksel konum ve enerji kullanımı gibi parametrelerinin değerlendirildiği deney sonucunda sistemin etkinliği gösterilmiştir.

Özellikle akıllı şebekelerle daha da yaygınlaşan eşten eşe ticaret (P2P), blokzincirin en önemli unsurunu oluşturmaktadır. Bu uygulamanın en iyi örneklerinden biri Avustralya, Perth merkezli şirkette, Power Ledger, teknolojiyi yerel olarak uygulanmaktadır. Power Ledger, blokzincir tabanlı bir p2p enerji değişim için sunulmuş bir yaygın bir platform olarak kullanılmaktadır. Uzun ömürlü, düşük maliyetli, sıfır karbonlu bir güç sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Yeni teknolojiler ortaya çıktıkça, müşterilerin kendilerini artan hizmet fiyatlarından kurtarmanın ve tasarruf etmenin yeni yollarına erişebilecekleri bir platforma dönüşen blokzincir, güneş enerjisini kullananlara, enerjiyi depolayanlara ve eşler arası enerji ticaretini benimseyenlere yeni bir dijital fırsat sunmuştur. American PowerNet şirketinin sonuçlarına göre, şirketin eşler arası (P2P) platformunun toplam 43 MWh enerji ticaretinin

yapıldığı başarılı bir denemenin ardından, enerji ticareti teknolojisi birçok sektörde kullanıma sunulmuştur.

Hassan ve diğ.[11] tarafından yapılan blokzincir tabanlı enerji alım satımını geliştiren teknik çalışmaların analizini yapan Zhu [12], enerji üreticileri/tüketicilerin sistem verimliliğini ve güvenliğini artırmak için eşler arası ticaret yapan mikro şebekenin dağıtık ticaret kuralları, algoritmaları ve süreçleri ile bir ödeme sistemi oluşturmuştur.

Blokzincir teknolojisi çözümlerinin gömülü kombinasyonuna sahip blokzincir platformlarının çoğu, bilgi işlem ve kaynak açısından yoğundur ve bu nedenle akıllı enerji uygulamaları için tamamen uygun olmadığını savunan makaleler de mevcuttur. Akıllı enerji sistemleri için esnek blokzincir platformlarının geliştirilmesi önerilmiştir [13]. Enerji sektöründe blokzincir teknolojilerinin farklı kullanım olanaklarının incelenmesi ve geçiş çalışmaları, blokzincir enerjisinin engelleri ve potansiyelleri üzerine Teufel ve diğ. [14] tarafından yazılmış blokzincir enerjisinin fırsatları ve riskleri tartışılmıştır.

Blokzincir akıllı enerji şebekesine entegrasyonu bazı zorluklar doğurmakta ve blokzincir teknolojisinin enerji sektöründe yaygın olarak kullanılmasını kısıtlamaktadır. Kapassa [15] tarafından, akıllı enerji şebekelerinde blokzincirin geniş çapta benimsenmesini etkileyen parametreleri araştırmak için bir piyasa analizi yapılmıştır. Makalenin ilk kısmı, blokzincir ve akıllı şebeke temellerini tanıtılmış ve blokzincirin farklı enerji kullanım durumları üzerindeki potansiyel etkisini sunularak blokzincir teknolojisinin enerji şebekesi içindeki pazar analizi yapılmıştır. Musleh'in [16] makalesinde geliştirdiği bir senaryoda ise blokzincirin akıllı şebekelerdeki uygulamaları, geleceğin ve mevcut akıllı şebekelerin karşılaşacağı bazı zorluklara yenilikçi ve uygun fiyatlı çözümler sunulmuştur. Bir başka makalede ise Blokzincir teknolojisinin ticari uygulanabilirliğini kanıtlayan ve teknolojinin aşması gereken zorlukları ve pazar engellerini gösteren gerçek zamanlı sonuçlar Andoni [17] tarafından değerlendirilmiştir.

Li ve diğ. [18] tarafından yazılan makalede şimdiye kadar yapılan blokzincir ile enerji ticareti alanlarında blokzincir tabanlı enerji ticareti ile ilgili geniş bir litaratür sunularak ilk olarak, arka plan ve geliştirme süreci sunulup ve ardından blokzincirin enerji ticaretindeki uygulamaları incelenmiştir.

Thukral [19] hazırlamış olduğu makalede, yakın zamanda yayınlanan araştırma çalışmalarının kapsamlı incelemelerini kullanarak mevcut enerji sektörünün blokzincir teknolojisine uygulanmasıyla P2P enerji ticareti yönünde nasıl yeniden şekillendiği araştırılmıştır. Yapılan çalışmada enerji sektöründe blokzincir teknolojisinin uygulanması hakkında fikir vermek için, elektrikli araç şarjında P2P ticaretinde blokzincir teknolojisinin uygulanmasına ilişkin bir örnek sunulmuş ve enerji sektöründe blokzincir teknolojisinin olası araştırma alanları tartışılmıştır.

Blokzincirin uygulanabilirliğini artıran akıllı şebeke yapısı gün geçtikçe IoT ile hayatımıza daha da entegre olmaktadır. Alzubaid ve diğ. [20] tarafından yazılan makalede akıllı bir şebekede yenilenebilir enerji kaynakları devlet izleme sistemine dayalı bulanık mantık tabanlı bir kontrolör önerilmiştir. Akıllı şebeke, Akıllı Ulaşım Sistemi (ITS, Intelligent Transportation System) ve 6G iletişim ağlarının altında yatan sağlık hizmeti gibi farklı uygulama perspektiflerini kapsayan IoT ile bütünleşmiş akıllı şehirler için blokzincir tabanlı merkezi olmayan bir mimari önerilen gelecekteki blokzincir uygulamalarının tartışıldığı bir başka çalışma da [21] mevcuttur. Bir başka simülasyon çalışmasında ise izleme yöntemlerinin yanı sıra blokzincir ile dağıtılmış üretimin yaygın bir şekilde kullanılabilmesini için bilgi iletişim teknolojisi (ICT) ile uygulanabilirliği sorgulanmıştır [22].

Abdella ve Shuaib [23] tarafından Enerji İnterneti, Blokzincir ve Yazılım Tanımlı Ağ Oluşturma (SDN) gibi en son teknolojiyi etkinleştiren teknolojileri tartışan ve gelecekteki sorunlarını ele alan bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Akıllı şebeke (SG) sistemi, son kullanıcılara yük yönetimi, yük tahmini ve enerji ticareti (ET) gibi birçok hizmeti sunmaktadır. SG ortamındaki farklı cihazlar arasındaki veriler açık bir kanal, yani internet üzerinden aktarıldığından, güvenlik ve gizlilik her zaman zorlu bir konu olmaya devam etmektedir. Eşler arası (P2P) ET için SG sistemi için Aparna Kumari ve diğ. [24] tarafından yazılan makalede akıllı sözleşmeye dayalı Güvenli Enerji Ticareti planı olan bir ET-DeaL şeması önerilmektedir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından (RESs) elde edilen enerjinin tüketicilerin ve üreten tüketicilerin üçüncü bir tarafa ihtiyaç duymadan enerji ticareti yaptığı blokzincir tabanlı bir LEM (Local Energy Market) araştırılması yapılan bir çalışmada [25] önerilen modelde hem üreten tüketicilerin hem de tüketicilerin enerji tüketimlerini optimize etmelerine ve

elektrik maliyetlerini en aza indirmelerine olanak tanıyan bir Evde Enerji Yönetimi (HEM) sistemi tanıtılmıştır.

Konut enerji ticareti sistemleri (RETS), dağıtılmış enerji kaynaklarına (DERs) sahip ev sahiplerinin, konut topluluklarının en yüksek talebini azaltma potansiyeline sahip sanallaştırılmış enerji pazarlarına katılmalarını sağlar. Önerilen sistem [26], gerçek verilerin kullanıldığı 8 evden oluşan bir topluluk üzerinden simülasyonlar gerçekleştirerek sistemi akıllı sözleşme ile yürütülen bir Kanada mikro şebekesi oluşturularak dağıtılmıştır. Simülasyon sonuçları, 48 kW'a (%62) kadar bir tepe talep azalması sağlayarak önerilen sistemin etkinliğini göstermiştir.

Bir başka çalışmada akıllı sözleşme tabanlı enerji ticareti modeli önerilmiştir [27]. Bu makalede daha yüksek bir güvenlik elde etmek için, yürütülen tüm sözleşmeler doğrulanarak pratik Bizans Hata Toleransı (pBFT) ve Hisse Kanıtı (PoS) kullanarak yeni geliştirilmiş iki aşamalı bir konsensüs yöntemine dayalı bir blokzincirde kaydedilmiştir. Önerilen enerji ticareti modelini doğrulamak için Python ortamında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Deneysel sonuçlara dayanarak çeşitli makine öğrenimi modellerini inceleyen ve blokzincir platformunun etkinliğini, gecikme, verim ve kaynak kullanımı açısından değerlendirilen Jamil ve diğ. [28] tarafından geliştirilen tahmine dayalı bir model tasarlanmıştır.

Dağıtım sistemi simülatörü blokzincir tabanlı oluşturulan çift müzayede ticaret mekanizması ile eşler arası enerji ticaret platformu kurularak yazılan makalede [29], tipik Avrupa banliyö dağıtım ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Küresel enerji maliyetlerini en aza indirmek için tüketenlerin optimal enerji paylaşım profilleri üreten ve üreten tüketicilerin bireysel çıkarları göz önünde bulundurularak dengeye dayalı enerji paylaşım fiyatlarının oluşturulduğu bir başka gerçek zamanlı çalışma yapılmıştır [30].

van Leeuwen ve diğ. [31] tarafından Amsterdam'daki bir tüketici topluluğundan alınan gerçek verilerin kullanıldığı çeşitli senaryolar, fiziksel kısıtlamaları ve ticaretin sosyal refah düzeyi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, tüm toplumun ithalat maliyetlerinin temel senaryoya göre %34,9 oranında azaldığını ve toplam enerji ithalat miktarlarının %15 oranında azaldığı göstermiştir.

Hibrit bir P2P enerji ticareti pazarını uygulamak için blokzincir tabanlı bir sistem için üçüncü taraf olmadan birbirleriyle etkileşime girmesine ve enerji ticareti yapmasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle akıllı sözleşmeler, blokzincir tabanlı enerji ticareti pazarında çok önemli bir rol oynamaktadır. Khalid ve diğ. [32] hibrit elektrik ticareti pazarını uygulamak için üç akıllı sözleşme önerilmektedir. Bu makalede, maliyeti düşürürken verimli bir hibrit enerji ticareti sağlayan bir model önerilmiştir. Li ve diğ. [33], mikro şebekeler arasındaki enerji ve finansal akışları güvenilir bir şekilde yöneten ve tüm sistemi kendi kendine işlemesini sağlayacak akıllı sözleşmelerle entegre edilerek oluşturulan blokzincirin enerji verimliliği sağladığı gösterilmiştir. Üreticiler ile tüketiciler arasında doğrudan enerji ticaretini teşvik eden P2P enerji ticaretinin önerildiği çok boyutlu blokzincir platformu Han ve diğ. [34] tarafından tasarlanmış ve akıllı sözleşmelerle üçüncü kişiler olmadan daha verimli olacağı gösterilmiştir.

Seven ve diğ. [35] tarafından oluşturulan makalede Sanal Enerji Santrali (VPP) için eşler arası (P2P) enerji ticareti planını, ethereum blokzincir platformunda akıllı sözleşmeler kullanılarak gerçekleştirmiştir. Ethereum blokzincirde akıllı bir sözleşme kullanarak yazılan başka bir makalede [36] üreten tüketiciler ve tüketiciler arasında eşler arası (P2P) bir enerji ticaret sistemi uygulanmıştır.

Gerçek veriler kullanarak Esmat ve diğ. [37] tarafından iki temel katmandan oluşturulan yüksek düzeyde otomasyon, güvenlik ve hız vadeden enerji ticareti akıllı sözleşme ile blokzincir tabanlı bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Güvenilir ticaret için Ethereum akıllı sözleşme kapsamında P2P enerji ticaretinin hem donanım hem de yazılım platformunu içeren Kwak ve diğ. [38] tarafından oluşturulmuş sistemin ayrıntıları bir web arayüzü ile tasarlanıp uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Niloy ve diğ. [39] tarafından yapılan makalede, üretilen enerjiyi akıllı bir sözleşme ile paylaşarak kar elde etmek amaçlı kurulan sitemde, tüm geçişler yalnızca önceden belirlenmiş koşullarla yerine getirildiğinde gerçekleşmektedir. Akıllı sözleşme, Solidty dilinde oluşturulmuş ve Binance blokzincir platformunda uygulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Günlük hayatımızın hemen hemen her alanında kullandığımız elektrik, keşfedildiği günden günümüze dek büyük bir değişim geçirmiştir. Değişmeyen tek şey, her geçen gün gelişen teknoloji ile elektriğe olan bağımlılığımızın artmakta olduğu gerçeğidir. Elektriğe ve dolayısı ile enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Bugün modern dünyanın bir kanıtı olarak gösterdiğimiz sanayi şehirleri, ürettikleri ve tükettikleri enerji göz önünde bulundurularak değerlendirilmektedir. Gelişen teknoloji ile her gün bir yenisini eklediğimiz elektronik eşyalar enerjiye olan bağımlılığımızı artırmaktadır. Enerjinin kullanıldığı ilk günden bugüne elbette birçok enerji kaynağı çeşidi hayatımıza girmiş ve özellikle yenilenebilir enerji kaynakları en önemli yeri oluşturmuştur. Enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve enerjiye olan talebin sürekli artışı yenilenebilir enerji kaynaklarını hayatımıza entegre etmeyi zorunlu kılmıştır.

Gelişen dağıtım sistemleriyle elektriği dağıtmak, izlemek ve kontrol etmek mümkün olsa da özellikle geleneksel dağıtım sistemlerindeki iletim hatlarının uzunluğu yüzünden elektrik kayıpları yadsınamaz büyüklüktedir. Enerjiye olan uzaklık arttıkça iletim hatlarında oluşan kayıplar artmakta ve bu kayıp tüm kullanıcılara fazladan maliyet olarak yansımaktadır. Ancak gelişmiş şehirlerin uygulayabildiği akıllı şebekeler ile bu kayıp büyük bir ölçüde azaltılmıştır. Elektriği üretmek çok önemli olsa da enerjiye olan ihtiyacımızın artışı yüzünden sürdürülebilir bir enerji için enerjiyi verimli kullanmamız gerekmektedir.

Enerji dağıtımının mevcut düzene yetememesi yeni bir dağıtım teknolojisine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Özellikle bankacılık sektöründe uygulamaları hızla gelişen blokzincir teknolojisi merkezi sistemle çalışan her sistemi, merkezi olmayan dağıtık defter yapısıyla buluşturmayı hedefleyen bir alt yapıya sahiptir. Güvenilirlik, şeffaflık ve gizlilik vadeden bu teknoloji yatırımcıların da girişimiyle hemen hemen her alanda kendini göstermektedir. Bu tez çalışmasında hem mevcut düzeni tamamen yok saymayan hem de gelişen teknolojiye ayak uydurabilen akıllı sözleşme ve akıllı sayaçlar [40] sayesinde daha güvenli bir ödeme yönteminin uygulanabilirliği modellenmiştir.

Tasarlanacak olan sistemde üçüncü kişiler yani satıcılar enerji sağlayıcıları tedarikçiler gibi aracıları ortadan kaldırdığından enerji dağıtım maliyetini en aza indirecektir. Akıllı sözleşmeler ile tüketiciyi aynı zamanda üretici olarak sisteme ekleyebildiğinden tüketiciyi

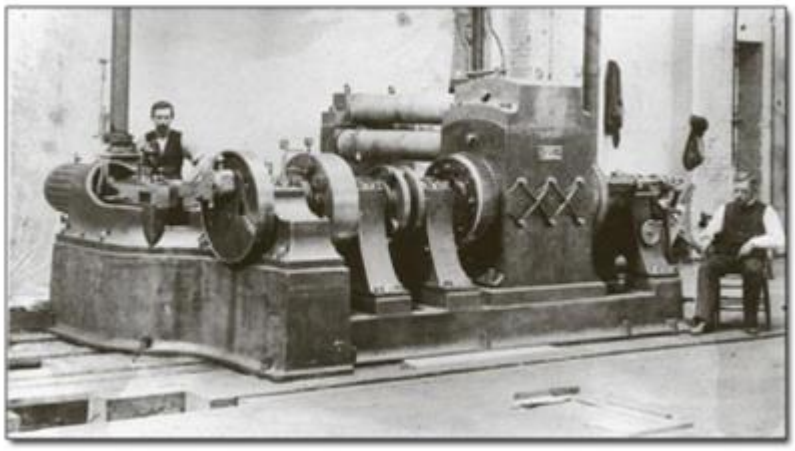
yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına teşvik eden bir algoritma tasarlanmıştır. Sistem genel yasal kurallarla hazırlanacağından herkesin kabul edeceği herkesin onayına sunulan bir sözleşme ile güvenilirliği hedeflemektedir. Merkezi olmayan bir sistem kurulduğunda tüketicilere en yakın noktadan enerji teminini sağlayan bu sistem ile küreselleşen dünyada ülkeler arası enerji ticaretini de mümkün ve kolay kılacaktır.

Blokzincir teknolojisiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden üreten tüketici modeli ile enerji verimliğini sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem merkezi olmayan dağıtık defter teknolojisiyle tasarlanacağından iletim hatlarında kaynaklanan uzak mesafelere enerji taşınırken oluşan enerji kaybını da azaltmayı hedeflemektedir. Özellikle akıllı şebeke sistemlerinde uygulanabilecek bu teknoloji sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ürettiği enerjiyi, kişi istediği anda satışa sunabilecek ve satışı talep eden kişiye olan uzaklığa göre bir fiyatlandırma yapılacaktır. Böylece iletim hatlarında meydana gelen kayıp eşit değil, adil bir şekilde maliyete yansıyacaktır. Bu sistem, öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını, enerji üretim/tüketimini desteklemeyi ve enerjiyi nispeten ucuza mal etmeyi amaçlamaktadır.

2. GELENEKSEL ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİ

Enerji iletimine tarihsel kronolojiyle bakarsak:

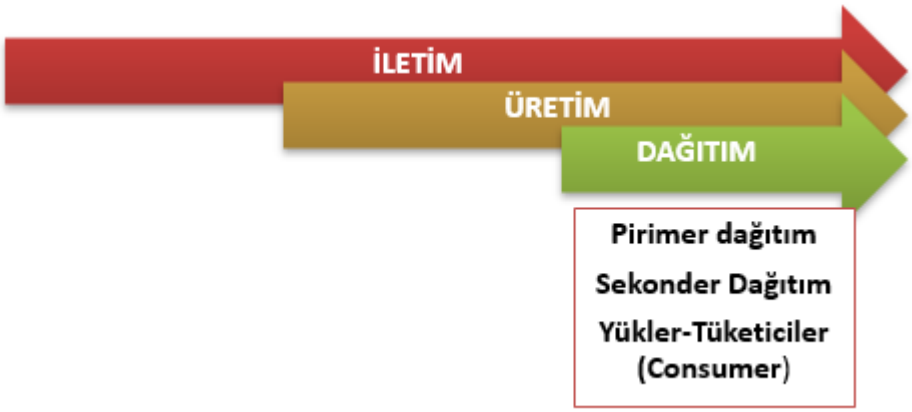
- Günlük hayatta ilk defa 1878 yılında elektrik enerjisi kullanılmaya başlandı.
- İlk pistonlu buharlı güç santrali 1882'de Amerika'da, 110V (DC) gerilimle 83W'lık 400 adet lambayı besleyen (~ 33 kW'lık) bir santral olarak devreye girmiştir.
- 1882 yılında Londra'daki Holborn Viaduct Santraline alınan pistonlu buhar makinesi kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.1 : İlk ticari santral (1882, 100kW).

- 1886'da W. Stanley tarafından transistörün atası kabul edilen indüksiyon bobini geliştirildi.
- 1886'da ilk kez tek fazlı alternatif akım ile enerji iletimi gerçekleştirildi.
- 1888'de Nikola Tesla çok fazlı Alternatif Akım (AA) geliştirildi.

1883 yılından günümüze kadar birçok bölgede Tesla'nın tasarım esaslarına göre yapılmaktadır. Geleneksel olarak elektrik enerji sistemleri genel olarak: Üretim, İletim ve Dağıtım olarak incelenmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Geleneksel enerji iletim aşamaları.

Merkezi sistemle oluşturulmuş geleneksel bir elektrik üretim santralinde (Şekil 2.3) genel olarak çalışma prensibi üretilen elektriğin gerilim seviyesi önce yükseltilir, sonra kademeli olarak gerilim seviyeleri düşürülür ve son kullanıcıya ulaşımı sağlanmaktadır. Bu şebekede üretimden tüketiciye kadar olan süreçte genel olarak dört aşama vardır: Üretici, dağıtıcı, perakendeci ve tüketicilerdir.

Birinci aşama: Üreticiler tarafından ağa verilen elektrik üretilir ve bunun karşılığında kendilerine ödeme yapılır.

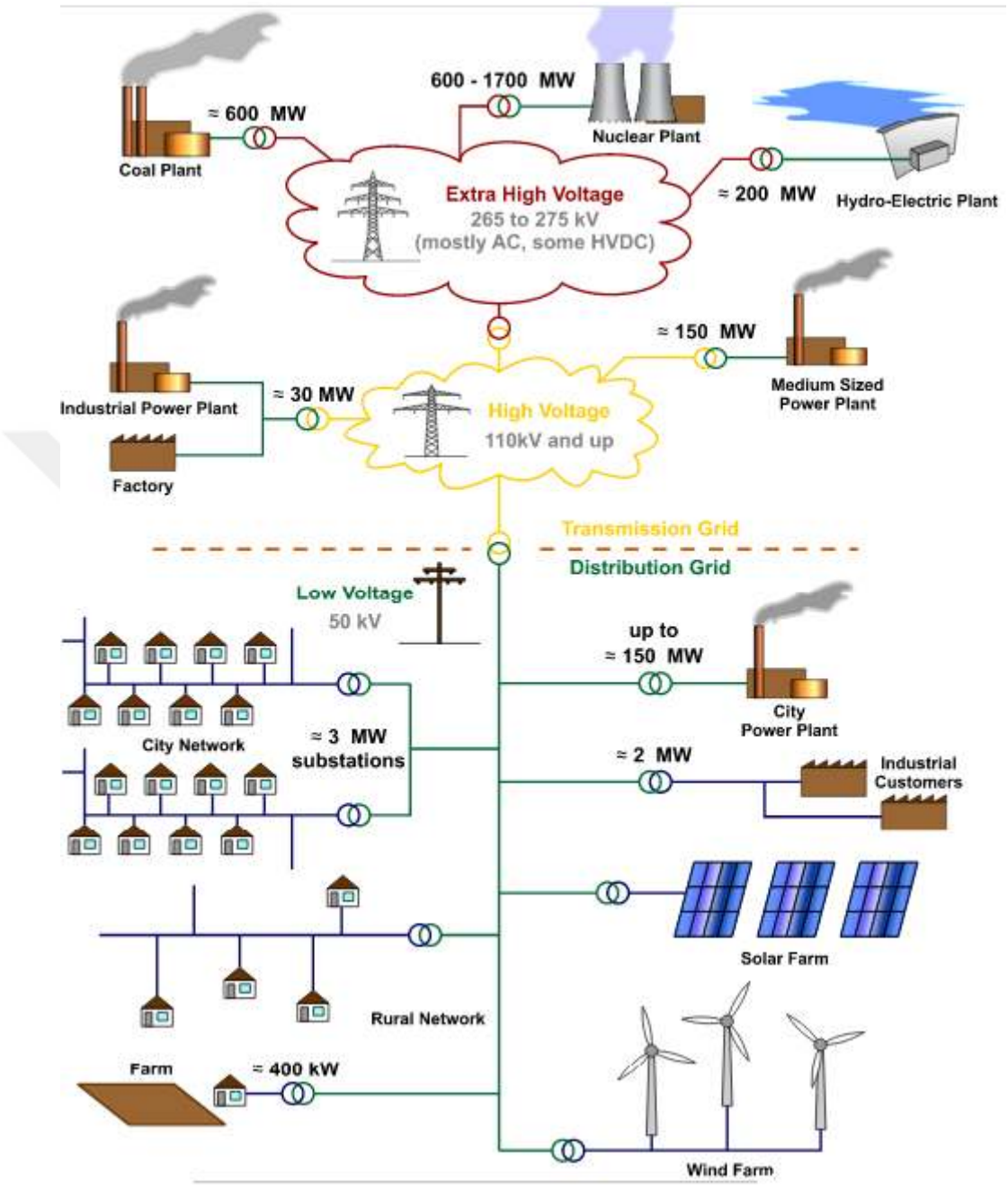
İkinci aşama: Üreticiden tüketiciye elektrik taşıyacak ağ dağıtıcılar tarafından işletilir.

Üçüncü aşama: Perakendeciler elektriği toptan satın alır ve üretilen elektriği alıp tüketiciye satışını yaparlar.

Dördüncü aşama: Elektrik tüketiciler tarafından satın alınır.

Bu sistemde para akışı üreticiden tüketiciye perakendeciler tarafından sağlanmaktadır. Üretici ve tüketici arasına giren her aşamada ise tüketiciye ekstra maliyet olarak yansımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artışıyla insanlar kendi elektriğini üretebilir hale gelmişlerdir. Enerji depolama sistemlerinin de gelişimiyle enerji üretebilen tüketici, piyasaya kendi enerjisini satabilecek üretici konumuna gelmiştir. Yeni teknolojilerin getirdiği kolaylıklarla elektrik üretim ve dağıtım yapısı her geçen gün gelişmektedir.



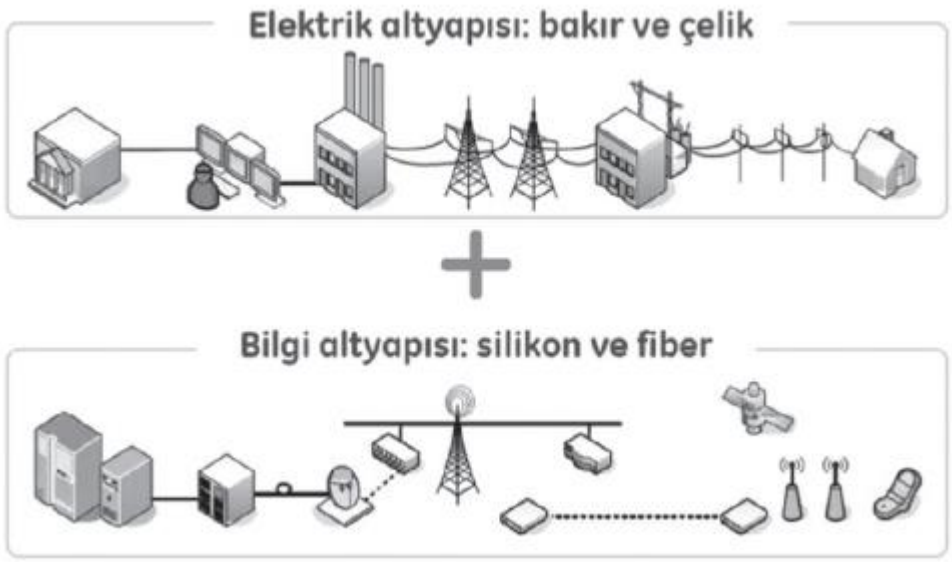
Şekil 2.3 : Geleneksel elektrik şebeke yapısı.

Günümüzde mevcut enerji kaynaklarının sınırlı oluşu artan enerji ihtiyacı beraber gelişen bilişim teknolojileriyle enerjiyi daha verimli kullanma üzerine birçok teknoloji geliştirilmekte ve elektrik iletimi, haberleşme ve internet tabanlı sistemler ortaya çıkmaktadır. Şebekelerdeki sorunlara çözüm sağlayabilmek için akıllı şebekeler geliştirilmiştir.

3. AKILLI ŞEBEKELER (SMART GRİDS)

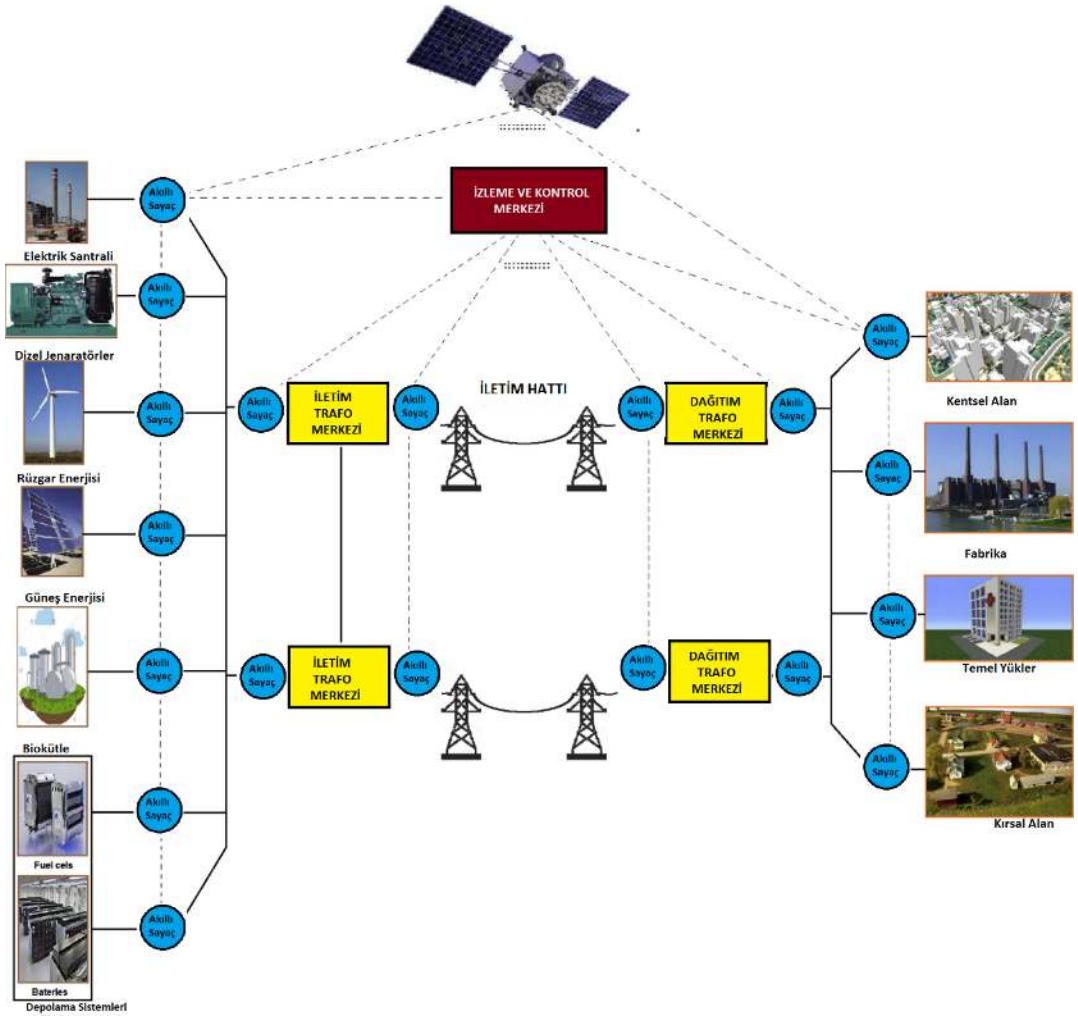
Elektrik Güç Araştırmaları Enstitüsü'ne göre (Electric Power Research Institude-EPRI):" akıllı şebeke" terimi; merkezi ve dağınık üretim tesislerinden yüksek gerilim hatları vasıtasıyla endüstriyel kullanıcılara, bina enerji yönetim sistemlerine, enerji depolama uygulamalarına, son kullanıcı olan tüketiciler ile onların termostatlarına, elektrikli taşıtlarına, cihazlarına ve diğer ev aletlerine kadar birbirine bağlı bütün bileşenlerinin işlemini görüntüleyecek, koruma yapacak ve otomatik olarak optimize edecek şekilde güç sisteminin modernizasyonuna karşılık gelmektedir (Report to NIST on the Smart Grids Interoperability Standarts Roadmap, EPRI, 2009).

Akıllı şebeke, operasyon, bilgi ve haberleşme sistemlerinin bir arada kullanıldığı izleme ve kontrol sistemleriyle şekillenen bir elektrik dağıtım şebekesidir. Temel amacı; şebekenin her aşamasında gerçek zamanlı iki yönlü bilgi transferi sağlayarak enerjinin üretiminden, tüketimine kadar, sürdürülebilir, güvenilir ve enerji verimliliği yüksek olan bir enerji ağı sunmaktadır. Böylece kayıp ve kaçak oranını azaltıp enerjiyi hem verimli kullanmak hem de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, hidrolik enerji) bütünleşme sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.1 : Akıllı şebekeler mevcut elektrik altyapısıyla bilişim altyapısını birleştirir.

Özellikle teknolojik yakınsama ile nesneler arası iletişimin elektronik ortamda sağlanması için akıllı sayaç ve izleme sistemlerinin (Şekil 3.2) elektrik şebekelerine entegrasyonu ile şebekelerinin izlenmesi, güncellenmesi ve sürekli güvenilir dağıtım yapılması elektriği tedarik eden ve tüketici arasında karşılıklı güvenliğinin sağlanması açısından çok önemlidir.



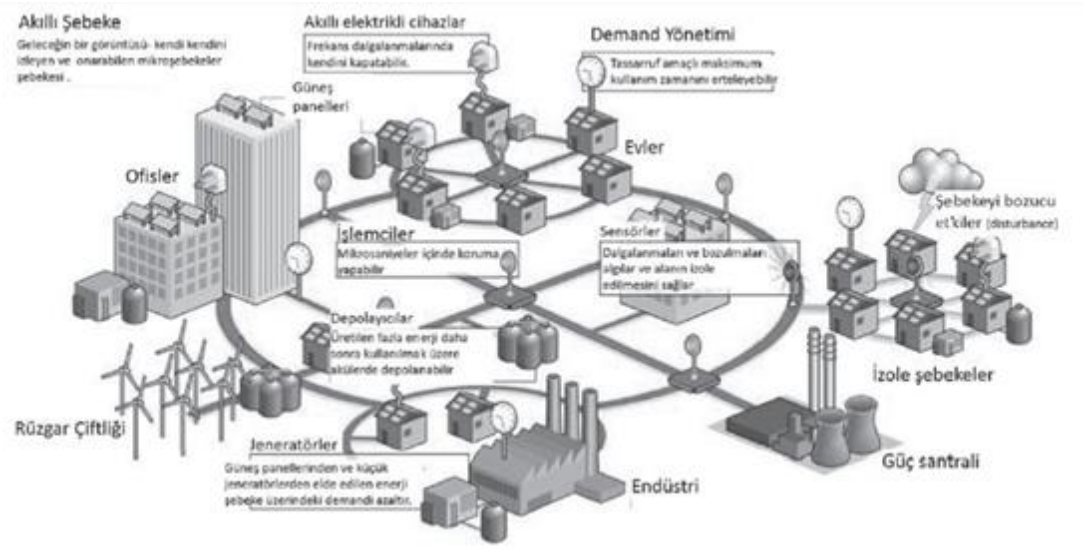
Şekil 3. 2 : Akıllı şebeke izleme ve kontrol şeması.

Hiç şüphesiz blokzincir teknolojisine dayalı bir sistem tasarlanacaksa akıllı şebeke teknolojisi ve bileşenlerine fazlasıyla ihtiyaç duyulacaktır. Akıllı şebeke ile elde edilen veriler blokzincirde kullanılacak verinin kendisini oluşturacaktır. Blokzincir ancak gerçek zamanlı, güvenilir ve yük tahmini yapabilen yapay zekâ teknolojileriyle entegre edilebildiği ölçüde verimli olabilmektedir. Bu tez çalışmasında akıllı şebeke ve özellikle akıllı sayaçların nesnelerin interneti aracılığıyla birbirleriyle iletişim kuran gerçek zamanlı doğru tahmin yönetimlerinin yapıldığı bir alt yapı üzerine kurulacaktır. Birçok alanda olduğu gibi blokzincir teknolojisinde de bilgi/data her şeydir. Blokzincir akıllı şebeke yapısıyla verileri elde edecek ve sistemde verileri kullanacaktır. Verilerin nasıl ve neye göre kullanacağını ise akıllı kontratlarla belli bir konsensüs oluşturularak yazılacaktır. Bu bağlamda akıllı şebeke kavramı çok önemlidir.

3.1 Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Teknolojisi

Amerika Enerji Departmanı (DOE)'na göre, bir akıllı şebekenin bileşenleri ve teknolojileri şu yapıları içermelidir:

- Akıllı istasyonlar.
- Akıllı sayaçlar.
- Akıllı üretim.
- Akıllı dağıtım.
- Bütünleştirilmiş haberleşme sistemleri.
- İleri kontrol yöntemleri.



Şekil 3.3 : Akıllı şebeke yapısı.

Akıllı şebekede, şebekenin yapısı şunlara ihtiyaç duyar [3];

- Hızlı Bilgisayarlar,
- İleri Bilgi Teknolojisi (BT),
- Gelişmiş İletişim Teknolojileri,
- GPS (Global Positioning System) Sahip Uydu,

- Dijital Frekans Kaydediciler (DFR),
- Fazör Ölçüm Birimleri (PMU) gibi Sensör Cihazları ve Dinamik Salınım Kayıtlarına ihtiyaç duymaktadır (DSR).

3.2 Akıllı Sayaçlar (Smart Meters)

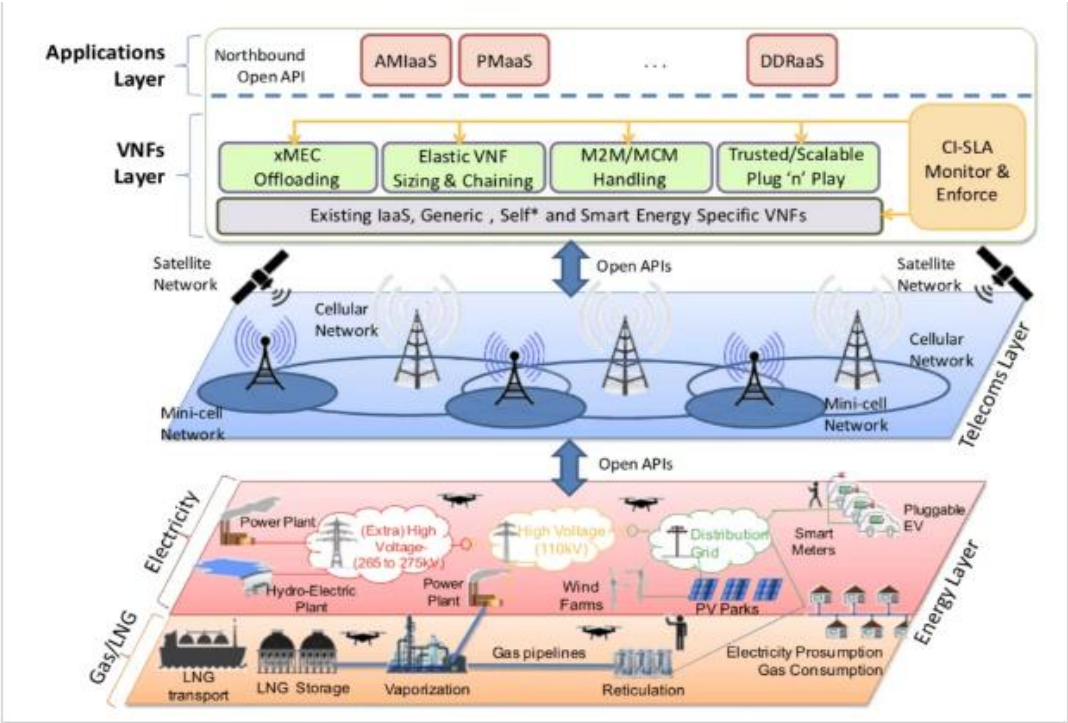
Akıllı şebekelerin en önemli bileşeni olan akıllı sayaçlar (smart meters) elektrik üretimden son tüketiciye kadar şebekenin uzaktan izlenebilir ve kontrol edilebilir olmasını sağlamaktadır. Kısaca, enerji kaynaklarının üretim ve tüketimini ölçmeye yarayan teknolojik cihazlardır.

Sayaçlar tüketiciye eş zamanlı tükettiği enerji miktarını göstermesinin yanında aylık, haftalık hatta saatlik olarak verileri depolayabilir ve uzun süre hafızada tutabilir. Programlamalarla birlikte telefon, bilgisayar gibi akıllı cihazlara izlenebilir bir arayüzler tasarlanabilir ve enerji giriş çıkışı kontrol edilebilir hale gelmiştir. Akıllı sayaçlarla ortalama enerji talebi hesaplanabilir önden ödemeli enerji satın alınabilinir. Bu da gelişen teknolojiyle beraber akıllı tüketicinin sistemde yer almasını sağlamaktadır. Tüketici enerji gereksinimini kontrol edebilir duruma gelmiştir. Bu avantaj tüketici desteği sağlayacağı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına da entegre edilebilmektedir. Bu sayede tüketici ihtiyacı olan enerjiyi istediği zaman alabildiği gibi kendi ürettiği enerjiyi de ölçüp hesaplayıp ihtiyacının fazlasını satabileceği bir platform oluşturulmuştur.

Özellikle 5G teknolojisi ile akıllı şebeke teknolojileri çok daha verimli hale gelecek ve akıllı şebekelerde blokzincir teknolojisiyle üretilmiş dijital dönüşüme basamak oluşturacaktır. Çünkü 5G ile OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi); daha güvenilir, veri iletimi hızlı ve sürekli hale gelebilecektir. Daha önceden de belirttildiği gibi veriye erişim hızı ve veriyi doğru analiz edebilen yapay zekâ destekli tasarımlar sistemlerin cevap verme hızını da artıracaktır. Örneğin; Akıllı şebekeler ile dağıtık enerji alanları daha gelişmiş ve güvenilir halde iletişimde kalabilecek, arıza uyarıları gibi anında müdahalenin önemli olduğu zamanlarda bilgiler merkez SCADA sistemlerine daha hızlı iletilmiş olacaktır.

3.2.1 5G teknolojisiyle daha akıllı ve hızlı şebekeler

Akıllı şebekenin sağladığı iletişim ve bilişim teknolojilerinin 5G teknolojisiyle nesnelerin yakınsaması (Şekil 3.4) akıllı şebekedeki haberleşme gereksinimini büyük ölçüde sağlaması beklenmektedir.



Şekil 3.4 : 5G ile uygulama iletişim enerji katmanları.

5G teknolojisiyle yenilenebilir enerji (rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi...) ve merkezi olmayan enerji üretim santrallerinin dinamik veri akışı merkezi Scada ile entegrasyonu hızlı ve geniş kapsama alanıyla daha da verimli hale gelecektir. Enerji üretimi ve enerji tüketimi arasındaki hesaplamaları, neredeyse gerçek zamanlı veri iletimi sağlayarak karar alma mekanizmasını kolaylaştırabilen bir akıllı sistem haline gelecektir.

3.3 Nesnelerin İnterneti (IoT)

İlk olarak 1991 yılında Kevin Ashton tarafından yapılan bir sunumda nesnelerin interneti kavramı kullanılmıştır. Nesnelerin İnterneti (IoT), Her şeyin İnterneti (Internet of Everything/IoE), Nesnelerin Ağı (WoT), Her Şeyin Ağı (WoE), Makineden Makineye (M2M)

gibi terminolojide karşılıkları olsa da en popüler isimlendirme olarak Nesnelerin İnterneti kullanılmaktadır (Gözüaçık, 2015).

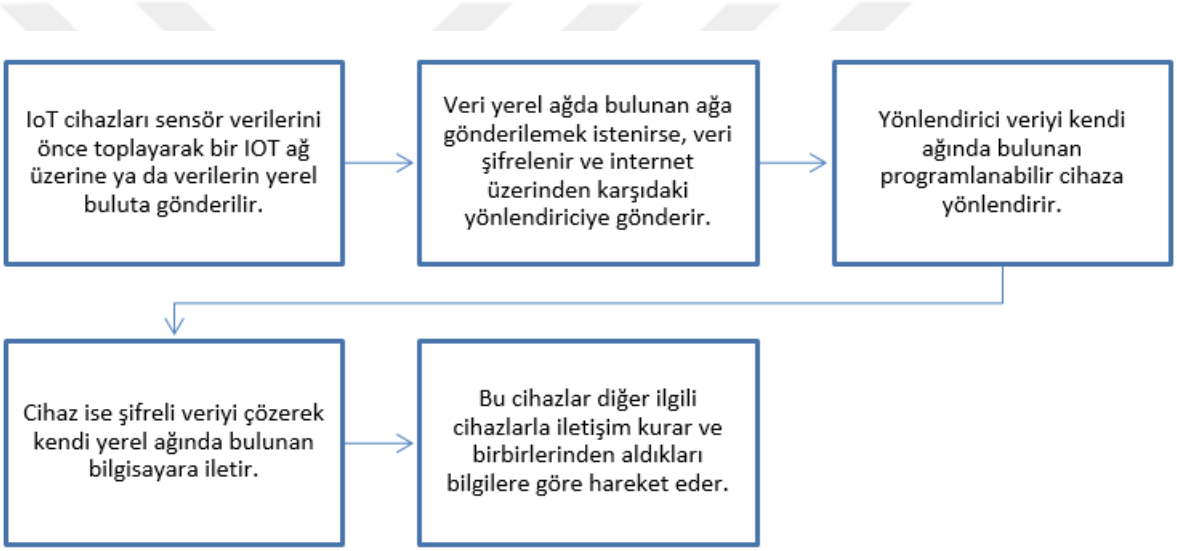
Nesnelerin interneti yani IoT teknolojisi elektronik cihazların veya gelişen teknolojiyle elektronikleşebilen tüm aygıtların/akıllı cihazların yakınsamasıyla yani birbiriyle etkileşimini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknolojiyle mekanik/dijital makineler, bilgi işlem cihazları, nesneler, hayvanlar, kullanıcı tanımlayıcısı (UID'ler) ile insanlara ve insandan ağa gerek duymadan bir ağ üzerinden bilgi alışverişi yapabilmekte ve böylece birbiriyle haberleşebilmektedir. Küçük ev aletleriyle başlayan bu teknoloji günümüzde akıllı şehirlerin veri alışverişinde en önemli haberleşme yöntemi olmuştur. IoT cihazları, aydınlatma, ısıtma ve klima, kamera, medya ve güvenlik sistemleri, kontrol sistemlerini içeren ev otomasyonu konseptinin bir parçasıdır [41].

Şekil 3.5 : IoT teknolojileri ile örnek uygulamalar.

Akıllı şebeke ile kurulmuş bir sistemde, cihazların etkileşimin sağlanmasıyla ışıkların ve elektronik cihazların kontrolü günümüz teknolojisiyle enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Şimdi ise bu verileri en doğru şekilde kullanıma hazırlayan sistemler tasarlanmaya çalışılmaktadır.

3.3.1 Nesnelerin interneti (IoT) nasıl çalışır?

Verinin toplandığı IoT, sensör verilerini önce toplayarak bir IOT ağ üzerine ya da verilerin yerel olarak analiz edildiği buluta gönderir veya buluttan analiz edilip başka bir uç cihaza bağlayarak paylaşmaktadır.

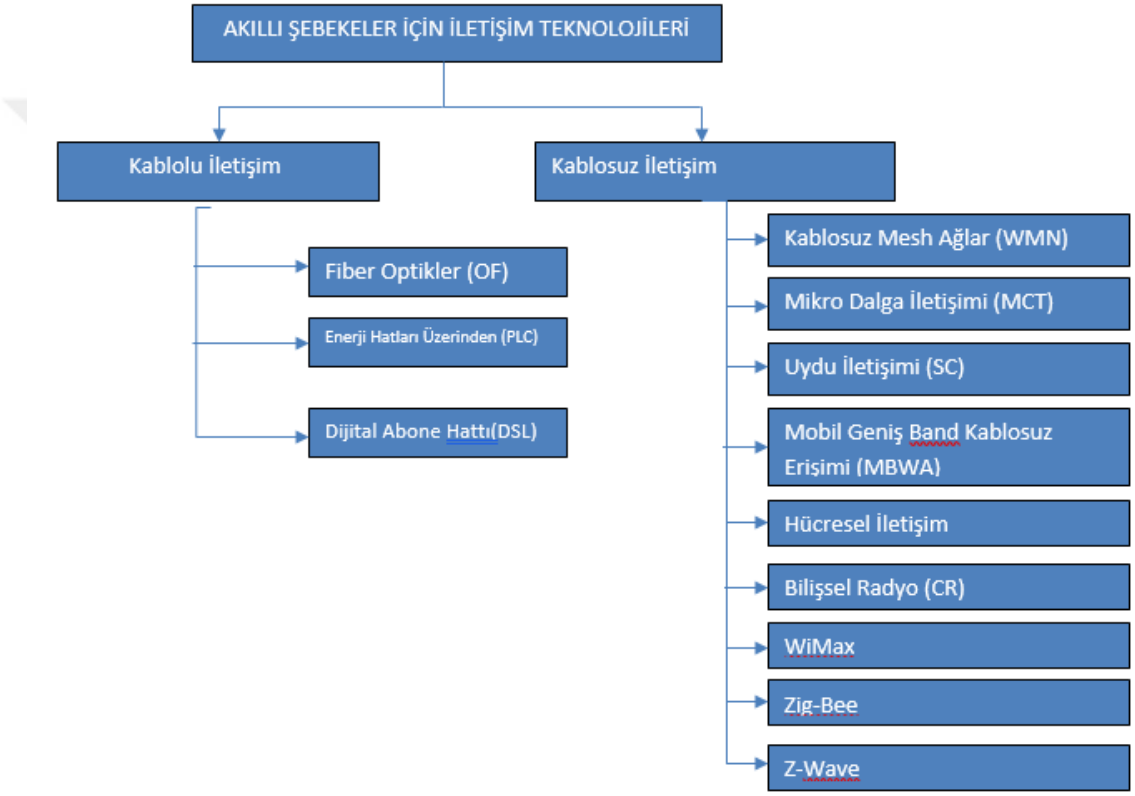


Şekil 3.6 : IoT cihazları işlem akış sırası.

Buradan programlanabilir mikro denetleyicilere IO (Input-Output) arayüzü sayesinde cihazlar bağlanabilir ve kontrol edilebilinir. İşlenen verilerle elde edilen bilgi ile cihazlar birbirleriyle iletişim kurarak aldıkları verilere göre hareket ederler. Bu cihazlar komut almadan çalışabilirler kullanıcı müdahalesine gerek duymazlar ancak kullanıcı istediği zaman arayüzlerle etkileşime geçebilir ve müdahale edebilir. Yani karar mekanizması aynı zamanda kontrol ve izlemelerin yapılabildiği sisteme dönüşmüştür. İstediği zaman kullanıcı verilere ulaşabilir, ayarlamalar yapabilir, talimat verebilir ve hatta yazılımın izin verdiği oranda verileri değiştirebilir. Toplanan tüm veriler veri depolama ya da bulut teknolojisiyle saklanabilir. Birçok verinin toplanmasıyla akıllı sistemlerin yapı taşı dediğimiz veriler büyük

veri yani *big data* olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü sistemleri anlamlı ve değerli kılan bu verilerin doğru programlanan kombinasyonları oluşturacaktır.

Radyo frekansı tanımlama (RFID) ve sensörler gibi birtakım algılayıcılarla nesneler birbirleri ve çevreleriyle internet üzerinden iletişim kurarak oluşturmaktadır. Nesnelerin interneti uygulamalarında iletişim için birçok farklı teknoloji mevcuttur. Bu iletişim teknolojilerini kablolu ve kablosuz olarak ikiye ayrılır.



Şekil 3.7 : Akıllı şebekeler için kablolu ve kablosuz iletişim teknolojileri.

3.4 Big Data Nedir?

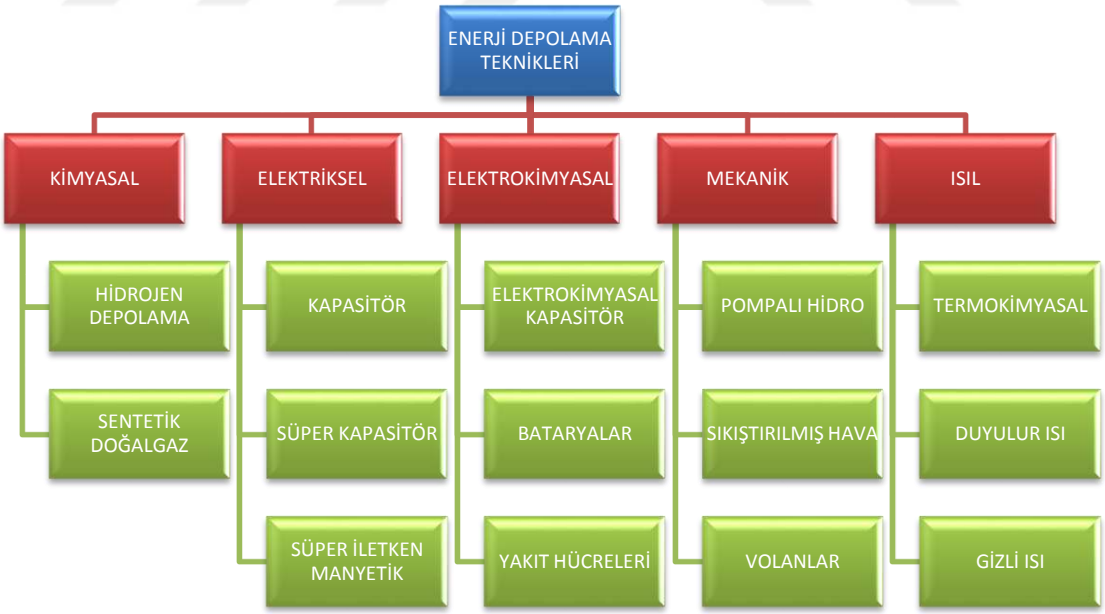
Big Data (Büyük Veri), sensörler ve diğer algılayıcılar tarafından alınan tüm dijital verilerin toplanması sonucu oluşmaktadır. Veriler işlendiği zaman anlam kazanmaktadır. Akıllı sistemlerde de diğer tüm sistemlerde olduğu gibi veriyi doğru analiz etmek çok önemlidir. Uygulanacak herhangi bir karar için kaynağa ait ne kadar çok ilgili veri varsa o kadar doğru karar verme olasılığı artmaktadır. Toplanan veriler kullanıcı arayüzü ile

etkileşime geçilebildiği gibi yapay zekalar tarafından analiz edilip kendi kendine işleyen bir karar verme mekanizmasına dönüşebilmektedir.

Bu tez çalışmasında tasarlanacak sistemde birçok kullanıcı ve üreticinin dahil olacağı sistemde her blok sahibinin enerji verilerinin analizinin doğru yapılması sistemin uygulanabilirliği açısından çok önemli bir yere sahiptir.

3.5 Enerji Depolama Teknolojileri

Enerjiyi üretmek kadar enerjiyi depolayabilmek özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının hayatımıza girişiyle daha da önemli hale gelmiştir. Neredeyse tüm enerji formlarını depolayabilmekteyiz. Enerji formuna göre **Şekil 3.7**'de genel olarak uygulanan enerji depolama teknikleri gösterilmiştir. Burada sunulan sınıflandırmadan farklı olarak enerji girdisi (elektrik, mekanik veya ısıl), enerji çıktısı (ısıl enerji, sıvı yakıt veya gaz yakıt) veya enerji dönüşüm işlemine (güç-güç, güç-gaz, güç-sıvı veya güç-ısı) göre farklı tip sınıflandırmalar da yapılabilmektedir (DİNÇER & EZA, 2020).



Şekil 3.8 : Enerji depolama teknikleri.

Talep ihtiyacına, maliyetine, tüketiciye, uzaklığa, uygulama alanına, enerji formunun özelliklerine, iklim ve çevre koşullarına ve daha pek çok faktöre göre enerji depolama teknikleri değişmektedir (Şekil 3.9).

Şekil 3.9 : Uygulama alanına göre enerji depolama teknolojileri (EDT).

Blokzincir tabanlı kurulacak olan akıllı şebekelerde özellikle yenilenebilir enerji kullanımına teşvik amaçlı ödeme sistemlerinin tüketiciyi destekliyor olması enerji depolama sistemlerinin önemini vurgulamaktadır. Akıllı sayaçlarla doğru programlanabilen sistemlerde kullanıcı, ihtiyacından fazla enerjiyi depolayabilecek ve enerji pazarına kendisi de dahil olma fırsatı bulmuş olacaktır. Bu ağa önümüzdeki yıllarda elektrikli araçların da ekleneceği ön görülmektedir. Yani sadece yenilenebilir enerji kaynakları için değil kullanılırken elektrik üretebilen elektrikli araçlar da araç sahipleri için dilerse araçla ürettiği enerjisini kullanma ya da enerji pazarında satıcı olma potansiyelini beraberinde getirmiş olacaktır.

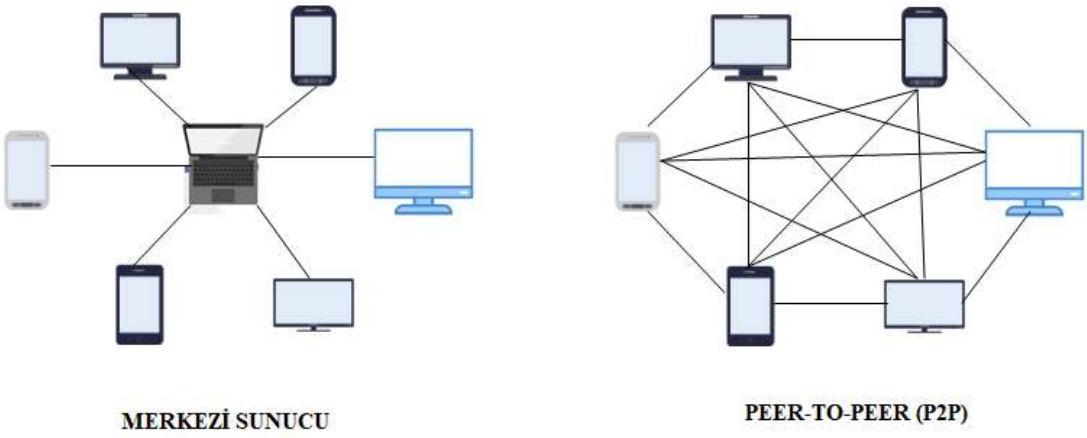
3.6 Peer To Peer (P2P)

3.6.1 Server nedir?

Sunucu (server), ağındaki diğer bilgisayarlara (istemcilere) hizmet sunmasını sağlayan belirli programlar veya donanımlarla donatılmış bir bilgisayardır. Merkezi sunucuya sahip yapılarda, ağda yer alan her kullanıcı aynı bilgisayara bağlanmaktadır. Sunucuların farklı türleri ve yetenekleri vardır. Teorik olarak; bilgisayarlar kaynakları istemci makinelerle paylaştıklarında sunucu olarak kabul edilmektedir.

3.6.2 P2P nedir?

İstemcilerin birbirleriyle veri paylaşımı için kullandıkları bir ağ protokolüdür. "Peer to peer" yani eşler arasında sabit bir merkezi birime ihtiyaç duymadan sunucular veya sabit bilgisayarlar işlemci gücü, disk depolama veya ağ bant genişliği gibi kendi kaynaklarının bir kısmını, doğrudan diğer ağ katılımcıları için kullanılabilir hale gelmiştir [42]. **Şekil 3.10**'da görüldüğü gibi merkezi sistemli ağ yapılarında tüm bilgisayarlar/ağlar aynı sunucuya bağlanmaktadır. P2P yapılarında ise ağa bağlı her kullanıcı birbiri ile veri paylaşımında bulunabilmektedir.



Şekil 3.10 : Merkezi sunucu ağ yapıları ve P2P.

Ağa katılan her bir node (katılımcı) bireysel bir eş olarak hareket edebilmektedir. Eşler arası sağlanan bu protokol blokzincir teknolojisinin temelini oluşturan, eşten eşe transfer protokolü, dağıtık ağ mimarisinin oluşmasına imkân tanımaktadır. P2P ile merkezi olmayan her kullanıcının birbirine bağlandığı protokol oluşturulur. Bağlı olan eşler, bir otoriteye ihtiyaç duymadan kendilerine ait veri depolama donanımlarını ağın kullanımına açmış olurlar. Böyle bir bağlantıda tüm makinalar/bilgisayarlar eşit durumdadır. Bu da sunucuların üretici, istemcilerin ise tüketici olduğu geleneksel merkezi ağ yapısının aksine eşlerin aynı anda üretici ve tüketici olabilmesini sağlamaktadır. Böyle bir ortam aracıdan bağımsız ticaret yapılmasını sağlamasının yanında çalışma koşulları akıllı kontratlarla kendiliğinden bağlantı kurulup karşılıklı herhangi bir ticaretin yapılmasına da olanak sağlamaktadır.

3.6.3 P2P ağı nasıl çalışır?

Ağa katılan her bir katılımcıda dosyaların bir kopyası bulunmaktadır. Katılımcılar hem bir istemci hem de bir sunucu olarak hareket edebildiği için merkezi ağ yapısında bulunan tek bir sunucu bulunmaz. Merkezi ağda sunucunun yapabildiği her şeyi eşten eşe merkezi olmayan dağıtık ağ mimarisiyle kurulmuş sistemlerde bütün katılımcılar bir sunucunun yapabileceği dosyaları eşlerden indirebilir ya da bu diğer eşlere dosya yükleyebilmektedir.

3.6.4 P2P ağı avantajları ve güvenlik

Merkezi sistemlerde tüm veriler tek bir merkezde birikir ve bir sorunla karşılaşıldığında tek bir bilgisayardan çözüm sağlanmaktadır. Merkezi sistemin en büyük dezavantajı, örneğin kalabalık bir gruba hizmet sağlanacaksa aynı anda çok fazla insanın tek bir bilgisayara bağlanmaya çalışmasıyla çökme meydana getirmesidir. Benzer bir mantıkla, Dağıtılmış Hizmet Reddi (DDoS) olarak adlandırılan siber saldırı da web kaynaklarına çok fazla istek göndererek aşırı yüklenme ile çökebilmektedir. P2P gibi merkezi sunucuya bağlı olmayan ağlarda ise her bir kullanıcı sınırsız kaynaktan veri sunumu yapabilmektedir. Dağıtık mimari ile bir veriyi tek tek katılımcılara göndermek yerine, bir veri milyonlarca katılımcıya tek seferde gönderilebilmektedir. Gerçekleştirilen tüm işlemler bu dağıtık defter üzerine kaydedilmektedir. Defterdeki kayıtların doğruluğu bu ağa bağlı kullanıcılar tarafından kayıt altında tutulur. Eğer kullanıcı/katılımcı kendi kaynaklarını kullanıma açtıysa ağdaki diğer kullanıcılar da önceden belirlenen erişim haklarına göre o makinanın kaynaklarına erişebilir ve kullanabilir. Merkezi ağ yapılarında herhangi bir saldırı

olması durumunda sunucuda saklanan tüm veriler tehlike altındadır. P2P mimarisiyle herhangi bir tehlike anında örneğin siber saldırıya uğraması veya teknik sorunlar yaşaması halinde ağın çoğunluğu tarafından veriler saklanmaya ve korunmaya devam etmektedir.

3.6.5 P2P ticareti

Müşteriler Arası (C2C) alım-satım olarak da bilinen P2P ticareti, kripto para birimlerini üçüncü bir taraf veya aracı olmadan doğrudan kullanıcılar arasında alıp satma eylemidir. P2P ticaretinde katılımcılar, işlem yapmak istediği kişi ile aracısız muhatap olur, itibari para-varlık takasını çevrimdışı yapar ve işlemi çevrimiçi onaylar. Burada ticareti yapılan değer/mal/ürün/hizmet dijital bir varlığa dönüştürülür. İşlem her iki tarafın onayından sonra, dijital varlık alıcıya gönderilmek üzere serbest bırakılır. Aynı zamanda alıcıları/satıcıların tekliflerini yayınlamaları için şeffaf bir platform sağlayıp alım satımı kolaylaştırılmış olmuştur [43].

P2P ticareti, kripto para birimlerinizi (dijital varlığa dönüştürülen her şey) kimin, kimden satın aldığınız, fiyatlandırma ve ödeme süresi konusunda size daha fazla kontrol imkânı sağlamaktadır.

4. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ

4.1 Kriptoloji

Temel amacı bilgiyi istenmeyen gözlerden saklamak için ortaya çıkan bu bilim neredeyse insanlık kadar eski bir tarihe dayanmaktadır. Her ne kadar kulağımıza modern bir kelime gibi gelse de *Kriptoloji* kavramı aslında eski bir Yunanca kelime olan gizlilik anlamına gelen *Kryptos* kelimesinden türetilmiştir [44]. Kriptografi ise Kriptoloji'nin bir alt bilim dalı olup yine eski bir Yunaca kelime olan yazı anlamına gelen *graphien* sözcüğü kullanılarak türetilmiştir. Kriptografi yani yazıların (bilginin) şifrelenmesini ifade etmektedir.

Başka bir deyişle Kriptografi, bilginin istenmeyen tarafların erişimine karşı korunmasını sağlayan kodların ve metodolojilerin incelenmesi ve uygulanması anlamına gelmektedir. Temel olarak, günümüzde her şey güvenli iletişim ve verilerle ilgilidir. Bununla kastettiğimiz, yetkisiz veya kötü niyetli kullanıcıların verilere erişmesini engellerken, aynı zamanda hedef kullanıcıların bunu yapmasına izin vermektir. Basit bir deyişle, Kriptografi, iki taraf arasındaki iletişimi, başka hiç kimsenin mesajı okuyamayacağı, yorumlayamayacağı, değiştiremeyeceği veya başka bir şekilde çalamayacağı şekilde gizli tutmak için kullanılan tüm yöntemleri içermektedir.

4.2 Blokzincir Nedir, Nasıl Çalışır?

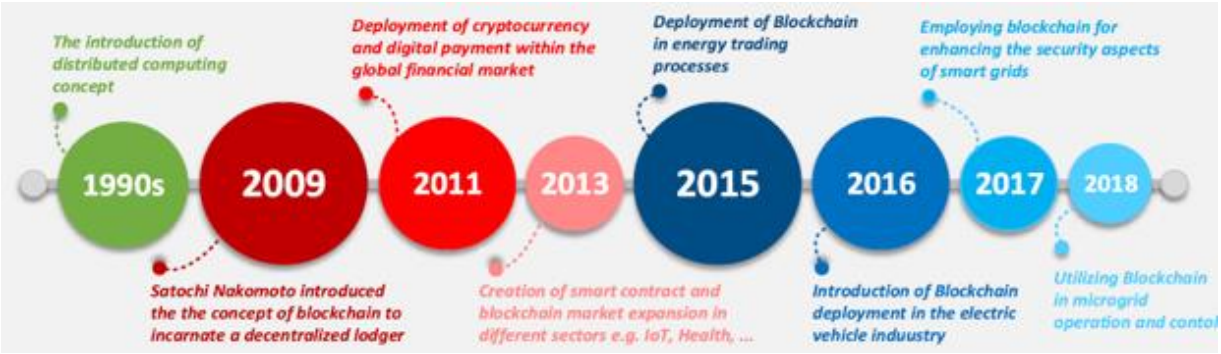
Blokzincir bir alım-satım yöntemi olan kripto paralarla özdeşleştirilse de gerçekte bir ödeme yöntemi olmaktan çok daha fazlası, yeni bir teknolojidir. Blokzincir, İşlemlerin "bloklar"da bir araya getirilmesini ve saklanmasını tarih sırası ile kriptografik olarak bu blokları birbirlerine bağlanmasını oluşan kayıt defterine (ledger) farklı server'lar (sunucular) tarafından erişilmesini sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanabilir.

Blokzincir teknolojisi, girilen her türlü veriyi düzenlemek ve saklamak için kullanılır ve bir aracıya veya merkezi otoriteye gerek duyulmadan kamusal alanda işlem yapmak için insanlar arasında paylaşılan bir veri tabanı görevi görmektedir [45]. Verileri dağıtık defter

denilen herkesçe onaylanabilen bir deftere kaydedilir silinemez değiştirilemez ve herkes tarafından görülebildiğinden; şeffaf, üçüncü bir kişi veya otoriteye ihtiyaç duyulmayan güven odaklı bir sistemdir. Verilerin depolandığı bu verileri kendi ağının tüm düğümlerinde/kullanıcılarında halka açık olarak paylaşıldığı dağıtılmış ve merkezi olmayan dağıtık bir defterdir. Blokzincir teknolojisini, ağdaki herkesi özgür ve adil bir ortamda işlem yapmaya zorlayarak, yürütme kurallarını zenginleri veya fakirleri tercih edecek şekilde değiştirmeyen tarafsız bir platform olarak görülmektedir [46]. İnsan aracılara olan ihtiyacı azaltmak için akıllı sözleşmeler kullanarak işletmelerin işlemlerini yürütme şeklini değiştirerek ve kullanıcılara doğrulanmış ve kalıcı bir işlem sistemi garanti etmektedir. Kullanıcılar bir zincir gibi birbirine bağlı olduğundan önceden eklenmiş verileri değiştiremez. Bir düğümdeki bilgilerin değiştirilmesi, bloklar birbirine bağlı olduğundan sistemin geri kalanı için aynı şeyi yapmak anlamına gelir, bir bloğu değiştirmek, ona bağlı her diğer bloğu değiştirecektir. Gerçekleşebilecek tek değişiklik, halihazırda var olan bloklara yeni bilgi blokları eklemektir [47]. İhtiyacımız olan güven yerine kriptografik kanıta dayalı, iki tarafın üçüncü bir güvenilir kişiye gerek duymadan doğrudan birbirleriyle işlem yapabileceği bir elektronik ödeme sistemidir, geri döndürülmesi imkansıza yakın işlemler satıcıları dolandırıcılıktan koruyacaktır (Nakamoto, 2008).

Şekil 4.1 : Blokzincir ve Bitcoin ilişkisi.

Birçok araştırmacı, blokzincirin 1990'larda tanıtılan dağıtılmış hesaplama konseptinin tanıtılmasının bir sonucu olduğuna inanmaktadır [48]. Satoshi Nakamoto, Blokzincir teknolojisindeki konsepti ilk kez 2009 yılında beyaz bülteni `` Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System '' [49] ile tanıtmıştır.



Şekil 4.2 : Blokzincir tarihsel gelişimi [17].

Blokzincir 2011 yılında bitcoin gibi kripto para biriminde benimsenmesinden sonra, 2013 yılında akıllı sözleşmelerin ve akıllı uygulamaların tanıtılmasıyla blokzincirin gerçek uygulamaları başlanmıştır [50]. Birçok alanda akıllı blokzincir tabanlı sözleşmelerle uygulama alanı artan sektör, enerji sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. 2015 yılında enerji ticareti uygulamaları, 2016 yılında elektrikli araç uygulamaları, 2017'de şebeke güvenliği uygulamaları ve 2018'de mikro şebeke operasyon ve kontrol uygulamaları ile blokzincir kullanımına başlanmıştır.

4.2.1 Blokzincir temel kavramlar

Blokzincir teknolojisini anlaşılması için kendi terminolojisini öğrenmek gerekmektedir.

Blok/Block: Ağa katılan tüm düğümlere/node'lara dağıtılmış bir işlem kümesini tutmak için kullanılan bir veri yapısıdır.

Zincir/Chain: Belirli bir sıradaki blok dizisidir.

Düğüm/Node: Blokzincir içindeki kullanıcı ya da bilgisayarlardır.

Bilgi/Data: Blokta saklamak istenen herhangi bir veridir.

Miner: Blokları doğrulama işlemini yapan belirli düğümlerdir.

index: Blokzincirdeki bloğun konumunu gösteren sayıdır. (Örneğin ilk bloğunun index bilgisi 0'dır.)

Hash: Blokta yer alan değişken uzunluklu verilerin sabit uzunluklu verilere çeviren bir algoritmaya (hash fonksiyonuna) sokulduktan sonra elde edilen özet sonuçtur.

Consensus: Blokzincir işlemlerini gerçekleştirmek için daha önceden belirlenmiş bir dizi kural ve düzenlemeler bütünüdür.

previousHash: Blokta kendinden önceki bloğun hash değerini gösteren değerdir.

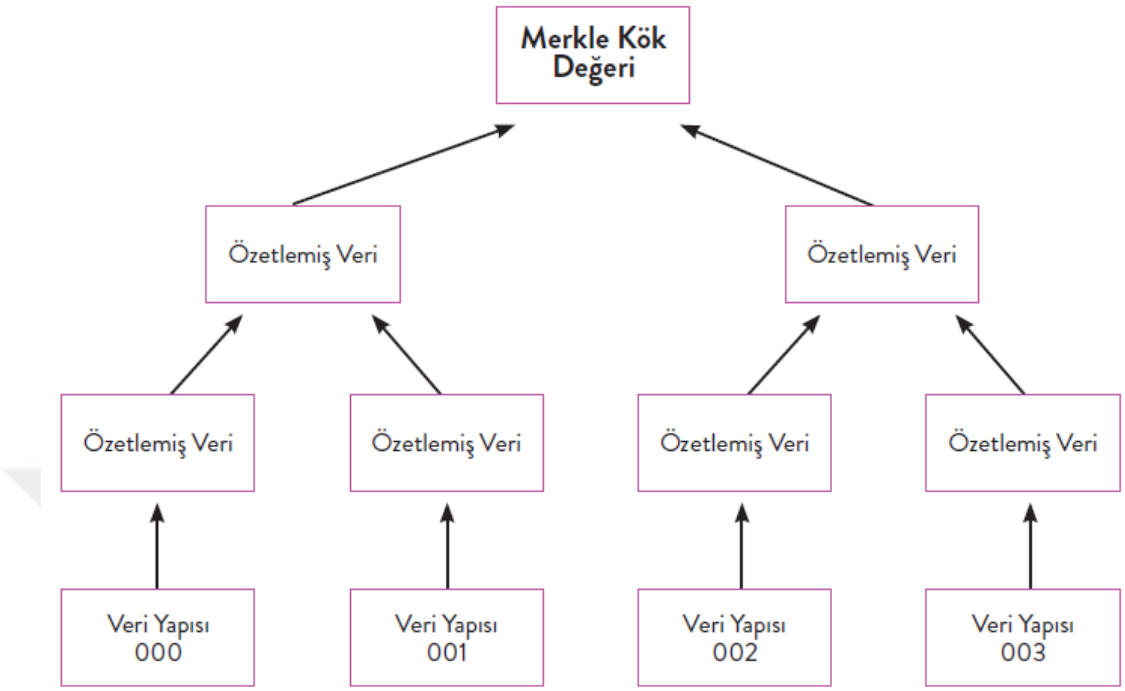
timestamp: Zaman damgası yani bloğun üretildiği zamanı gösterir.

nonce: Nonce (number only used once), "yalnızca bir kez kullanılan sayı"nın kısaltmasıdır; bu, yeniden düzenlendiğinde zorluk seviyesi kısıtlamalarını karşılayan bir blokzincirdeki karma veya şifrelenmiş bir bloğa eklenen bir sayıdır. Nonce, blokzincir madencilerinin çözdüğü 32 veya 64 bitlik tamsayılardır.

numTx: Blokta gerçekleştirilen işlemlerin sayısını gösterir. **...numTx**, blokta numaralandırılmış işlem sayısının hesabını tutmaktadır.

İşlemler (transactions): Blokzincir sisteminin en küçük yapı taşı. Blokta bulunun varlığın diğer bloğa aktarılması işlemi de denilebilir.

Merkle Tree: Merkle ağacı,blokzincir teknolojisinin temel bir parçasıdır. Farklı veri bloklarının karmalarından oluşan ve bir bloktaki tüm işlemlerin özeti olarak işlev gören matematiksel bir veri yapısıdır. Ayrıca, büyük bir veri gövdesindeki içeriğin verimli ve güvenli bir şekilde doğrulanmasına olanak tanımaktadır. Merkle ağaçları kripto para birimlerinde, blokzincir verilerini daha verimli ve güvenli bir şekilde kodlamaya hizmet etmektedir. Yapılan işlemlerin hash değerleri Merkle ağacının son yapraklarını oluşturmaktadır.



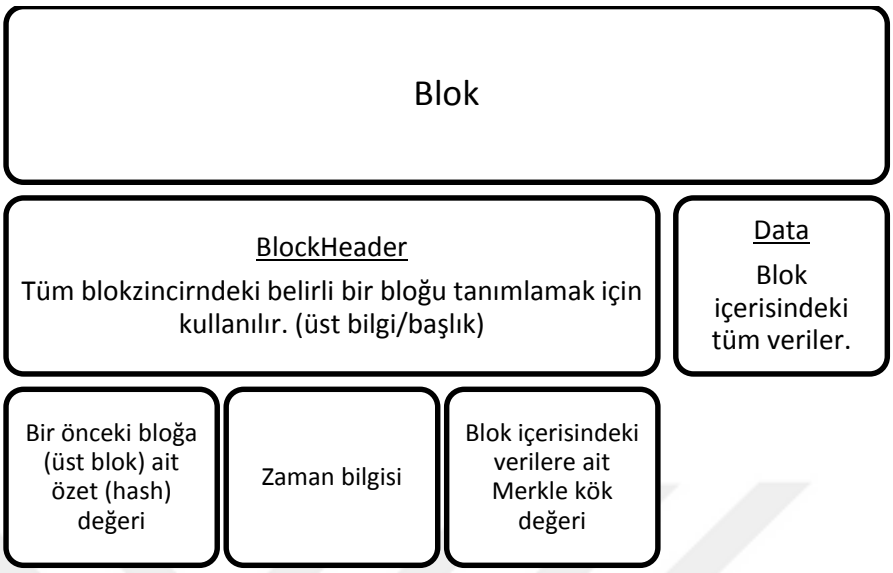
Şekil 4.3 : Merkel ağacı (*(Usta & Doğantekin)*

Blokzincirler üzerinde gösterilen bilgileri ikiye ayırılırsa:

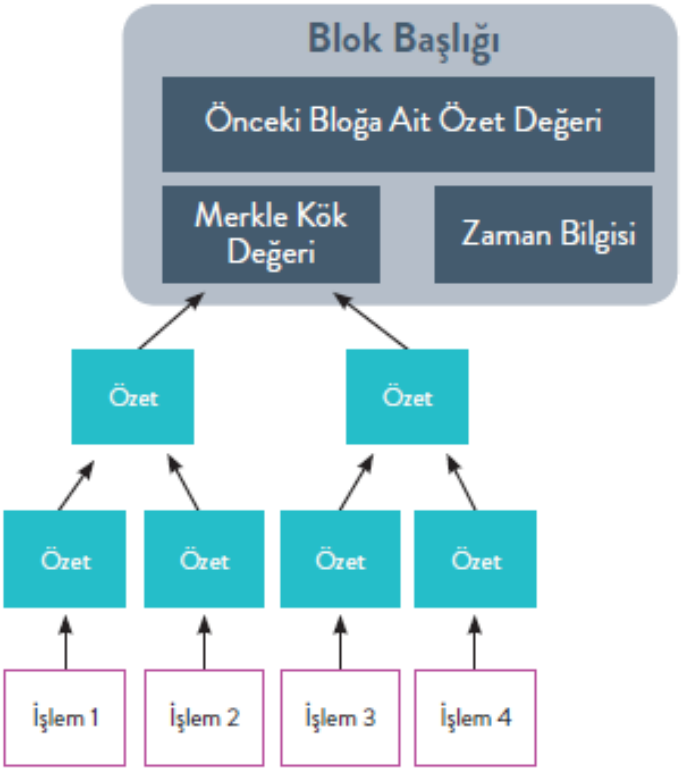
1. **Data:** Blok içerisindeki verilerdir.
2. **Block Header:** Blokların her biri benzersiz bir başlık içerir ve bu tür her bir blok, ayrı ayrı başlık ile tanımlanır. Bir blok başlığı, tüm blokzincirdeki belirli bir bloğu tanımlamak için kullanılmaktadır.

BlockHeader:

- Bir önceki bloğa ait hash (özet) değerini,
- Blok içindeki verilere ait Merkle kök değerini,
- Ve zaman bilgisini (timestamp) içerir.



Şekil 4.4 : Blok yapısı.



Şekil 4.5 : Blok başlığı ve Merkle kök değeri.

4.2.2 Blokzincir temel bileşenleri

Şekil 4.6 : Blokzincir bileşenleri.

Blokzincir teknolojisini temel olarak **Şekil 4.6'**daki gibi altı başlık altında inceleyelim.

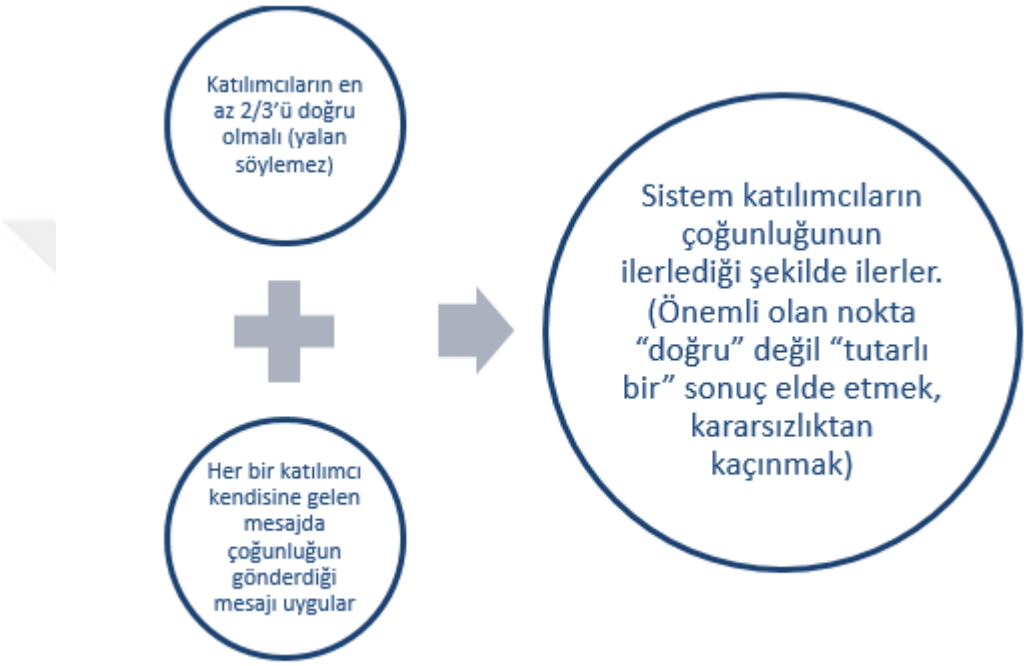
4.2.2.1 Blokzincir fikir birliği/konsensus, otorite onay mekanizması nasıl çalışır?

Bir blokzincir işleminin onayı, fikir birliği olarak bilinen bir süreçten gelmektedir. Konsensüs, geçerli zincirin ne olduğu konusunda blokzincirdeki tüm düğümler arasında bir anlaşmadır. Blokzincir karar mekanizması Bizans generalleri problemi ile basit bir ifadeyle çoğunluğun onayına dayanan kendi kendine çalışan bir sistemdir. Peki nedir bu Bizans generaller problemi? İlk olarak 1975 yılında Prof. Dr. Eralp Akkoyunlu tarafından "Some constraints in and tradeoffs in the design of network communications" (İletişim ağlarının tasarımı sırasında yapılan karşılaşılan bazı kısıtlama ve feragatler [51].) belirlenen bu sorun kaleme alınmıştır. 1982 yılında ise Bizans Generalleri Problemi adıyla ortaya çıkmıştır [52].

Bizans Generalleri Sorunu, tamamen başarısızlıktan kaçınmak için ilgili tarafların tek bir strateji üzerinde hemfikir olması gerekirken, tarafların bazılarının yozlaşmış ve yanlış bilgi yayması şeklinde açıklanabilmektedir. Bu problem kuşatılmış bir Bizans ordusunun başındaki komutanın, içlerinde çok fazla hain generallerin bulunduğu (komutan da dahil) düşünürsek

karar alma mekanizmasını anlatan bir örnektir. Yani birbirine güvenmeyen (içlerinde hain ya da hatalı sinyaller verebilecek) tarafların ortak hareket etmesi nasıl sağlanır, nasıl bir "Mutabakat Mekanizması" olmalı ki aralarında beraberce hareket edebilsinler [53].

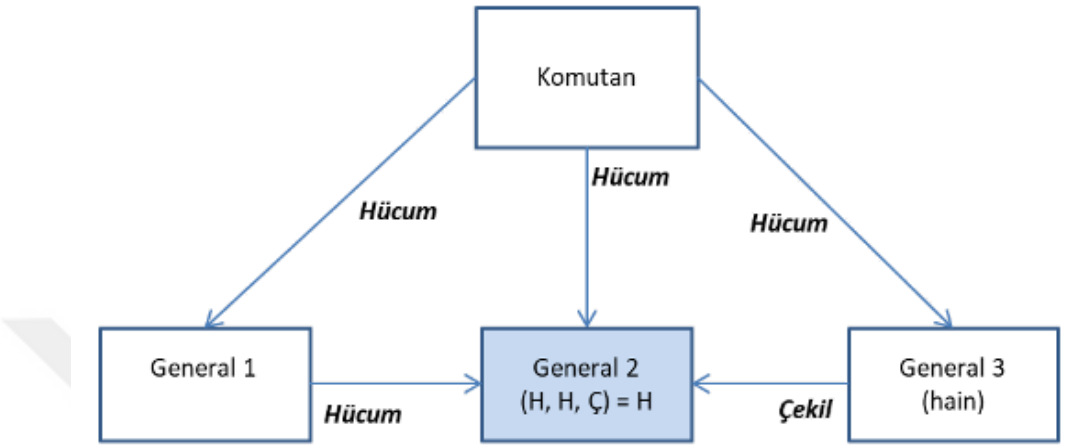
Sistemin çalışma şartları: (Sert, Sorularla Blockchain, 2019):



Şekil 4.7 : Bizans hata toleransı karar alma sistemi (BHT).

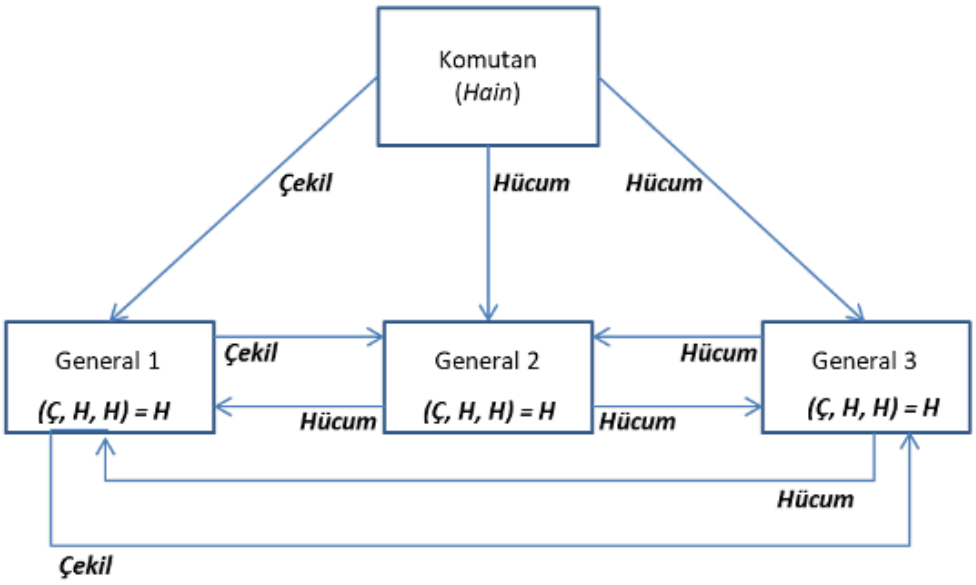
Bizans Generalleri bir grup Bizans generalinin bir sonraki hamlelerinde anlaşmaya çalışırken hangi iletişim sorunlarını yaşayabileceğini gösteren mantıksal bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bu sisteme göre her general hatta komutan bile bu kurallara göre karar alıp uygulayacak ve her generalin kendi ordusuna sahip olduğunu ve her grubun saldırmayı planladıkları şehrin farklı yerlerinde bulunduğunu varsayılmaktadır. Generallerin ya saldırmak ya da geri çekilmek konusunda anlaşmaları gerekmektedir. Tüm generaller fikir birliğine vardıkları, yani koordineli bir şekilde yürütmek için anlaştıkları sürece, saldırmaları veya geri çekilmeleri önemli değildir.

Bu nedenle, aşağıdaki gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır: **Şekil 4.8'**deki örnekte General 2*; Hücum, Hücum ve Çekil* emirini almış olup *Hücum* kararını verecektir.



Şekil 4.8 : İkinci generalin gözünden uygulanması gereken karar.

Komutanın hain olduğu durumda ise her generalin alacağı karar **Şekil 4.9**'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : Komutan hain ise, generaller ne yaparlar?

- Her general mutlaka karar vermelidir: hücum veya geri çekilme (evet veya hayır).
- Karar, verildikten sonra değiştirilemez.

- Tüm generaller aynı karar üzerinde anlaşmak ve senkronize bir şekilde uygulamak zorundadır.

Söz konusu iletişim sorunları, bir generalin diğer bir generalle sadece bir kurye tarafından iletilen mesajlar aracılığıyla iletişim kurabilmesiyle ilgilidir. Sonuç olarak, Bizans Generalleri Sorununun temel zorluğu, mesajların bir şekilde ertelenmesi, yok edilmesi veya kaybolmasıdır.

Ayrıca, bir mesaj başarılı bir şekilde iletilmiş olsa bile, bir veya daha fazla general (ne sebeple olursa olsun) kötü niyetli hareket etmeyi ve diğer generallerin kafasını karıştırmak için sahte bir mesaj göndermeyi seçerek mutlak bir başarısızlığa yol açabilmektedir. Bu, bir BHT sisteminin bazı düğümler başarısız olsa veya kötü niyetli davransa bile çalışmaya devam edebileceği anlamına gelmektedir. Bizans Generalleri Sorununun birden fazla olası çözümü ve dolayısıyla bir BHT sistemi kurmanın birden fazla yolu vardır.

BHT' sını blokzincir teknolojisiyle uygulanırsa, her genel bir ağ düğümünü temsil eder ve düğümlerin sistemin mevcut durumu üzerinde fikir birliğine varması gerekmektedir. Başka bir deyişle, dağıtılmış bir ağdaki katılımcıların çoğunluğu, tam bir başarısızlıktan kaçınmak için aynı eylemi kabul etmek ve yürütmek zorundadır.

Bu nedenle, bu tür dağıtılmış sistemlerde fikir birliğine varmanın tek yolu, en az ⅔ veya daha fazla güvenilir ve dürüst ağ düğümüne sahip olmaktır. Bu, ağın çoğunluğu kötü niyetli davranmaya karar verirse, sistemin arızalara ve saldırılara (%51 saldırısı gibi) duyarlı olacağı anlamına gelmektedir.

4.2.2.1.1 Blokzincir mutabakat algoritması uzlaşı (consensus) algoritmaları

Bir konsensüs algoritmasını, bir blokzincir ağının fikir birliğine vardığı mekanizma olarak tanımlanabilir. Bu mekanizma, kripto para birimleri gibi dağıtılmış süreçler veya çok aracılı sistemler arasında tek bir veri değeri veya ağın tek bir durumu üzerinde gerekli anlaşmayı sağlamak için bilgisayar ve blokzincir sistemlerinde kullanılan hataya dayanıklı bir mekanizmadır. Bazı aracılar başarısız olsa bile, sistemdeki tüm aracıların tek bir doğruluk kaynağı üzerinde anlaşabilmesini sağlamalıdır. Diğer bir deyişle, sistem hataya dayanıklı olmak zorundadır.

En çok kullanılan uygulamalar Proof of Work (PoW) ve Proof of Stake (PoS)'dir. Özellikle kripto para dünyasında Bitcoin protokolü sistemin birincil kurallarını belirlerken, PoW konsensüs algoritması, fikir birliğine varmak için (örneğin, işlemlerin doğrulanması ve onaylanması sırasında) bu kuralların nasıl takip edileceğini tanımlamaktadır. Aslında Proof of Work kavramı kripto para birimlerinden daha eski olmasına rağmen, Satoshi Nakamoto, Bitcoin'in bir BHT sistemi olarak oluşturulmasını sağlayan bir algoritma olarak bunun değiştirilmiş bir versiyonunu geliştirmiştir.

PoW algoritmasının Bizans hatalarına %100 toleranslı olmadığını, ancak maliyetli madencilik süreci ve temeldeki kriptografik teknikler nedeniyle PoW'nin blok zincir ağları için en güvenli ve güvenilir uygulamalardan biri olduğunu kanıtlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı, Satoshi Nakamoto tarafından tasarlanan Proof of Work konsensüs algoritması, birçok kişi tarafından Bizans hatalarına yönelik en dahice çözümlerden biri olarak görülmektedir. Bu doğrulama yöntemi iyi çalışır, ancak blokzincirin düğümlerinin yarısından fazlası bir taraf tarafından kontrol edilirse bozulabilmektedir. Bitcoin'in isimsiz yaratıcısı Nakamoto, şu anda ünlü Bitcoin tanıtım belgesinde bu tehlikelere karşı defalarca uyarmıştır (Nakamoto, 2008).

Proof of Stake ise, Blokzincir ağları tarafından dağıtılmış fikir birliği sağlamak için kullanılan bir tür fikir birliği mekanizmasıdır. Bu tez çalışmasında bu konsensüsü kullanan Ethereum kullanılacaktır. Proof-of-stake, POW'e kıyasla getirdiği yenilikler [54]:

- ✓ Daha iyi enerji verimliliği sağlar (özellikle Bitcoin'deki gibi çok sayıda enerji madenciliği bloğu kullanılmasına gerek yoktur.).
- ✓ Daha düşük giriş engelleri, daha düşük donanım gereksinimleri vardır (yeni bloklar oluşturma şansı olması için yüksek bir donanıma ihtiyaç yoktur).
- ✓ Merkezileştirmeye karşı daha güçlü karşı çıkar (hisse kanıtı ağda daha fazla düğüme yol açmalıdır).
- ✓ Shard zincirleri için daha güçlü destek sağlar (Sharding, Ethereum'un ölçeklenebilirliğini ve kapasitesini geliştirmek için çok aşamalı bir yükseltmedir. Parça zincirleri, ağın yükünü 64 yeni zincire yaymaktadır. Donanım gereksinimlerini düşük tutarak bir düğümü çalıştırmayı kolaylaştırırlar).

Proof-of-stake Ethereum için, kullanıcıların doğrulayıcı olmak için 32 ETH'ye ihtiyacı vardır. POW' ün aksine doğrulayıcılar blok oluşturmak için rastgele seçilir ve oluşturmadıkları blokları kontrol etmek ve onaylamaktan sorumludurlar. Bir kullanıcının hissesi, iyi doğrulayıcı davranışını teşvik etmenin bir yolu olarak da kullanılabilmektedir.

Doğrulayıcıların blokları madenciliği yapmalarına gerek yoktur; sadece seçildiklerinde bloklar oluşturmaları ve önerilen blokları doğrulamaları gerekmektedir. Doğrulayıcılar, yeni bloklar önerdikleri ve gördüklerini doğruladıkları için ödüller alırlar. Kötü niyetli blokları onaylanırsa, hisseler kaybedilir. Ethereum için sistem böyle çalışır ve bu iki mekanizma dışında birçok uzlaşı algoritması vardır, bunlarda bazıları:

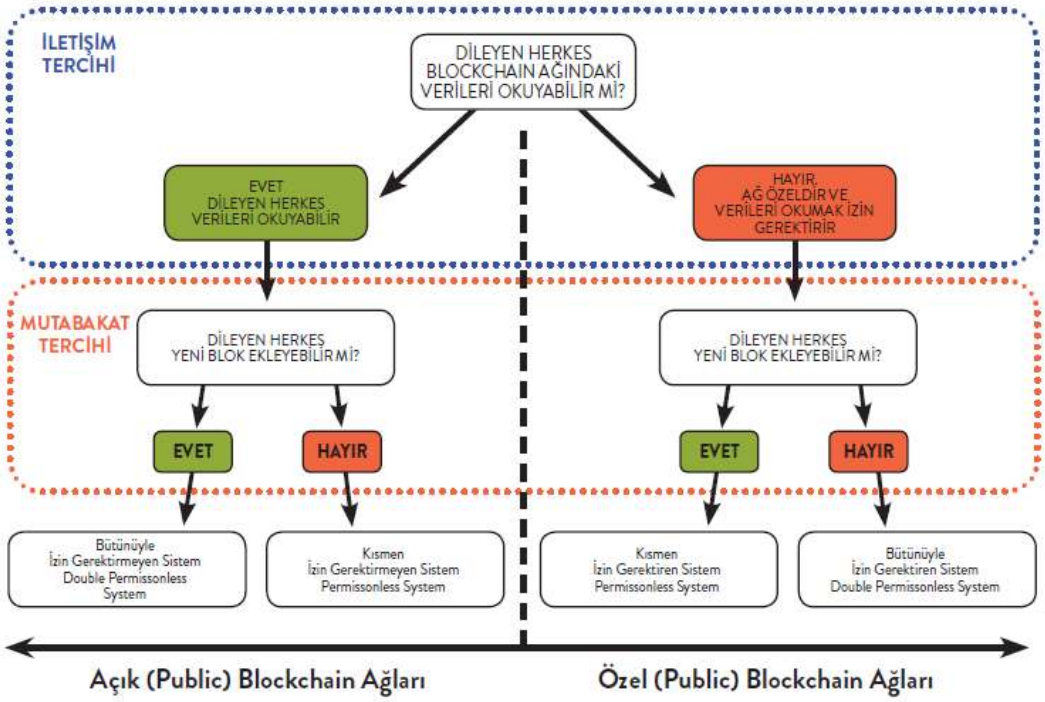
- Proof-of-Authority (Parity)- Ripple, Hyperledger,
- ProofofRun (PoR)-Runcoin,
- ProofofAssignment-IOTW,
- Delegated-Proof-of-Stake (DPos)-BitShares,Steemit EOS,
- DeligatedByzantineFaultTolerance (DBFT)-NEO,
- Proof-of-Elapsed-Time (POET),
- Leased-Proof-of-Stake (LPos),
- PracticalByzantineFaultTolerance (PBFT),
- SimplifiedByzantineFaultTolerance (SBFT).
- ProofofActivity (PoA)-Digital Note, Vechain,
- ProofofCapacity (PoC)-Burstcoin,
- ProofofBurn (PoB)-Slimcoin,
- DirectedAcyclicGraphs (DAG),
- ProofofImportance (POI),

Konsensüs algoritmalarının yanı sıra, blok zincirleri, ağ kullanıcılarına verilen izin türleri olan izin modellerinden farklı olabilmektedir. Blokzincir, genel, özel veya konsorsiyum uygulamalarında çeşitli amaçlar için kullanılabilen benzersiz uygulama özelliklerine sahiptir [55]. Üç ana blokzincir türü [56] vardır. Genel, Özel, Konsorsiyum:

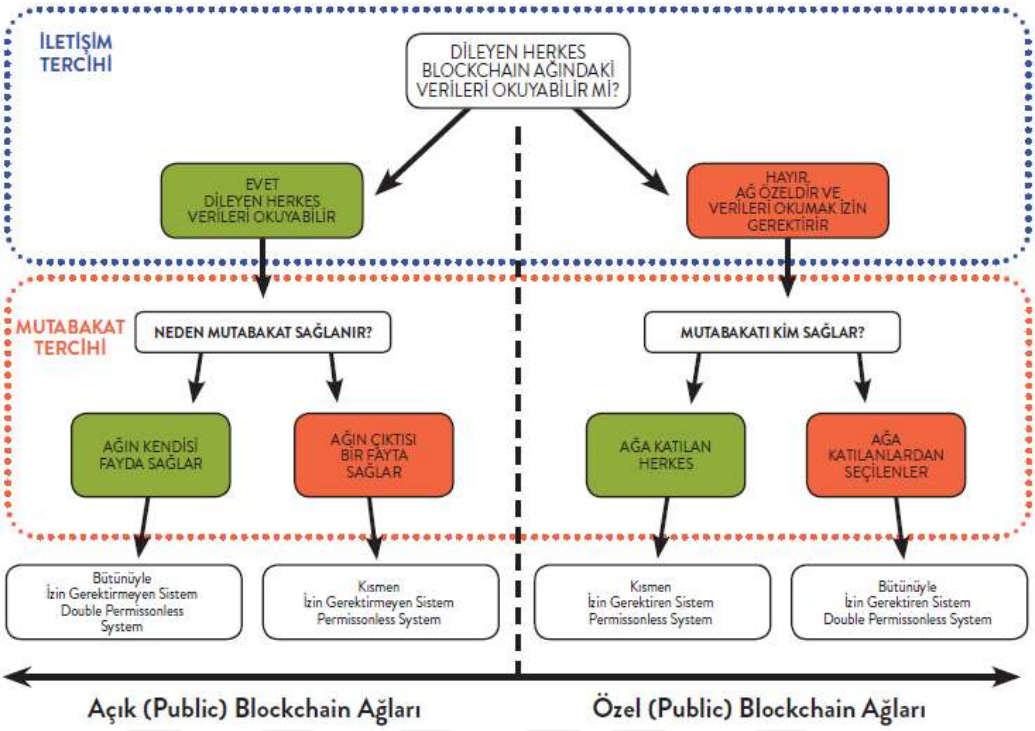
Genel/Açık (Public): Herkese açık blokzincir tüm kullanıcılara açıktır. Herkes istediği gibi blokzincirne katılabilir ve ekleme yapabilir. Böylece istediği gibi yeni bloklar oluşturulabilinir.

Özel (Private): Bu türde, yalnızca birkaç kullanıcı doğrulayabilir ve blokzincire ekleme yapabilir. Yine de ağdaki herkes blokzincirin durumunu görebilmektedir.

Konsorsiyum (Consortium): Burada, tek bir grubun blokzinciri görüntülemesine, doğrulamasına veya eklemesine izin verilmektedir. Bu nedenle, yalnızca yetkili düğümler tarafından kontrol edilebilinir. Konsorsiyum blokzincir, ağa yeni bloklar eklemek için yalnızca bir yöneticinin "yazma" ve "okuma" iznine sahip olması nedeniyle özel blokzincirden farklıdır [57]. Bununla birlikte, "okuma" iznine ağdaki tüm düğümler tarafından erişilmektedir. Konsorsiyum blokzincirde, bir grup düğüm veri eklemek, bloke etmek, işlemleri onaylamak ve işlem geçmişini görüntülemek için ağda hem "yazma" hem de "okuma" hakkına sahiptir.



Şekil 4.10 : Blokzincir türleri [44].



Şekil 4.11 : Mutabakat çıkarı.

4.2.2.2 Blokzincir ve P2P

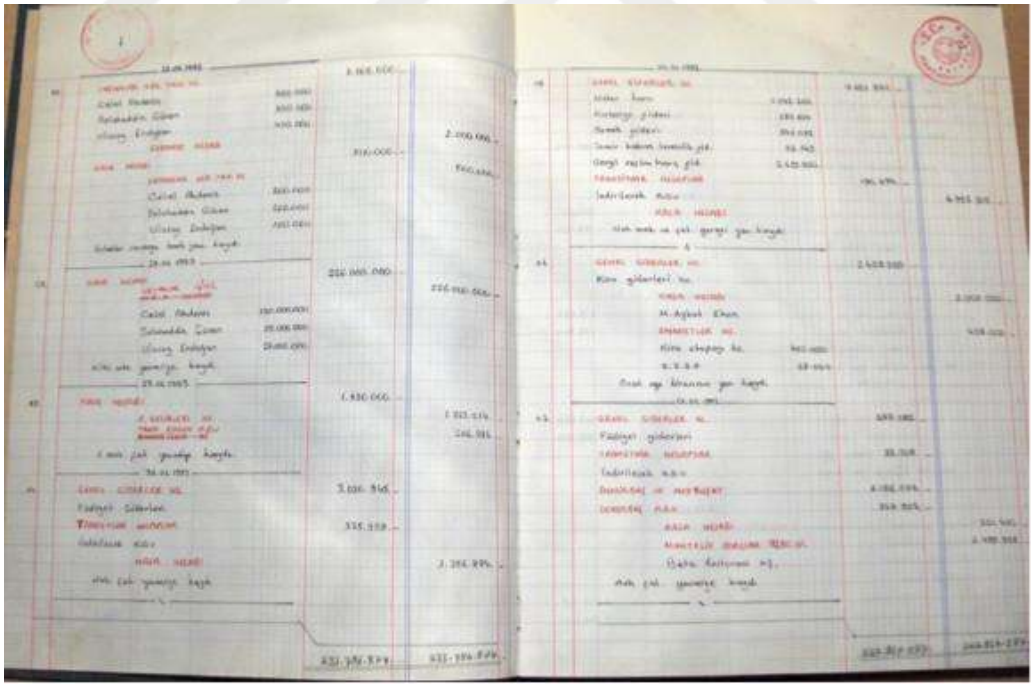
Blokzincir teknolojisi P2P mimarisi için birçok kolaylık sunmaktadır. Bunlardan en önemlisi P2P ağların geleneksel merkezi ağ türlerine göre daha güvenli olmasıdır. Blokzincirdeki konsensüs ile düğümlerin %51'i bir işlemin geçerliliği konusunda hemfikir olduğunda, bir blok zincire eklenmektedir. Düğümler, işlemleri doğrulamak için zincirleri karşılaştırır. Burada en uzun zincir geçerli zincirdir. Doğrulama işleminin herkese açık yapılması eşten eşe ticarette şeffaflık ve güvenilirliği sağlayan aracıların verdiği hizmetten fazlasını vadetmektedir. Özellikle blokzincir ile verilerin çok sayıda düğümlere dağıtılmış olması birçok sistemin tıkanmasına neden olan Hizmet Reddi (DoS) saldırılarına karşı daha dayanıklı yapmaktadır. Merkezi ağ yapısıyla oluşturulan bir ticaret herhangi gelebilecek saldırılara açıktır. Benzer şekilde veri, blokzincire eklenmeden önce düğümlerin çoğunluğunun mutabakata varması gerektiğinden bir saldırganın veriyi değiştirmesi mümkün değildir.

Blokzincir işlemleri, işlem hızı ve transfer ücretleri açısından büyük avantajlar getirmektedir. Normal bir banka havalesinin tamamlanması bir hafta sürebilmektedir. Gecikmeler, üçüncü tarafların/aracıların doğrulama işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

İşlemleri doğrulama ve izleme yöntemi, bu teknolojide anlık ve geri alınamamaktadır. Defter birçok düğüme dağılmıştır, bu da verilerin çerçevedeki her düğümde anında yansıtılmasını ve korunmasını sağlamıştır. Blokzincirde bir işlem rapor edildiğinde, işlemin tüm düğümlerinde saniyeler içinde kaydedilir, kontrol edilir ve çözülür. Herhangi bir işlem tüm defterlere şeffaf ve süresiz olarak kaydedildiğinden, herkesin kullanımına açık olduğundan, üçüncü şahıslar tarafından onaylanma zorunluluğu yoktur.

4.2.2.3 Değişmez dağıtık defterler

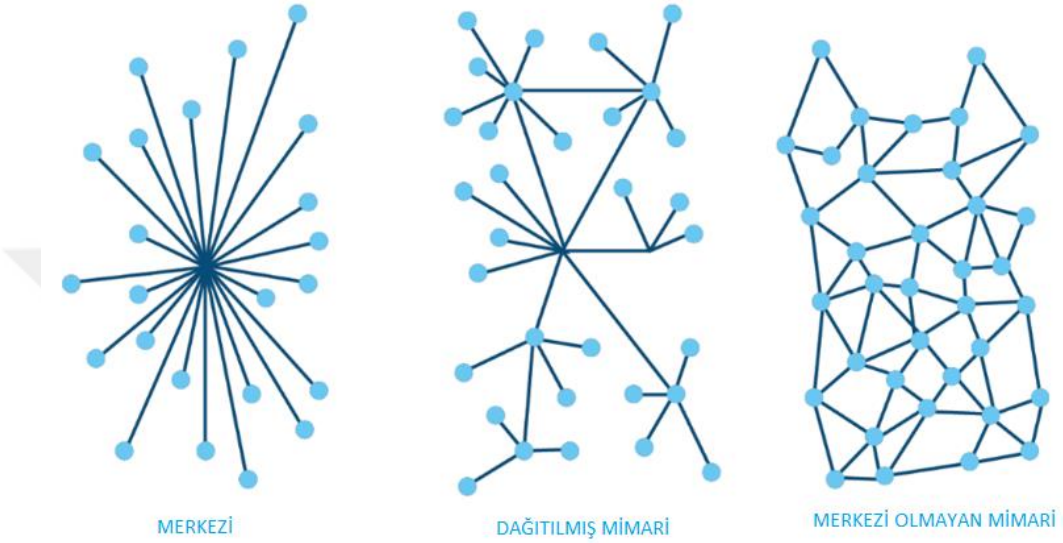
Ledger; bir sistemin tüm işlemlerini depolamasını sağlayan bir çeşit kayıt defteridir. En yalın haliyle klasik bir muhasebe defterinden (Şekil 4.12) farksızdır.



Şekil 4.12 : Klasik muhasebe defteri örneği (Defter-i Kebir).

Geleneksel kayıt defteri, muhasebecilerin, analistlerin, yatırımcıların kullandığı kayıtları, sınıflandırılıp, fonksiyonel olarak büyük defterde ayrıntılı olarak kayıt altına alınıp finansal performansı değerlendirme aşamasında başvurdukları bilgi kaynağıdır. Herhangi bir

sorunla karşılaşıldığında örneğin bir muhasebe hatası olduğunda sorunu tespit etmek amacıyla kayıt defterine bakılıp tüm hesap kaydı analiz edilerek, gözden kaçan noktalar bulunur ve böylece hatalar giderilmiş olur.



Şekil 4.13 : Merkezi, dağıtılmış mimari ve merkezi olmayan mimarinin şekli gösterimi.

Dijital bir kayıt defteri de aynı geleneksel defterdeki gibi finansal bilgilerin toplandığı, düzenli ve özet halde saklandığı dağıtık bir defterdir. Ancak en önemli farkı bu defter belirli kişi/kişilerce kontrol altında tutulmaz, kilit altında değildir ve ağa katılan tüm bilgisayarlar açıktır. Geriye dönük olarak değiştirilemezlerdir.

Şekil 4.14 : Merkezi ve dağıtık kayıt arasındaki temel farklar.

Dağıtık defterlerde birden çok kayıt defteri vardır, örneğin bir bankanın müşterileri kendi kayıtlarını tutarlar. Bir kayıt vardır, tüm "node"lar bu kayıtlara (aynı veya farklı şekilde) erişebilmektedir (Bazı sistemlerde, tüm node'larda aynı kaydın kopyası bulunur). **Şekil 4.14**'teki Banka Merkezi Kaydında "ana kaydı" tutmaktadır. "Gerçek kaydın" bankada olduğu kabul edilmektedir. Kayıtlar arasında uyumsuzluk olması halinde bankanın uygun görmesi halinde kayıt değiştirilmektedir. Düğümler (node'lar), "gerçek kaydın" ne şekilde belirleneceğine ilişkin bir protokolle karar verirler. Kayıt defteri, bir kişide tutulmadığı ve değiştirilmesi yalnızca o kişinin elinde olmadığı için, kayıt defterini tutan ve değiştiren kişiye ihtiyaç olmadan verilerin doğruluğu kontrol edilebilinir. Değişiklik yapılmak istendiğinde '*onay mekanizması*'ndaki kuralın aşılması gerekmektedir.

Saklanan verilerin her biri, birbirlerine kriptografik olarak bağlandığından dolayı değiştirilemez ve silinemez özelliğine sahiptir. Değişiklik yapılması gereken durumlarda da bir eş tarafından gerçekleştirilen değişiklik, Kriptografi sayesinde tüm kopyalara yansımaktadır. Böylece birbiriyle örtüşür şekilde veriler depolanmaya devam edecektir. Aslında blokzincirdeki kayıt defterleri, geleneksel kayıt defterlerinin teknolojik ve güvenlik seviyesi yüksek varyasyonlarıdır.

4.2.2.4 Dijital cüzdanlar

Adı gereği, bilinenin aksine bu cüzdanlar klasik bir cüzdan gibi size ait olan değerleri içinde bulundurmaz. Aslında ağ içerisinde size ait değerlere ulaşmanızı sağlayacak ve sizin siz olduğunuzu kanıtlamanızı sağlayacak veri parçalarını tutarlar. Özel (private) ve genel (public) anahtarın saklandığı yerdir. Public anahtar, cüzdanın adresidir. Yani sizin cüzdanınızın kimliğidir. Özel anahtarlar ilgili blokzincir ile direkt olarak etkileşmenizin tek yoludur.

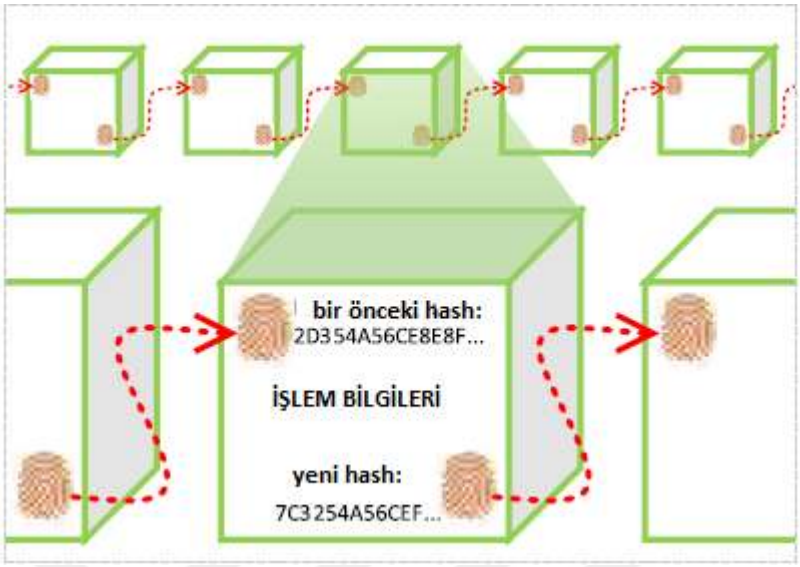
4.2.2.5 HASH algoritmaları

Değişken uzunluktaki verileri, değişken olmayan uzunlukta sayı-harf dizisine haritalamak için kullanılan kriptografik fonksiyonlardır.

4.2.3 İşlemler (Transactions)

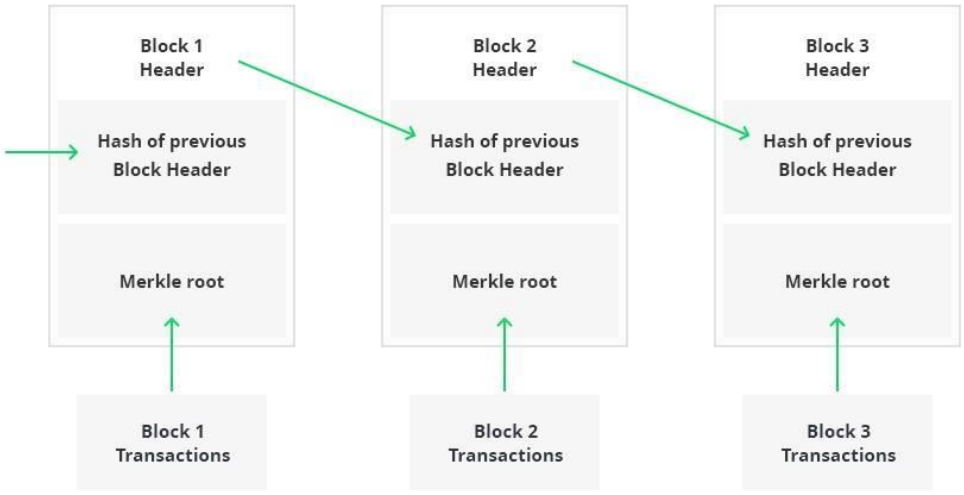
Bir blok, blokzincirdeki tüm bilgisayar sistemleri ağı boyunca çoğaltılan ve dağıtılan işlemlerin hepsinin kaydedildiği dijital bir defterdir. Blokzincir ise, işlemlerin değişmez bir kriptografik imza ile kaydedildiği bir DLT türüdür.

Blokzincir, bilgilerinin hiçbirini merkezi bir yerde saklamaz, kopyalanır ve blokzincir tüm bilgisayar ağına yayılmaktadır. Bu zincire yeni bir blok eklendiğinde, ağdaki her bilgisayara değişiklikler blokzincire güncellenerek eklenmektedir. Güncellenen her bilgi aslında birer transaction örneğidir.



Şekil 4.15 : Genel blokzincir blok yapısı.

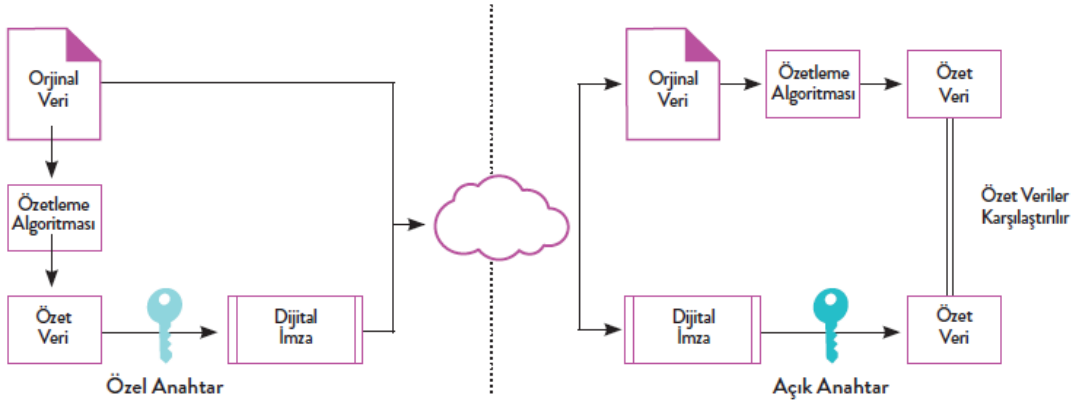
Bir kripto para birimi için işlem (transaction), blokzincir ağındaki bir varlığın bir hesaptan/cüzdandan diğerine aktarılmasına verilen isimdir. Bu kripto parayı da dijital imzalar zinciri olarak tanımlanabilir. Bu zincir her işlem yapan kişinin bir önceki işlemin dijital imzasını yani özet hash değerini kullanarak işlemi onaylar ve bir sonrakine aktararak devam etmektedir.



Şekil 4.16 : Blokzincir transaction adımları.

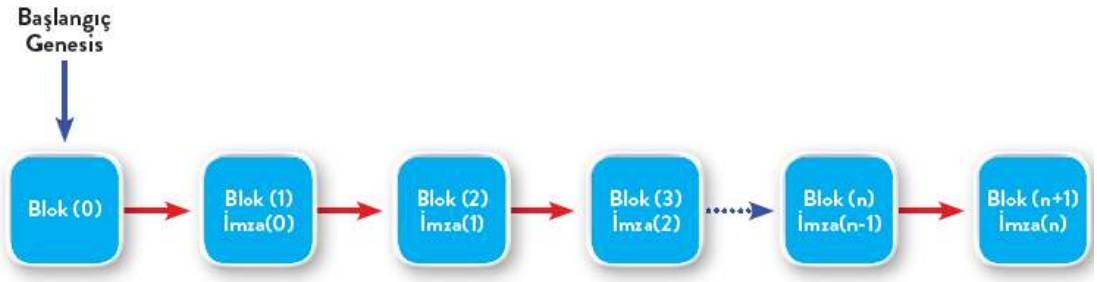
Blokzincir asimetrik ve simetrik şifreleme yöntemlerinden asimetrik şifreleme yöntemini kullanmaktadır. İsminden de anlaşılacağı üzere simetrik şifreleme yöntemi ise şifre çözme ve şifreleme işlemlerinin tek bir anahtarla yapıldığı şifreleme yöntemidir. Asimetrik şifreleme yönteminde şifreleme ve şifrelenen şifreyi çözme işlemi birbirini tamamlayıcı iki ayrı anahtar ile yapılmaktadır.

Her kullanıcı kendi özel anahtarına ve herkesin görebileceği bir açık anahtara sahiptir. Özel anahtar ve açık anahtar birleşimi ise dijital imzayı oluşturur. Açık/genel anahtar ve özel anahtar olarak adlandırılan bu anahtarlar için kullanıcı adı açık anahtar, şifre ise özel anahtar olarak işlem yapmaktadır [58]. Yani kullanıcı adı ve yapılan işlemler herkes tarafından görülmekte, şifreyi ise sadece kullanıcı görebilmektedir. Bu özellik de blokzincir teknolojisinin şeffaf olmasını sağlamıştır.



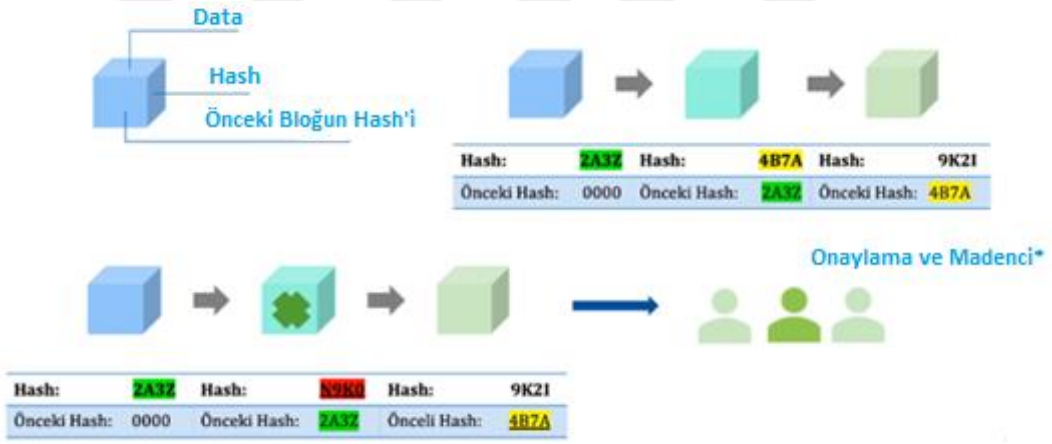
Şekil 4.17 : Dijital imza.

Dijital imza ve dijital imzanın hash fonksiyonundan geçirilir ve özet hash işlem yapılan bloğa gönderilir. Blok dijital imzayı hash koduna dönüştürüp gelen hash kodu ile karşılaştırır. Eğer hash kodları birbirine uyumlu ise işlem hatasız bir şekilde gerçekleşir. Kodlar birbirleriyle uyumlu değil ise yeni bir hash kodu oluşturulur, böylelikle taraftarlar bilgi paylaşımı yaparken birbirinin kimliğini güvenli bir şekilde doğrulayabilir. Yani hash fonksiyonları blokzincirdeki dijital parmak izleri olarak tanımlanır.



Şekil 4.18 : İlk blok (Genesis) ve yeni eklenen blokların, bir önceki bloğun Hash değerini (Dijital imzasını) takip ettiği yapı.

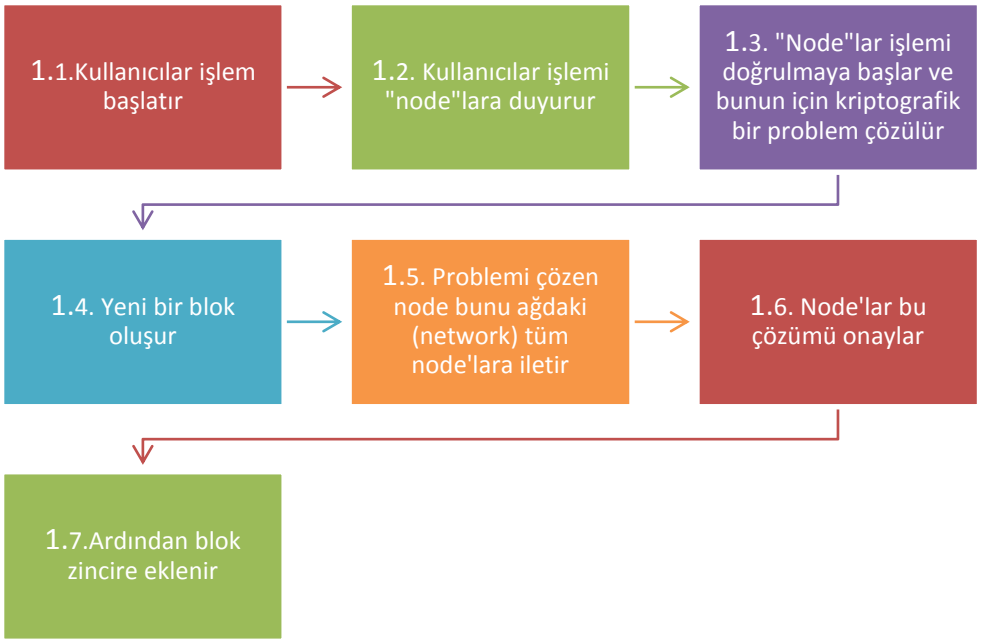
Açık Anahtar Kriptografisi (PKC), açık anahtar ile şifreleme yapılırken, özel anahtar ile ise şifre çözümleme işlemi gerçekleştirilir. PKC'den önceki sistemlerde aynı anahtarla hem şifreleme hem de şifre çözme işlemi yapılmaktaydı. PKC'nin gelmesi ile şifre çözme ve şifreleme işlemleri farklı anahtarlarla yapılmaya başlanmıştır.



Şekil 4.19 : Blokzincir hash'lerin aktarım ve onaylanması.

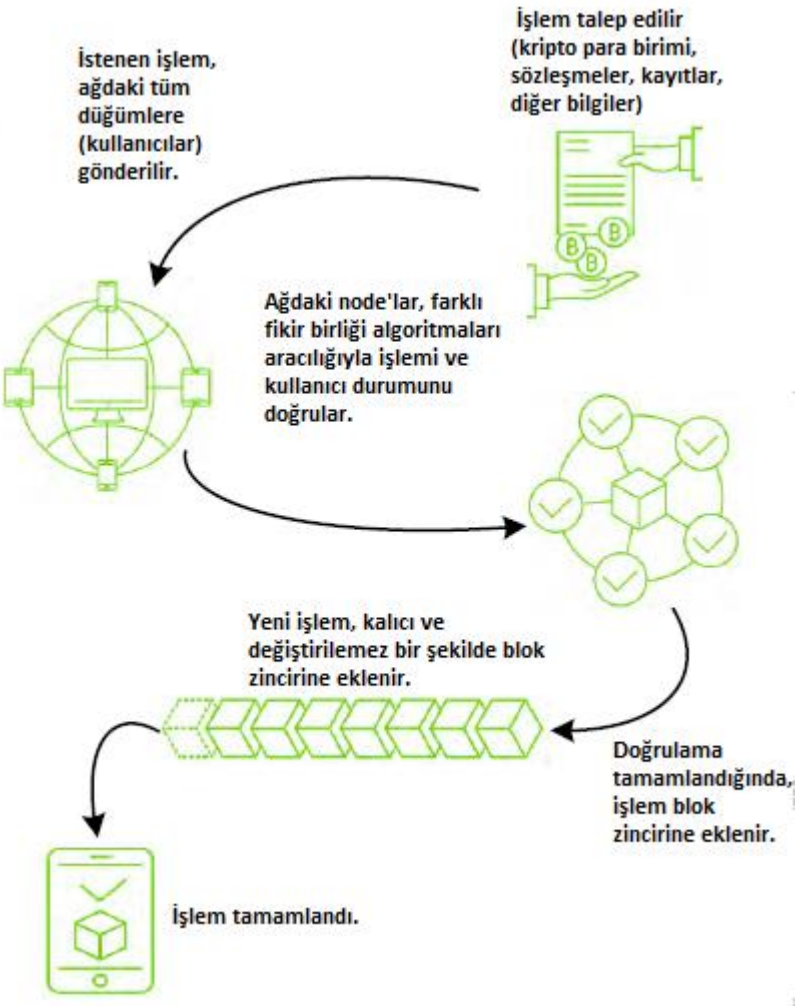
4.2.4 Yeni bir blokzincir nasıl ekleniyor?

Bir blokzincir ağına yeni bir blok eklemek için öncelikle kullanıcının bağlı olduğu zincire işlem başlatması başka bir deyişle hesap açması gerekmektedir. **Şekil 4.20** 'de gösterilen algoritmaya göre işlem devam etmektedir.



Şekil 4.20 : Yeni bir blok oluşturan işlem algoritması.

İşlem bir kripto para birimi olabileceği gibi blokzincir ile tasarlanmış tüm sistemlerde böyle çalışmaktadır. Bu bir para, akıllı sözleşme, ya da herhangi bir kayıt olabilir. **Şekil 4.21**'de gösterildiği gibi sözleşmede önce veriler kaydedilir ve tüm düğümlere dağıtılmakta ve her yeni üye zincire eklenerek devam etmektedir.



Şekil 4.21 : Blokzincir işlem basamakları.

4.3 Blokzincir Mimarileri

Blokzincir mimarisi uygulanırken mimaride gerekli koşullara göre blokzincir protokolleri seçilmelidir. Uygulamanın yapılış amacı ve dikkat edilmesi gereken şartlara uygun olarak bir algoritma belirlenmesi gerekmektedir. Blokzincir uygulamasında açık/kapalı blokzincir karar verilirken **Çizelge 4.1**'deki özellikler gözetilerek seçilmelidir.

Çizelge 4.1 : Açık/kapalı blokzincir özellikleri.

	Açık Blokchain	**Kapalı Blokchain**
Erişim	Açık	Kapalı
Kullanıcı	İzin Gerektirmeyen	İzinli
İşlem Güvenliği	Merkezsiz	Kısmen merkezsiz
Yetkili onayı	Konsensus/Kanıt Algoritmaları	Yetkili onayı
İşlem Hızı	Yavaş	Hızlı
İş verimi	Düşük	Yüksek
Yetkilendirme	Gönüllülük	Organizasyonel
Değiştirilemezlik	Tamamen	Kısmen
İşleyiş	Merkezsiz	Kısmen Merkezsiz

4.4 Blokzincir Uygulama Seviyeleri

Tüm blokzincir sistemleri aynı değildir. Çalışma şekli bir protokol tarafından belirlenir. Bir protokol temel olarak bir şeye nasıl çalışacağını söyleyen temel bir kod katmanıdır. Herhangi bir ağın yazılım temelini oluşturan programdır. Bir protokol, varlıkların bilgi iletmesine izin veren bir dizi kural olarak açıklanabilir. Örneğin internette, protokoller web sitelerinin çalışmasını sağlamaktadır. En yaygın internet protokolleri HTTP ve HTTPS'dir ancak TCP/IP ve SMTP'yi de görülebilir. Tüm İnternet uygulamaları hemen hemen kullandığımız her web sitesi bu internet protokollerinden birinde çalışmaktadır. İnternet gibi, kripto para birimlerinin de protokolleri vardır. Herhangi bir kripto para birimi; Bitcoin, Ethereum, kendi protokolüne sahiptir.

4.4.1 Protocol level blockchain

Protocol Level Blockchain çekirdek seviyede blokzincir mimarisi ve hizmeti oluşturmak/geliştirmek için kullanılmaktadır. Algoritmik seviyede blokzincir kurallarının uygulandığı katmandır. Bu bir CryptoCurrency ya da endüstriyel amaçla geliştirilmiş bir mimari de olabilmektedir. Öğrenmesi ve geliştirme süreci zor ve uzmanlık gerektirir. Low-Level Blokzincir katmanıdır. Blokzincir için protocol level programlama dilleri [59] :

C++: Performanslı ve low-level bir dil olduğu için en çok tercih edilen dillerden biridir.

Go: Performanslı ve low-level bir dil olduğu için en çok tercih edilen dillerden biridir.

Rust: Gücü ve low-level'daki avantajları (C/C++'a göre) nedeniyle tercih edilmektedir.

C#: Dil ve platform gücü nedeniyle birçok projede tercih edilmektedir.

Python: Açık kaynak kodu ve bilgi kaynakları ile gücü nedeniyle kendi Ethereum (pyethereum) uygulamasına sahiptir.

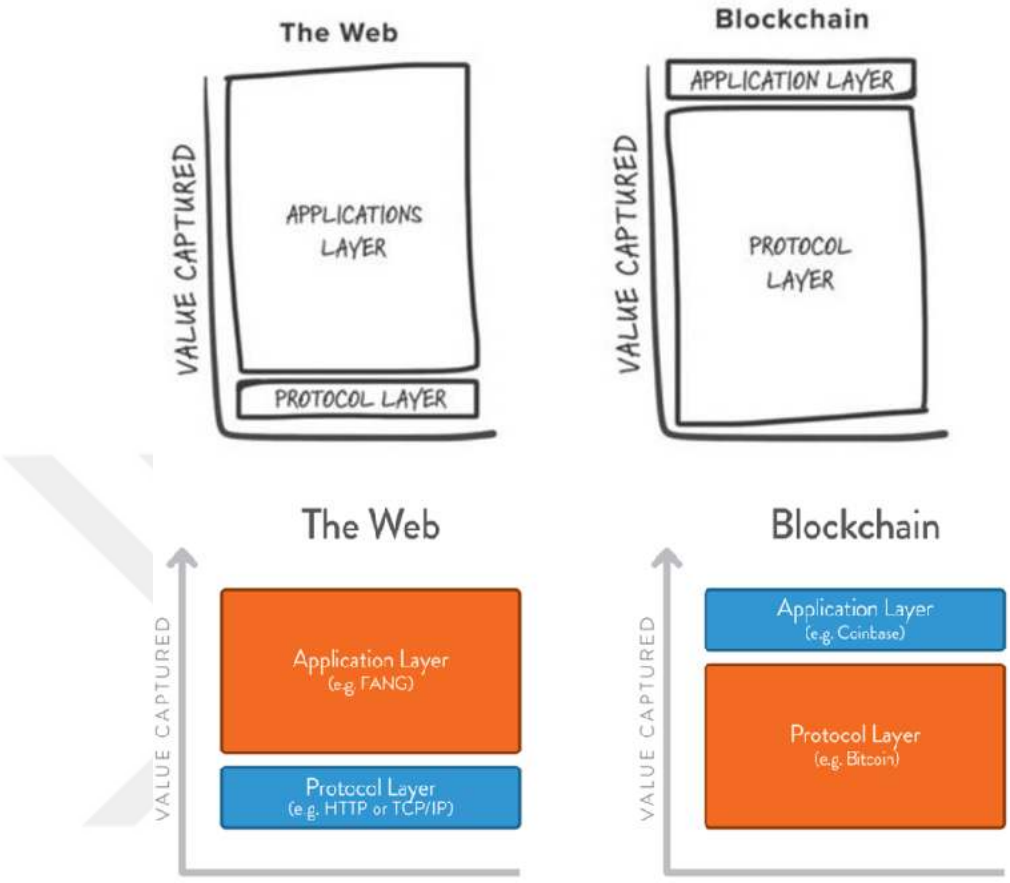
Node.js (JavaScript): Büyük protokol seviyeli blokzincir projelerinde pek tercih edilmezler.

4.4.2 Application level blokzincir (DApp)

Application Level Blockchain protokol seviyesindeki bir mimari/hizmet üzerinde çalışan blokzincir kod parçalarına denmektedir. DApp (Decentralized Application) olarak isimlendirilir. Üzerinde bulunduğu blokzincir protokolü tarafından kurallar belirlenir. Öğrenmesi ve geliştirme süreçleri göreceli olarak kolaydır. High-Level Blockchain katmanıdır.

4.4.3 Protocol level blokzincir ve application level blokzincir (DApp)

Protokol seviyeli blokzincir geliştirme ile DApp (Decentralized App) geliştirmek birbirinden çok farklıdır. Protocol Level hizmete bir işletim sistemi dersek, DApp uygulamaları o işletim sistemi üzerindeki bilgisayar programları gibidir [60]. İkisinin de amaç ve hedeflemesi, farklı olduğu gibi zorlukları ve gereklilikleri farklıdır.



Şekil 4.22 : Protocol level blokzincir ve application level blokzincir.

Çizelge 4.2 : Blokzincir uygulama katmanları ve kullanılan programlar.

Protocol Level Blockchain Örnek Girişimler	**Application Level Blockchain Örnek Girişimler**	**DApp Uygulamaları** Decentralized App(DApp)
Bitcoin • https://bitcoin.org • bitcoin.pdf(EN) • bitcoin.pdf(TR) • https://github.com/bitcoin/bitcoin, C++ **Ethereum** • https://ethereum.org/ • https://github.com/ethereum, Go **Tezos** • https://tezos.com/ • https://gitlab.com/tezos/tezos, F# **NEO** • https://neo.org/ • https://github.com/neo-project, C# **HyperLedger** • https://www.hyperledger.org/ • IntroductiontoHyperLedger • https://github.com/hyperledger, Go, Rust **Corda** • https://www.corda.net/ • https://github.com/corda/corda, Java	**Etherem**, Solidity Programming Language • https://ethereum.org/ • https://ethereum.org/developers/#smart-contract-languages • https://geth.ethereum.org/ **Solidity** • https://github.com/ethereum/solidity • https://solidity.readthedocs.io/en/v0.6.3/	**NEUFUND**: https://neufund.org/ **Aion Network**: https://aion.network/ **SingularityNET**: https://singularitynet.io/ **Santiment**: https://santiment.net/ **OpenZeppelin**: https://openzeppelin.com/contracts/ **IoTex**: https://www.iotex.io/ **Civil** : http://joincivil.com/ **Metamask**: https://metamask.io/ **OmiseGO** : https://omisego.network/ **TrustWallet**: https://trustwallet.com/ **Gnosis**: http://gnosis.pm/ **Raiden Network**: https://raiden.network/ **High Fidelity**: https://highfidelity.com/ **Ox**: https://0x.org/ **Origin Protocol**: https://dapp.originprotocol.com/#/ **Aragon**: https://aragon.org/discover/ **Cosmos**: https://cosmos.network/ **Augur** : https://www.augur.net/ **Storj** : https://storj.io/ **Status**: https://status.im/

4.4.4 Dağıtılmış blokzincirin ayırt edici mimari özelliği

Blokzincir, onu benzer teknolojilerden farklı kılan birkaç özelliğe sahiptir. Bu ayrımlar (Nakamoto, 2008):

Merkezi olmayan: Blokzincir işlemlerini yürütmek için merkezi yönetime gerek yoktur. Aracı, kurumlar ve onların ek maliyetlerini aradan çıkartmıştır.

Esneklik: Blokzincirin ademi merkezileştirilmesi, onu olası saldırılara karşı dirençli hale getirmiştir.

Değişmezlik: İşlenmiş bir veri değiştirilemezdir.

Zaman Azaltma: Bir aracıya ihtiyaç duymadan blokzincir tarafından gerçekleştirilen hızlı işlemler, günümüzde mevcut olan en hızlı teknolojilerden biri olmasını sağlamıştır.

Güvenilirlik: Bu, blokzincirde yeniden kodlanmış ayrıntılı ve değiştirilemez geçmişle sağlanmıştır.

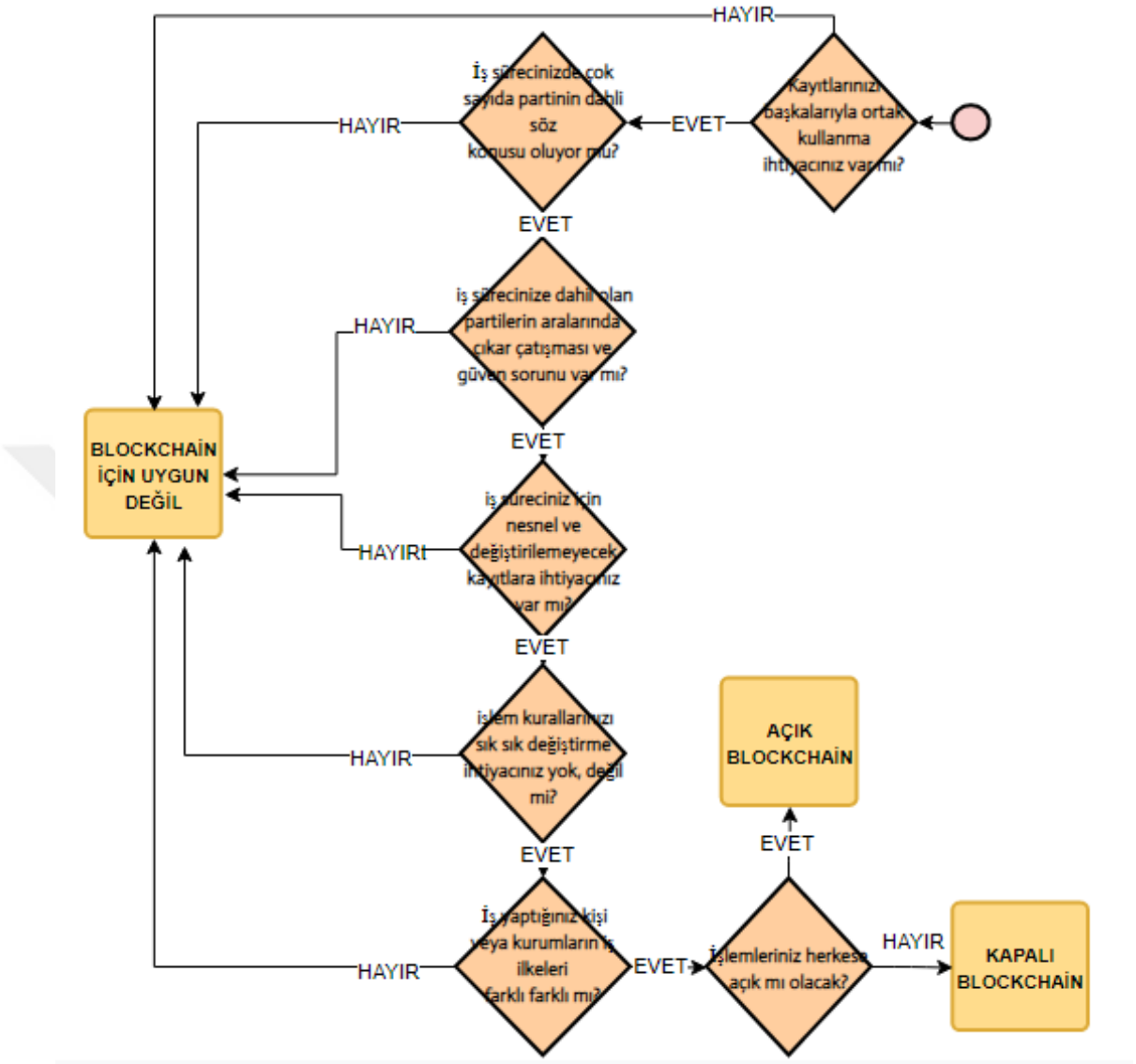
Dolandırıcılığın Önlenmesi: Bu, tüm blokzincir kullanıcıları arasında mutabık kalınan paylaşılan bilgi ve fikir birliği süreci ile garanti edilmektedir.

Güvenlik: Dağıtılmış mimari ile blokzincire saldırmak, hepsi yok olmadığı sürece olası bir senaryo değildir.

Şeffaflık: Tüm değişiklikler ve işlemler tüm blokzincir kullanıcıları ile paylaşılır. Yıllar önce gerçekleştirilen ilk Bitcoin hesabından bugüne kadar gerçekleşen tüm transferler herkes tarafından görülmektedir.

4.5 Gerçekten Bir Blokzincire İhtiyacım Var Mı?

Bütün sistemler blokzincire dönüşür mü ya da hangi sistemler blokzincir tabanlı yazılabilir **Şekil 4.23'**teki algoritma ile blokzincir gerekli mi, hangi tür blokzincir uygulanmalı basit bir algoritma ile gösterilmiştir.



Şekil 4.23 : Bir uygulamanın blokzincir için uygun olup olmadığını gösteren algoritma.

5. AKILLI SÖZLEŞMELER

5.1 Akıllı Sözleşme (Smart Contract) Nedir?

Bu kavram aslında yeni bir kavram değil, 1998'de "Bit Gold" adlı sanal bir para birimini icat eden Amerikalı bir bilgisayar bilimcisi olan Nick Szabo, akıllı sözleşmeleri, bir sözleşmenin şartlarını yerine getiren bilgisayarlı işlem protokolleri olarak tanımlamış ve buna en güzel örneği, akıllı sözleşmelerin ilkel atası olarak değerlendirilen otomatları göstermiştir [61].

Kripto sözleşmesi olarak da bilenen akıllı sözleşme, alıcı ve satıcı arasındaki sözleşmenin şartlarının doğrudan kod satırlarına yazıldığı, kendi kendini yürüten bir sözleşme türüdür. Genellikle bir anlaşmanın kendi kendine yürütülmesi için kullanılmaktadırlar. Böylece tüm katılımcılar aracısız veya zaman kaybı olmaksızın işlemlerini gerçekleştirebilirler. Bu sözleşmeler, bitcoin ve diğer kripto para birimlerini de destekleyen merkezi olmayan bir dağıtılmış defter olan blokzincir teknolojisinde saklanır bu nedenle değiştirilemezler.

Çoğunlukla kullanım alanı kısacası dijital varlığa dönüştürülebilen her varlığın alımı, satımı, transferi, ödünç verilmesi vs. olan akıllı sözleşmelerin her şartı bir bilgisayar programının denetiminden geçmekte ve sözleşmenin uygulanması da süreç tarafından otomatik olarak gerçekleşmektedir. Blokzincirin kullanılmaya başlaması ile zincirin doğrulama unsuru güvensiz paydaşlarla olan işlemlerin güvenli hale gelmesini sağlamıştır. Özellikle sözleşme taraflarının çok sayıda olduğu ve birbirlerine güvenlerinin tam olmadığı durumlarda bu uygulama çok uygundur (Würst ve Gervais, 2017).

5.2 Akıllı Sözleşmelerin Avantajları Nelerdir?

Sözleşmeler, insanlar birbirleriyle iş yaptıklarından beri vardır. Bir sözleşme genellikle yasalarca uygulanan iki veya daha fazla taraf arasında bağlayıcı bir anlaşmadır. Büyük sözleşmelerin çoğu, karmaşık bir dile sahip uzun, zahmetli, ayrıntılı belgeler olup bunları

uygulamak ve gerekirse savunmak için avukatlara ve danışmanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Akıllı sözleşmeler özellikle aracıdan bağımsız kendiliğinden işleyen bir model sunmaktadır. Bununla birlikte akıllı kontratlar geleneksel düzenlemelere göre birçok avantaja sahiptir.

- ✓ **Güvenlik:** Akıllı sözleşmeler dijital para birimlerinin kullandığı standartla aynı olan ve şu anda mevcut olan en yüksek veri şifreleme düzeyini kullanmaktadır.
- ✓ **Şeffaflık:** Dağıtık defter teknolojisiyle, ilgili tüm taraflarca sözleşme şartları tamamen görünür ve erişilebilir durumdadır.
- ✓ **Güven:** Sözleşmenin şeffaf, özerk ve güvenli yapısı, her türlü manipülasyon, önyargı veya hata olasılığını ortadan kaldırmıştır.
- ✓ **Dayanıklılık:** İnsan kaynaklı hatalara karşı daha dayanıklıdır.
- ✓ **Hız:** İşlemeleri yavaşlatan onaylama basamaklarını yazılım kodu üzerinden otomatik çalıştırdığından işlemler çok hızlı gerçekleşecek ve iş süreci kısalacaktır.
- ✓ **Doğruluk:** Akıllı sözleşmede yapılan işlemlerin tüm hüküm ve koşulları açık ve ayrıntılı bir şekilde kaydetmektir.
- ✓ **Verimlilik:** Birim zaman başına işlenen daha fazla değer üreten işlemlerle sonuçlanan sistemler için verimlidir denir. Hızının ve doğruluğunun doğal bir yan ürünüdür.
- ✓ **Çevre dostu:** Akıllı sözleşmeler, yazılım ortamında işletildiği için özellikle kâğıt tüketimini azaltacaktır**.**
- ✓ **Daha ucuz işlem:** Özellikle büyük sözleşmeler için gerekli olan avukatlar, tanıklar, bankalar gibi aracılar zincirine olan ihtiyacı ortadan kaldıracaktır.
- ✓ **Depolama ve Yedekleme:** İşlemlerin ayrıntıları kaydedilir. Bu nedenle, bilgileriniz bir sözleşmede kullanıldığında, gelecekteki kayıtlar için kalıcı olarak saklanmaktadır. Herhangi bir veri kaybında diğer kayıtlardan kolayca temin edilebilmektedir.
- ✓ **Açık İletişim:** Taraflarca gerçekleşebilecek yanlış/eksik iletişim veya yorumlamaya yer bırakmaz.

5.3 Akıllı Sözleşmeler İçin Blokzincir Platformları

Blokzincir teknolojisiyle hız kazanan akıllı sözleşmeler birçok platform üzerinden oluşturulabilmektedir. Bunlardan en yaygın kullanılanlarına kısaca değinirsek:

Ethereum Akıllı Sözleşme: Kurulumu ücretsizdir. Sözleşme işlemleri gas olarak tahsil edilmektedir. Kendi akıllı sözleşme dili olan Solidty kullanılmaktadır. En çok tercih edilen platformlardan biridir.

Nem Akıllı Sözleşme: 2015 tarihinde piyasaya sürülmüştür. Programlama dillerinden biri olan Java ile yazılır. Kendine özel bir programlama dili yoktur. Ölçeklenebilirdir. Ancak daha az "merkezi olmayan" bir yapı olmasını engelleyen bir kod zincirini kullanmaktadır.

Hyperledger Fabric Akıllı Sözleşme: Hyperledger projesi Linux Vakfı tarafından 2015'te kurulmuştur. Açık kaynaklı ve ücretsiz bir projedir. IBM tarafından desteklenmektedir. Sözleşmelerin farklı dillerde yazılmasını sağlamaktadır.

Stellar Akıllı Sözleşme: Stellar, 2014 yılında kurulmuştur. ICO'lar için idealdir. Nem kadar kolay değil ama Ethereum'a kıyasla daha ucuz bir platformdur. Ancak karmaşık sözleşmeler için uygun olduğu söylenemez hala geliştirilmeye devam edilmektedir.

Bu tez çalışmasında Ethereum tabanlı Solidty dili ile akıllı sözleşme yazılacaktır.

5.3.1 Ethereum nedir?

Ethereum, ilk olarak Vitalik Buterin tarafından 2013 yılında önerilmiştir. 2015 yılında ise Buterin ve ekibi tarafından dünyanın en önde gelen programlanabilir blokzincir oluşturulmuştur. Ethereum blokzincir, esasen işleme dayalı bir durum makinesidir. Bilgisayar biliminde durum makinesi, bir dizi girdiyi okuyacak ve bu girdilere dayanarak yeni bir duruma geçecek bir şeyi ifade etmektedir. Ethereum, blokzincir teknolojisi üzerine inşa edilmiş açık kaynaklı, merkezi olmayan bir bilgi işlem platformudur [62]. Ethereum kendine ait bir parası ether (ETH) ile kripto para birimi hem de bir kripto para işletim sistemidir. Diğer kripto para birimleri gibi, ethereum da küresel olarak ve üçüncü bir tarafın müdahalesi, izlemesi veya devreye girmesi olmadan varlık/değer göndermek ve almak için kullanılmaktadır. Özellikle merkezi olmayan uygulamalar (DApp) oluşturmasına ve yüklemesine izin veren merkezi olmayan bir sistem olup aynı zamanda kendisine ait Solidty dili ile akıllı sözleşme işlevselliği sunan bir programlama dilidir. Yani Ethereum, blokzincir tabanlı, akıllı kontrat işlevi olan açık kaynak kodlu platformdur.

Ethereum'un fikri, günümüzde internetteki uygulamaların çalışma şeklini değiştirmek ve aracıları kuralları otomatik olarak uygulayan akıllı sözleşmelerle değiştirerek kullanıcılara

daha fazla kontrol sağlamaktır. Birçok savunucu, Ethereum interneti merkezsizleştirebilecek bir "dünya bilgisayarı" olarak görmektedir. İnternetin mucitleri de dahil olmak üzere pek çok kişi, internetin her zaman ademi merkeziyetçi olması gerektiğine inanmaktadır. Ethereum, bu harekete katılacak teknolojilerden biridir. Ethereum kurucuları ise, bitcoini "1. Nesil Blokzincir", Ethereum'u ise "2. Nesil Blokzincir" olarak tanımlamaktadırlar.

5.3.1.1 Ethereum ne için kullanılabilir?

Ethereum, geliştiricilerin kesinti, dolandırıcılık veya üçüncü bir tarafın müdahalesi olmadan kullanılabilecek akıllı sözleşmeler ve dağıtılmış uygulamalar (dapps) oluşturmasını ve yayınlamasını sağlamak için oluşturulmuştur. Ethereum, blokzincir geliştiricilerin merkeziyetsiz uygulamaları oluşturmasına ve dağıtmasına ortam oluşturmaktadır [63]. Merkeziyetsiz uygulamalar bir blokzincir ağı üzerinde çalışan koddan oluştuğu için herhangi bir birey veya merkezi varlık tarafından kontrol edilemezler.

5.3.1.2 Ethereum nasıl çalışır?

Ethereum Solidty ile yazılan bir akıllı sözleşme basitçe Ethereum blokzincirde çalışan bir programdır. Akıllı sözleşmeler bir tür ethereum hesabıdır. Bu, bir bakiyeleri olduğu ve ağ üzerinden işlem gönderebilecekleri anlamına gelmektedir. Ancak bir kullanıcı tarafından kontrol edilmezler, bunun yerine ağa dağıtılırlar ve programlandığı gibi çalışırlar. Akıllı sözleşme kodunu fiilen yürütmek için, birinin işlem ücreti olan yeterli etheri göndermesi gerekmektedir. Ne kadar gerekli bilgi işlem kaynaklarına bağlıdır.

5.3.1.3 Gas nedir?

Ethereum blokzincirde gas, ağda bir işlemi başarıyla gerçekleştirmek veya Ethereum blokzincir platformunda bir sözleşme yürütmek için gereken ücreti veya fiyatlandırma değerini ifade etmektedir. Madenciler, akıllı sözleşmeleri ve diğer işlemleri işlemek için gereken ağın hesaplama gücü için arz ve talebe dayalı olarak gas fiyatını belirler. Her akıllı sözleşme uygulamasında, madencileri blokzincire girmek için ikna etmek üzere belirli bir miktar 'gas'ın gönderilmesini gerektirir. Örneğin bir bankada bulunun paranızın X tutarını hesabınızdan arkadaşınızın hesabına taşımak size Y lira işlem ücretine mal olsun; bu durumda X, fayda değerini belirtirken Y, finansal işlem sürecini gerçekleştirme maliyetini gösterir.

Gas ücretleri, Ethereum blokzincirdeki işlemleri işlemek ve doğrulamak için gereken bilgi işlem enerjisini telafi etmek için kullanıcılar tarafından yapılan ödemelerdir. Gas fiyatları, *gwei* adı verilen eterin küçük fraksiyonlarından hesaplanan bilinen kripto para birimi akıllı sözleşmeler gibi merkezi olmayan uygulamaların güvenli bir şekilde kendi kendine çalışabilmesi için Ethereum Sanal Makinesinin (EVM) kaynaklarını tahsis etmek için kullanılır. "Gas limiti", belirli bir işlem için harcamak istediğiniz maksimum gas (enerji) miktarını ifade etmektedir. Daha yüksek bir gas limiti, ETH veya akıllı sözleşme kullanarak bir işlemi gerçekleştirmek için daha fazla iş yapmanız gerektiği anlamına gelmektedir. Gas'ın tam fiyatı, ağın madencileri tarafından belirlenir ve bu madenciler, gas fiyatı eşiklerini karşılamazsa bir işlemi gerçekleştirmeyi reddedebilir.

5.3.1.4 Ethereum sanal makinesi

Ethereum ağ yapısında her makine Ethereum Virtual Machine (EVM) adı verilen bir sanal makine tarafından sağlanan özel üst seviye programlama dilleri (Solidity, Viper, Serpent gibi) ile yazılmış herhangi bir uygulamanın ethereum yapısı üzerinde çalışmasına ortam sağlamaktadır.

Ethereum, öncelikle akıllı sözleşmelerin yürütülmesiyle ilgilenen merkezi olmayan bir platformdur. Bu sanal makineler esasen yürütülen kod ve yürüten makine arasında bir soyutlama düzeyi oluşturur. Bu katman, yazılımın taşınabilirliğini artırmak ve uygulamaların birbirinden ayrıldığından ve ana bilgisayarlarından ayrıldığından emin olmayı sağlamaktadır. Bu platform, çeşitli uygulamaların yazılmasına olanak sağlıyor olsa da şu andaki yapısı ile özellikle P2P gibi otomatikleştirmeyi veya bir ağ üzerinden koordine edilen karmaşık finansal sözleşmeleri kolaylaştırmayı hedefleyen uygulamalar için çok uygundur.

EVM, blokzincir teknolojisiyle uygulama oluşturma sürecini kolay ve verimli hale getirmektedir. Ethereum, binlerce farklı uygulamanın hepsinin tek bir platformda geliştirilmesini sağlamaktadır.

5.4 Akıllı sözleşmenin yapısı

Akıllı sözleşmeler, kullanıcı tarafından gönderilen işlemlerin işlenmesi sonucunda blokzincir sisteminde düğümler (node) tarafından yürütülmektedir. Blokzincir ağındaki herhangi bir düğüme bir işlem gönderilebilir, bu da onu tüm ağa yayınlar, böylece tüm düğümler işlemi görmüş olacaktır.

Sözleşmeler birden çok fonksiyondan oluşur ve bu fonksiyonlar akıllı sözleşmelerin dışarıya açılan kapılarıdır. İlgili işlem yapılmak istendiğinde bu fonksiyonlar çağrılmaktadır [62]. Bu tez çalışmasında akıllı sözleşmeler için fonksiyon geliştirmeyi destekleyen dillerden biri olan Solidity kullanılmıştır.

Solidity ile yazılan kodlar derlenip bytecode'a çevrilir ve akıllı kontrat olarak Ethereum blokzincire transaction olarak gönderilir. Gönderilen kod Ethereum Virtual Machine (EVM) üzerinde çalışarak kodlandıkları işleri yaparlar. Solidity ile yazılan akıllı sözleşme için bir IDE (Integrated Development Environment) gereksinimi olacaktır, bu da Remix editörü ile gerçekleştirilir. Remix dışında çeşitli editörler de mevcuttur (Visual Studio, Atom, Vim, IntelliJ, …). Bu tez çalışmasında Remix kullanılmıştır. Remix, Solidity dili ile ethereum akıllı sözleşmeleri oluşturup test edebilmemize imkân tanıyan browser tabanlı bir IDE'dir. Online olarak https://remix.ethereum.org/ internet sayfasından ya da uygulamayı bilgisayara indirilip kurularak da sözleşmeler yazılabilinir.

5.4.1 Solidty

Solidity, Ethereum Sanal Makinesi (EVM) üzerinde akıllı sözleşmeleri geliştirmek için oluşturulmuş programlama dillerinden biridir. Solidity geliştirilirken JAVA, C++ ve Phyton dillerinden esinlenilmiştir [64]. Nesneye dayalı bir programlama dili olup akıllı sözleşme geliştirebilmek için Ethereum tarafından oluşturulmuş öğrenilmesi kolay popüler bir dildir. Burada yazılan sözleşmeler Ethereum Sanal Makinesi üzerinde çalıştırılır ve diğer düğümlere dağıtılır.

Solidity'deki sözleşmeler, nesne yönelimli dillerdeki sınıflara benzemektedir. Her sözleşme, Durum Değişkenleri , İşlevler , İşlev Değiştiriciler , Olaylar , Hatalar , Yapı Türleri ve Enum Türleri bildirimlerini içerebilmektedir. Sözleşmeler diğer sözleşmelerden miras alabilir. Ayrıca kütüphaneler ve arayüzler adı verilen özel sözleşme türleri de vardır.

- **Durum değişkenleri (State Variables):** Değerleri kalıcı olarak sözleşme deposunda saklanan değişkenlerdir.
- **Fonksiyonlar (Functions):** Fonksiyonlar, çalıştırılabilir kod birimleridir. İşlevler genellikle bir sözleşme içinde tanımlanır, ancak sözleşmelerin dışında da tanımlanabilirler ve diğer sözleşmelere karşı farklı görünürlük seviyelerine sahip olabilirler.
- **İşlev Değiştiriciler (Function Modifiers):** İşlevlerin anlamlarını bildirimsel bir şekilde değiştirmek için kullanılabilir.
- **Olaylar (Events):** EVM günlüğe kaydetme olanaklarıyla kolaylık sağlayan arayüzlerdir.
- **Hatalar (Errors):** Hata durumları için açıklayıcı isimler ve veriler tanımlanmasına olanak sağlarlar. Dize açıklamalarına kıyasla, hatalar çok daha ucuzdur ve ek verilerin kodlanmasına izin verilir. NatSpec'i kullanarak hatayı kullanıcıya açıklana bilinmektedir.
- **Struct Türleri (Struct Types):** Yapılar, birkaç değişkeni gruplayabilen özel tanımlı türlerdir.
- **Enum Türleri (Enum Types):** Enum'ler, sonlu bir 'sabit değerler' kümesiyle özel türler oluşturmak için kullanılabilir.

Yazılım dünyasında tehdit unsuru olabilen her türlü saldırı akıllı sözleşmeler için de mevcuttur. Özellikler siber korsanlar tarafından sıklıkla hedef olarak seçilmektedirler. Bundan dolayı, üzerinde herhangi bir hata barındırmayacak şekilde akıllı sözleşmeler geliştirmek önem arz etmektedir. Akıllı sözleşmelerdeki açıklar, istenmeyen durumların önüne geçebilmek için statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılarak tespit edilebilinir.

6. ENERJİ TİCARETİ WEB SAYFASI VE AKILLI SÖZLEŞME UYGULAMASI

2008 yılında yayınlanan Nakamato'nun Bitcoin makalesiyle (Nakamoto, 2008) başlayan blokzincir teknolojisini birçok platformda uygulamak mümkündür. Blokzincir ile tasarlandığında fayda sağlayacak alanlar uygulanmaya ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bugün pek çok alanda uygulanan veya uygulanmak üzere olan tasarımlar, geliştiricilerin de yardımıyla daha kolay adapte edilebilen sistemler tasarlamak artık daha kolay ve mümkün hale gelmiştir. Özellikle P2P ticareti uygulamalarında aracıdan bağımsız, onaylama mekanizmasında sağlayacağı hız ve dağıtılmış defter teknolojisiyle şeffaflığı vadeden bu sistem; devletlerin yasalarla güvence altına aldığı, kendi kripto ödeme yöntemleriyle entegre edilmiş yeni bir teknoloji olma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu tür sistemlerin yatırımcılarla beraber bireysel katılımın artması ve güvence altına alınması için yasalarla desteklenmesi ve devlet tarafından güvenilir bir ödeme yönteminin sunulmasıyla mümkün olabileceğini ve uygulamaların hem küresel pazara katkısını gözetip hem de bireysel kazanca dönüşebilmesi için adrese dayalı bir ödeme yöntemi önerilmiştir.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve depolama sistemlerinin gelişmesiyle birçok ülkede tüketiciler hem kendi enerjisini üretmekte hem de santrallere enerji satışı yapılmaktadır. Uzun iletim hatlarındaki kayıpla da başa çıkmaya çalışan bu sistemde, kayıp tüketiciye ekstra maliyet olarak yansımaktadır. Enerji santrallerinin kendi maliyetlerini de düşünürsek evinde enerji üreten ve bunu piyasaya satan kullanıcının fiyatlandırma standardı hala tartışılmaktadır. Blokzincir teknolojisiyle, özellikle her kullanıcının prosumer olabilmesi komşusundan alacağı enerji fiyatı ve santralden alacağı enerjinin fiyatının görünürde eşit ama adil olmayacağını düşünerek enerji talebinde bulunan kişiye en yakın enerji sağlayıcıdan en ucuz enerjiyi temin edebileceği bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem için herhangi bir dijital varlık ile ödeme yapıldığı gibi gelecekte devletlerin kendi kripto paralarıyla da ödenebileceği bir sistem düşünülmüştür. Hala gelişmekte olan bu teknolojinin birçok eksiği olduğunu,

yasalarca güvence altına alınması gerektiğini kabul etsek de bu teknoloji yakın gelecekte hayatımızın büyük bir parçası olacağı düşünülmektedir.

Bu projenin yapılmasındaki ana amaç yenilenebilir enerji kaynaklarının bireysel kullanımını artırmak, aracıdan bağımsız ucuz ve güvenilir enerji sağlamak, santrallerden bağımsız her çevrenin kendisine uygun yenilenebilir enerji kaynaklarıyla oluşturulmuş kendi kendine yetebilen mikro şebekeler oluşturup ana şebekenin yükünü azaltmaktır. Böylelikle daha temiz enerji kaynaklarının artışıyla karbon salınımlarını azaltıp, kullanıcının kendi mikro şebekesinden enerji alım /satımına teşvik edilmiş olacaktır.

Bu ağın geliştiğini ve yaygınlaştığını düşündüğümüzde ise küresel pazarda enerji ticaretini ülkeler arasında sınırlardan bağımsız bir ticaret ağına dönüştürme potansiyelinin de çok yüksek olduğu görülmektedir. Böylece sınır, vatandaş ayrımına bakılmaksızın temiz enerjiye ulaşımın kolaylaştığı ve enerji sömürgesinden bağımsız, adil bir ödeme sistemi ortaya çıkmaktadır. Hiç şüphesiz bu sistemin adil ve doğru çalışabilmesi için ülkelerin ortak bir konsensüs ile yasalara bağlı bir kurulum gerektirdiği belirtilmelidir. Ancak herkesin kabul edebileceği bir sözleşmenin varlığından sonra kullanıcılar sisteme güvenebilir ve bu zincire katılabilir. Çünkü bu sistemde kendi kendine gerçekleşmesini sağlayan akıllı sözleşmeler yazılımcının mükemmelliğiyle orantılıdır. Buradaki kasıt, yazılım sözleşmesi ne kadar kapsamlı ve yasalarca destekli olursa sistem de o kadar kusursuz işleyen bir sistem olacaktır.

Bu tez çalışmasında akıllı şebeke elemanlarından nesnelerin interneti (IoT) teknolojisiyle alınan verilerin blokzincir ile entegre edilip akıllı sözleşmelerle enerji kaynağına olan uzaklığa endeksli bir ödeme yöntemini öneren bir tasarım sunulmuştur.

6.1 Python Blokzincir Oluşturma

Blokzincir teknolojisi en sade haliyle birbirine bağlı veriler zincirini ifade etmektedir. Her bloğun bir önceki blokla entegre olup diğer katılımcıların onayıyla ağa katılımının mümkün olduğu bu sistemde temel bileşenler 4. Bölümde detaylı şekilde anlatılmıştır. Bu bileşenleri kendi kendine oluşturan Python programı ile basit bir blokzincir tasarlanmıştır. İstenilen sayıda blok oluşturacak şekilde oluşturulan algoritma:

1. İlgili fonksiyonları çağır (zaman damgasını, hash algoritmaları).
2. Blokta bulunmasını istediğin verileri tanımla.

3. Zinciri oluştur.
4. Blokzinciri yazdır.

Bölüm 4'te de belirtildiği gibi bloklar block header ve datadan oluşmaktadır. Blok başlığı ise zaman damgası, bir önceki hash değeri ve Merkle kök değerinden oluşur. Öncelikle zincirde zaman damgasını, hash algoritmalarını programa aktarılır ve değişkenleri belirlenir (Şekil 6.1).

```python
blockchain.py > ...
# İstenen sayıda blok oluşturabilen PYTHON kodu
#timestamp zaman damgasını ve
# hash algorimaları oluştur
import datetime
import hashlib

#blokta yer alacak verileri tanımla

class Block:

    block_No = 0  # blok sayısı
    data = None  # blokta saklanan veri
    next = None
    nonce = 0
    hash = None
    previous_hash = 0x0
    timestamp = datetime.datetime.now()

```

Şekil 6.1 : Python programı ile Blokzincir veri tanımlama.

Ek A'da bulunan Python kodunu çalıştırdığımızda ilk iki bloğun değerleri **Şekil 6.2**'deki gibidir.

```
--------------
index: 0
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Genesis
Previous Hash: 0
Block Hash: 7be98b67ae6f9e0d996c86ee335a05e84841691d1d59d83382d57af6f6e7596c
Hashes: 0
--------------
index: 1
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 1
Previous Hash: 7be98b67ae6f9e0d996c86ee335a05e84841691d1d59d83382d57af6f6e7596c
Block Hash: c8a40e250cf9a2c4eb723a9a7e719c6efb91698ff972adb346b24cdf6670fcf4
Hashes: 1870804
--------------
index: 2
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 2
Previous Hash: c8a40e250cf9a2c4eb723a9a7e719c6efb91698ff972adb346b24cdf6670fcf4
Block Hash: 2b9de105457cab36b15d53a56e46d930b5a0baf668299935ffa3577a42bd6d52
Hashes: 1168587
--------------
```

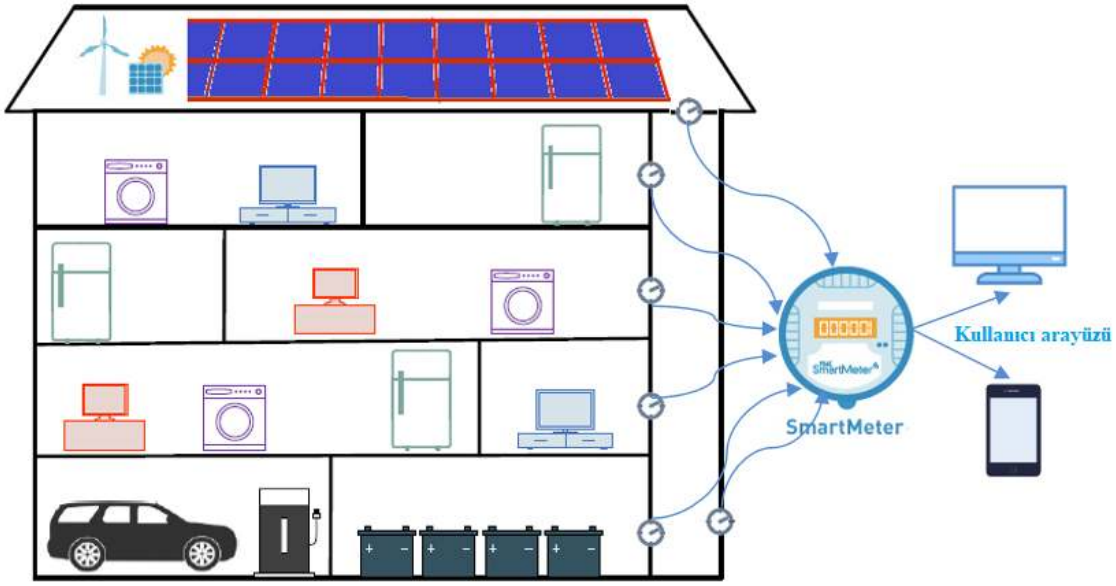
Şekil 6.2 : Genesis başlangıç bloğundan başlayan ilk ve iki bloğun verileri.

Blokzincir teknolojisini özel kılan zaman damgası ve hash değerlerini **Şekil 6.2** 'de görülebilmektedir. Burada oluşturulan her bloğun hash değeri ve zaman bilgisi o bloğa özel ve değiştirilemez değerlerdir.

6.2 Sistem Çalışma Prensibi

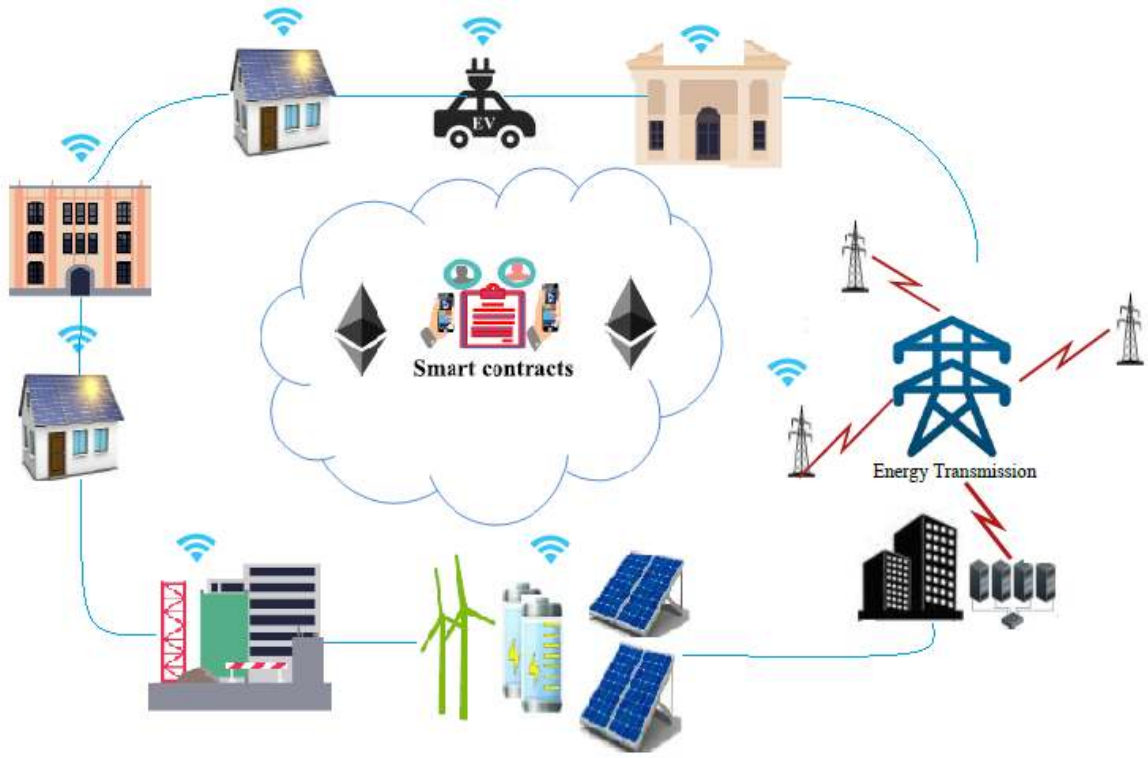
Nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin büyük ölçüde artmasını sağlayan 5G ve şüphesiz akıllı sayaçların bu süreçteki gelişimi enerji ticareti için büyük kolaylık sağlamaktadır. Akıllı sayaçlar sistemde üretici/tüketici farketmeksizin kurulan çift yönlü haberleşme ile enerji sektörü eskisinden çok daha dinamik ve dijital hale gelmektedir. Bu ise blokzincir tabanlı kurulmak istenen prosumer kullanıcı ya da şimdiki ifadeyle tüketici ve üretici arasında oluşacak enerji alışverişini, yenilenebilir ve depolanabilir enerji sayesinde çok yönlü bir alışveriş ağına dönüştürmüştür. Örneğin bir prosumer (üreten-tüketici) evinde kurmuş olduğu fotovoltaikler ile elektrik üretebilmekte, sonra da şebekeden elektrik tüketebilmektedir. Çift yönlü iletişim yapabilen sayaçlar şebekeye ne kadar elektrik enerjisi satıldığını ve şebekeden ne kadar elektrik tüketildiğini hesaplama imkânı sunmaktadır. Kullanıcı kendi ürettiği elektriği akıllı kontratlarla kontrollü olarak satışa sunabileceği ve en yakın mesafeli alıcıyla sadece tek bir onaylama işlemiyle enerjisini satabileceği bir platforma dönüşmüştür. Bu tez çalışmasında enerji pazarının oluşumu akıllı şehirlerin akıllı kontratlarla blokzincir teknolojisi kullanarak aracısız ve nispeten enerji tasarrufu sağlayan ve daha ucuz bir yapı modellenmiştir. Burada ise karşımıza akıllı kullanıcı/tüketici kavramı ortaya çıkmaktadır.

Akıllı şebeke elemanlarıyla sistem enerji hesabının yapılması mümkündür. Her bir elektrikli ev aletinin ortalama ne kadar enerji tükettiği akıllı sayaçlar tarafından (Şekil 6.3) ölçülebilmektedir. Nesnelerin interneti sayesinde bu bilgiler gerçek zamanlı olarak hesaplanabilmektedir. Akıllı şebekeler oluşturulan senaryoda etkin bir rol oynamaktadır. Bu yüzden bu tez çalışmasında 3. bölümde akıllı şebeke elemanları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.



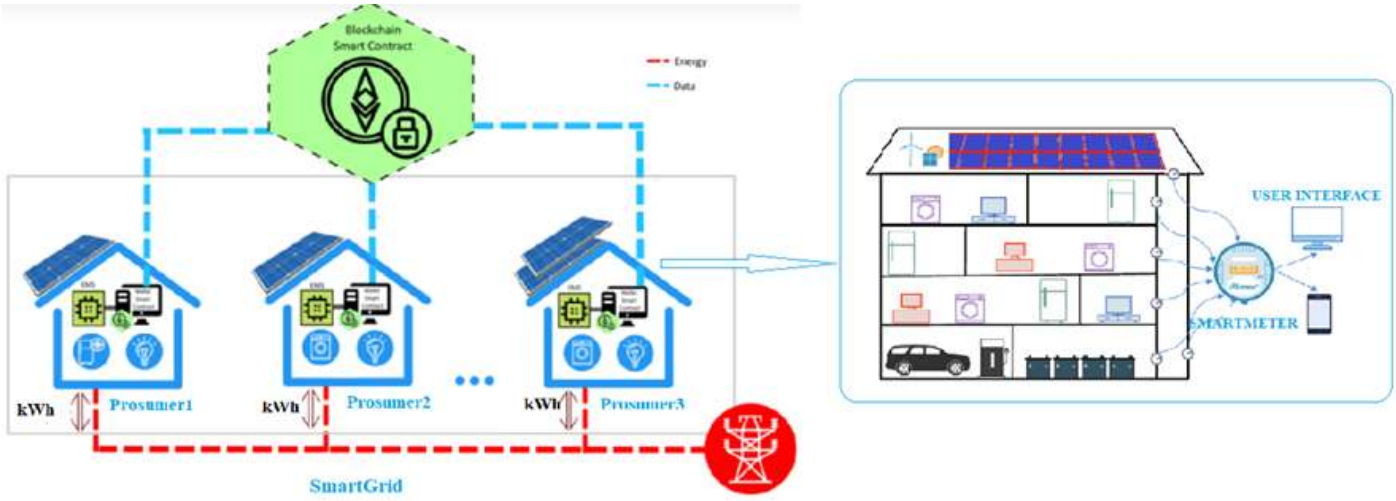
Şekil 6.3 : Akıllı ev; IoT ve kullanıcı arayüzü etkileşimi.

Elde edilen tüm veriler kullanıcının kullanabileceği bir arayüzü ile kaydedilmektedir. Bu veriler enerji ticaretinde üretici/tüketici/üreten-tüketici kimliğinin oluşturulmasında önemlidir. Kullanıcı bu veriler ile kişinin kendisine uygun kullanıcı türünü seçerek kaydetmektedir. Kullanıcı bulunduğu adresi ve her enerji üretici ve tüketicisine olan uzaklığını sisteme bildirir. Böylece tüm kullanıcıların aracısız alışveriş yapabileceği **Şekil 6.4'**teki gibi bir enerji ekosistemi oluşur. Bu ekosistemde tüm ticaret sistemlerinde de olduğu gibi güvenirlik ve güvenlik çok önemlidir. Bütün kullanıcıların haklarını koruyabilecek ve işlemlerin şeffaflığını sağlayabilecek bir sözleşmeye ihtiyaç vardır. Bu sözleşme her işlemin kaydedildiği ve herkesçe görülebilen kabul edilebilir bir sözleşme olmalıdır. 5. bölümde detaylıca anlatılan akıllı sözleşmeler bu aşamada devreye girmektedir.



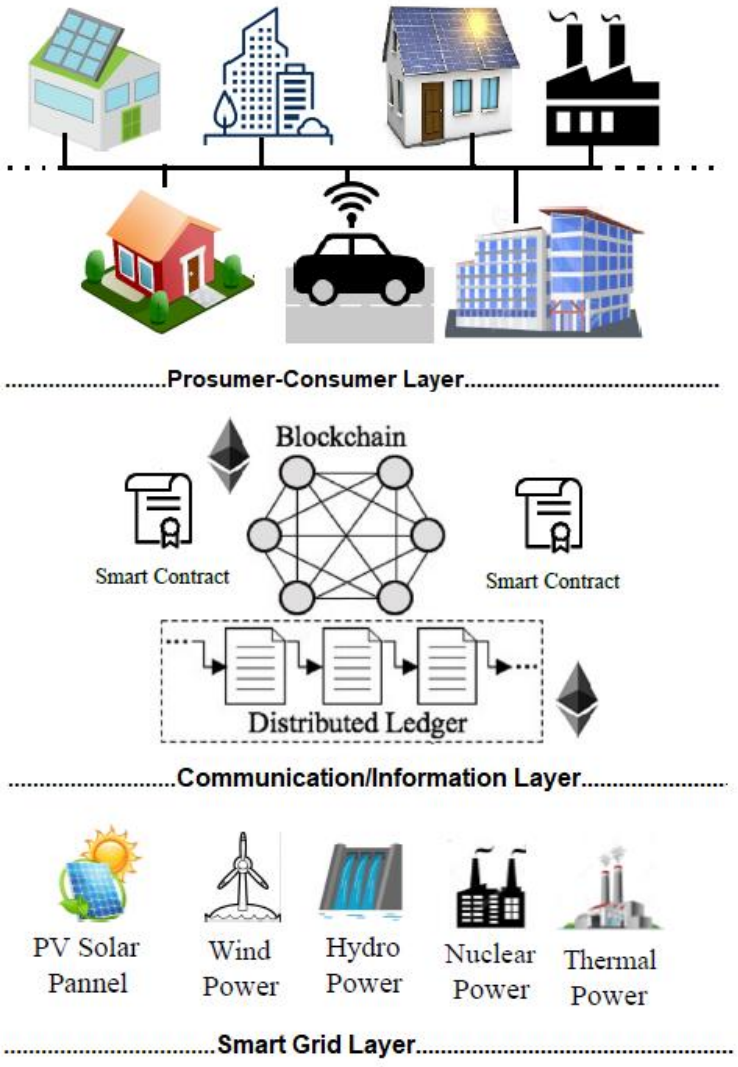
Şekil 6.4 : Akıllı sözleşmelerle tüm katılımcıların dahil olabildiği ekosistem.

Ethereum akıllı sözleşmeleri, otonom izleme, faturalandırma, enerji alışverişi ve katılımcılar arasındaki iletişimi dağıtılmış bir şekilde ele almak için kullanılmaktadır. Akıllı sözleşme kodu, Remix IDE'de Solidity ile yazılmıştır.



Şekil 6.5 : Her bir kullanıcının şebekeye akıllı sözleşme ile bağlıdır.

Bu sistem temel olarak üç katmandan oluşmaktadır. Öncelikle kullanıcıların kimliklerini belirlediği (üretici/tüketici/üreten-tüketici) kullanıcı katmanı, akıllı sayaçlar ve nesnelerin interneti aracılığıyla oluşturulmuş akıllı şebeke katmanı ve katmanlar arasındaki bilgi ve iletişimi sağlayan blokzincir teknolojisiyle oluşturulmuş akıllı sözleşmelere dayanan katmandan oluşmaktadır (Şekil 6.6).

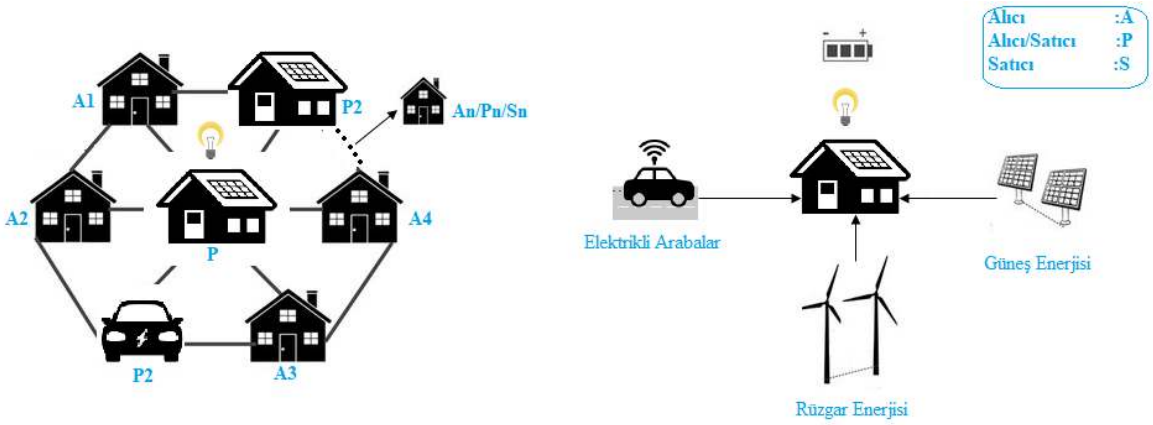


Şekil 6.6 : Akıllı şebeke, iletişim/bilgi ve üretici/tüketici katmanı.

Burada eğer enerji gereksinimi mevcutsa;

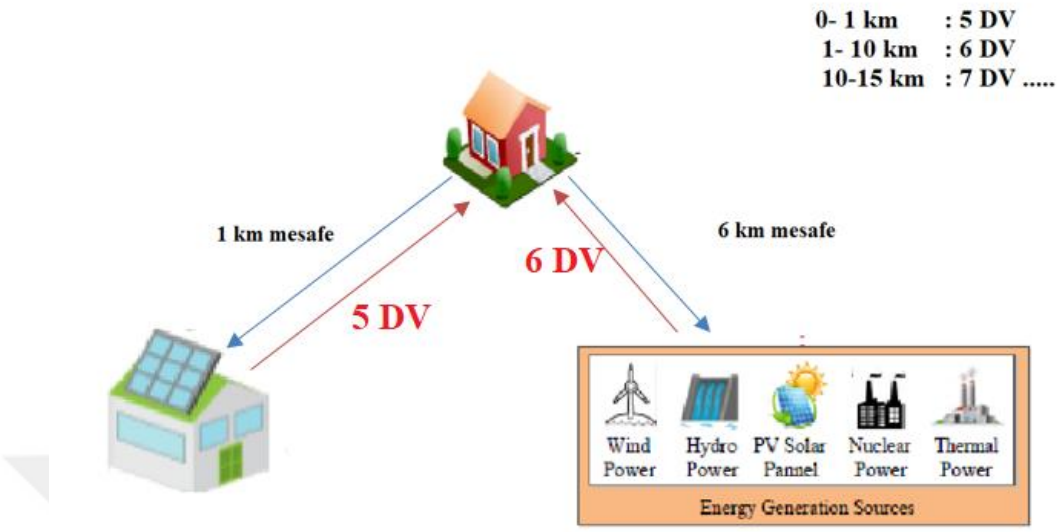
- Kullanıcı uyarılır.
- Kullanıcı enerji talebinde bulunur.

- Enerji fazlası varsa enerji satışını yapacağını duyurur.
- Kullanıcı arayüzü ile etkileşim sağlanır.
- Enerji talebinde bulunan kişiye kendisine en yakında olmak üzere satıcılar (Şekil 6.7) sıralanır.
- Ne kadar almak isteğini belirtir ona göre tekrar bir sıralama yapılır ilk seçenek daha ucuz olacağından ilk seçenek seçilir (Şekil 6.8).



Şekil 6.7 : Alıcı ya da tüketicinin enerji alışverişini yapabileceği enerji seçenekleri.

Dijitalleşen dünya düşünüldüğünde yakın bir gelecekte ülkelerin kendi kripto paralarına sahip olacağı ve tüm alışverişlerin bu dijital paralarla yapılacağı düşünülmektedir. Akıllı kontralarla kurulan bu alışveriş, ödeme yöntemlerinde yasalarla uyumlu bir ödeme yöntemine entegre edilmesiyle daha güvenilir bir hale gelmesi beklenmektedir. Bugün kullanılan biletler, kuponlar, fiş ve hatta marka denilen eskiden kullanılan karşılığında çay veya kahve içilebilen para yerine geçen her nesne aslında dijital paraların farklı bir örneği olarak düşünülebilir. Enerji ticaretine bu mantıkla bakıldığında belli bir uzaklık için ölçeklendirme yaparak sabit bir fiyat listesi oluşturulur. Yani beklenen değer/olgu/hizmet için dijital ortamda karşılık bulabilecek bir fiyatlandırmaya ihtiyaç vardır. Örnek vermek gerekirse; bu sistemde kullanılacak para, daha doğrusu parayı temsil edecek herhangi bir hizmet, belirlenen bir dijital varlık ile temsil edilmektedir. Buradaki değer algısı, kişilerin adreslerine ve aralarındaki uzaklığa bağlı olduğundan önceden belirlenmiş standart bir ücretlendirme tablosu oluşturulmuştur. Yani hizmet ve karşılığındaki ücret ortalama olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.8).



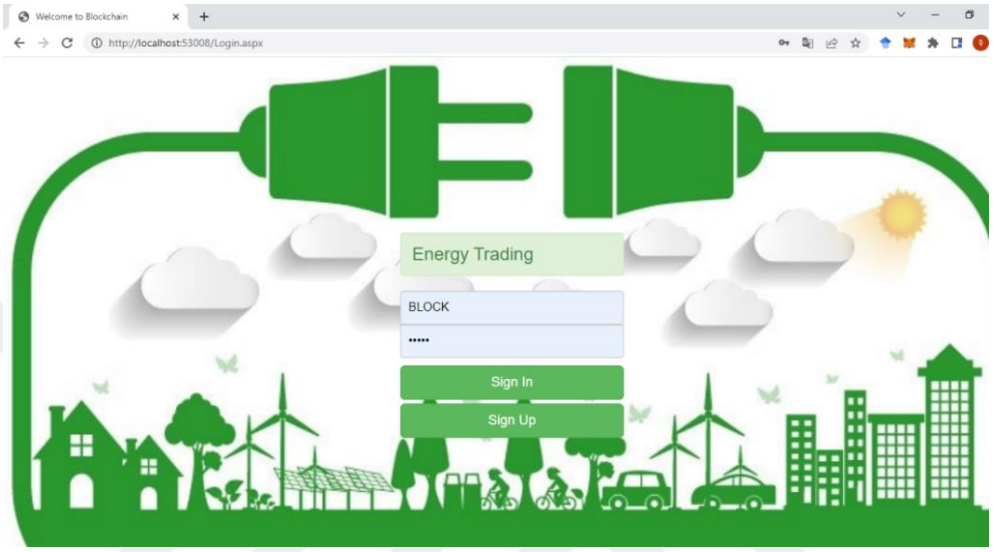
Şekil 6.8 : Mesafeye dayalı ücret tablosu.

Sistemdeki ücretlendirmenin yasalarla uyumlu bir şekilde hesaplandığını ve her 0-1 km uzaklık için 5 Dijital Varlık (DV) ödenmesi gerektiğini varsayalım. Aynı şekilde 1-10 km için 6DV, 10-15 km için 7DV, … **Şekil 6.8** 'de gösterildiği gibi devam etmektedir. Bu sisteme dahil olan iki kullanıcı enerji alışverişi yapmak istediğinde karşısına çıkacak listeden elbette daha yakın olan daha ucuz olacağından kendi ekosisteminden alışveriş yapmak isteyecektir. Bu da insanları kendilerine en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik edecek ihtiyacından fazlasını da enerji satışı yapmasına olanak sağlayacaktır. Böylelikle ana şebekedeki yük azalacak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını artıracağından daha temiz bir enerji elde edilmiş olacaktır.

6.3 Blokzincir Enerji Ticareti Web Sayfası Tasarımı

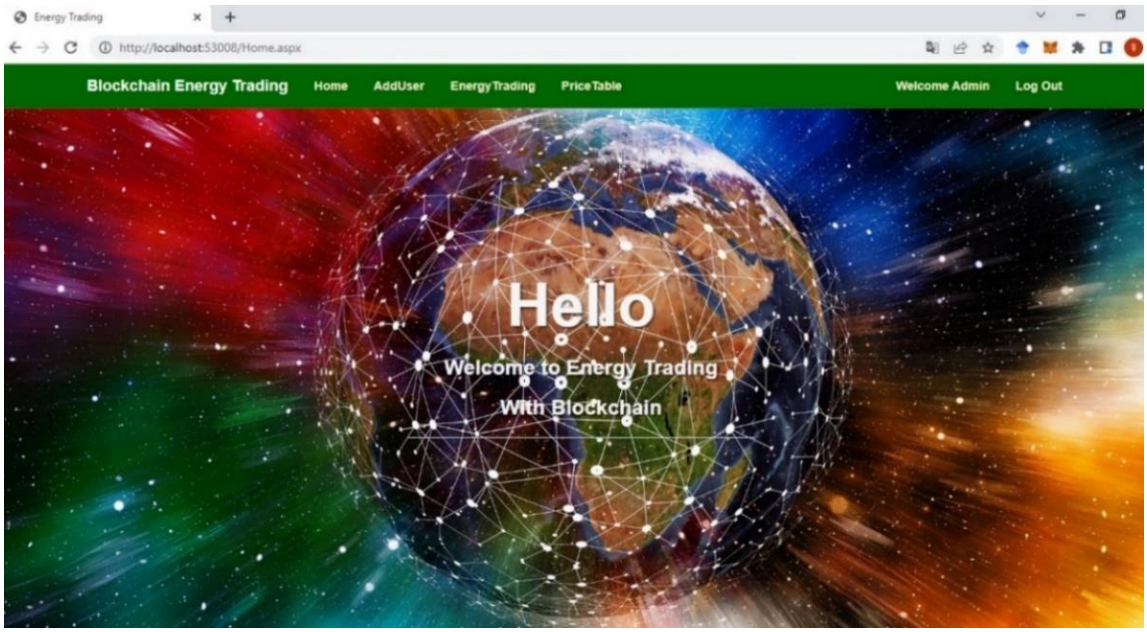
Blokzincir teknolojisinin mevcut sistemden daha verimli yapan en önemli özelliğinin üçüncü kişileri ortadan kaldırarak kullanıcılarla doğrudan alışveriş yapabilme fırsatı sunmasıdır. Enerjiyi doğrudan kullanıcılara sunacak bir web sayfası tasarlanmıştır. Bu web sayfası Microsoft tarafından geliştirilen bir tümleşik geliştirme ortamı (IDE) olan Visual Studio'da ASP.NET C# dili kullanılarak yazılmış ve verileri yönetmek, tasarlamak ve web sayfasıyla bağlantı kurmak için SQL kullanılmıştır. Veri tabanından belirli bilgilerin alınması için oluşturulan SQL komutları **Ek B**'de verilmiştir. Her şeyden önce tüm kullanıcıların

önemli bilgileriyle kaydedildiği ve yalnızca kayıtlı kullanıcıların işlem yapabildiği bir giriş sayfası oluşturalım. **Ek B1**'de bulunan '*Login*' sayfasının Login.aspx.cs kodları sonucu giriş sayfası **Şekil 6.9'**daki gibidir.



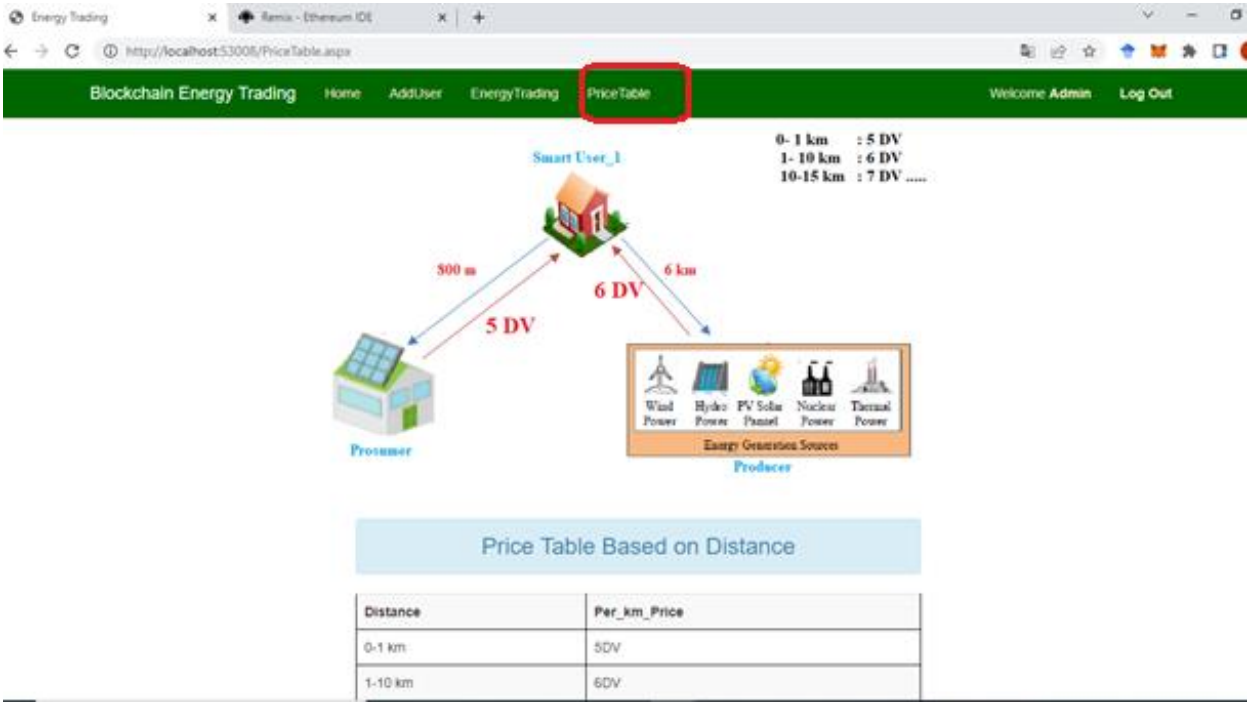
Şekil 6.9 : Kullanıcı ve Admin girişinin yapıldığı sayfa.

Sayfa admin ve diğer tüm kullanıcılar olarak tasarlanmıştır. Admin ana sayfası (Şekil 6.9), enerji satışında kullanıcıların ulaşabileceği ve hangi uzaklık için ne kadar ücret ödeneceğinin belirlendiği bir sayfa olacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 6.10 : Admin ana sayfası.

Şekil 6. 10'da ana sayfadan *PriceTable* sayfasına tıklanarak açılan sayfa **Şekil 6. 11'**de görülmektedir. Bu sayfa, admin tarafından belirlenir ve kullanıcılar bu sayfada hangi uzaklık için ne kadar ödeme yapacağını öğrenebilir. Özellikle sunulmuş bu ücret seçeneği ile kullanıcı kendisine en yakın enerji kaynağından daha ucuz bir ödeme yapabilecektir. Günümüzde kullanılan birçok dijital (para) ödeme seçeneği var ve çok yakın dönemde ülkelerin kendi dijital paralarının kullanılacağı gerçeğini göz önünde bulundurarak buradaki ödeme yöntemine, *Dijital Varlık* kısaltması olarak DV diyelim.



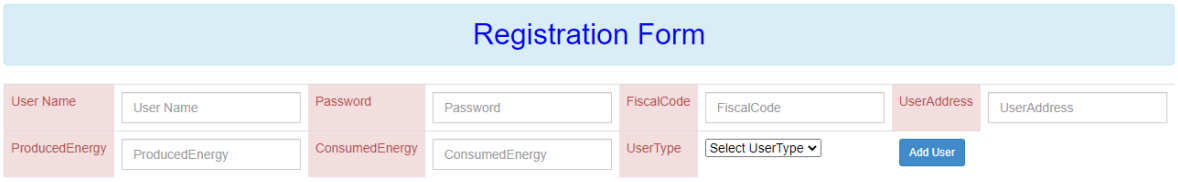
Şekil 6.11 : Enerji ticareti için hangi uzaklığa ne kadar DV ödeneceğini gösteren sayfa.

Admin istenildiği zaman fiyat çizelgesi üzerinde değişiklik yapabilmektedir. Yani ödenecek ücret daha önceden belirlenen kıstaslara göre oluşturulur ve kullanıcılara duyurulur. **Şekil 6.12** 'de fiyat tablosu gösterilmiştir.

Distance	Per_km_Price		
0-1 km	5DV	Edit	Delete
1-10 km	6DV	Edit	Delete
10-15km	7DV	Edit	Delete

Şekil 6.12 : Fiyat tablosu.

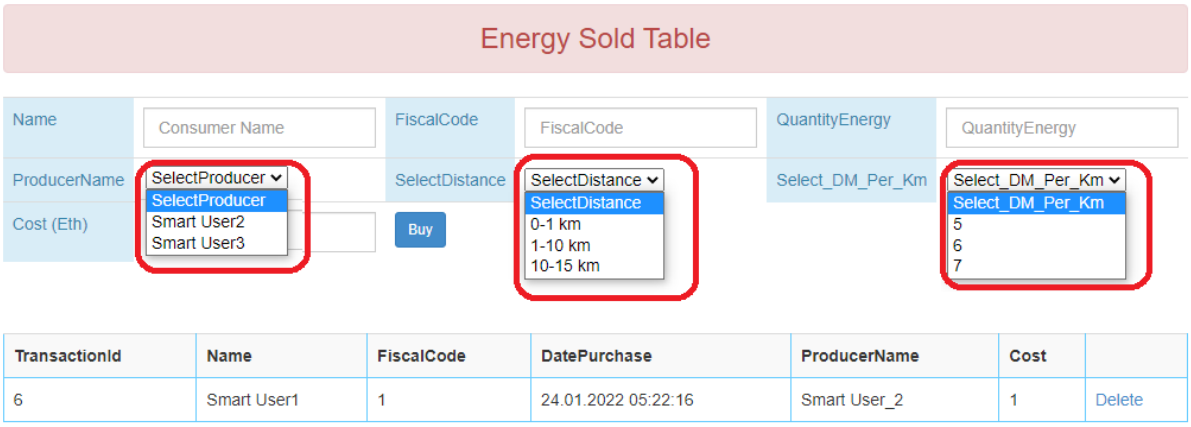
Kullanıcılar *AddUser* sekmesiyle vergi kodları, kullanıcı adresi, ürettiği ve tükettiği enerji miktarları gibi bilgilerin kaydedildiği **Şekil 6.13'**teki kayıt sayfasındaki formu doldurarak kendisini sisteme dahil etmiş olacaktır. Yapılan bu tez çalışmasında 3 tip kullanıcı belirlenmiştir: tüketici, üretici, üreten-tüketici (consumer, prosumer, prosumer). Her biri bir kullanıcı türünü temsil etmektedir. Web sayfası istenildiği zaman kullanıcılar tarafından kaydedilen bilgileri, özellikle adresi değiştiğinde adres bilgisini ekle ve sil butonlarıyla değiştirebilmektedir.



User Name	Password	FiscalCode	UserAddress	UserType	ProducedEnergy	ConsumedEnergy		
Smart User1	1	1	Location_1	Consumer	0	300	Edit	Delete
Smart User2	2	2	Location_2	Prosumer	550	200	Edit	Delete
Smart User3	3	3	Location_3	Producer	2000	300	Edit	Delete

Şekil 6.13 : Kullanıcı kayıt sayfası.

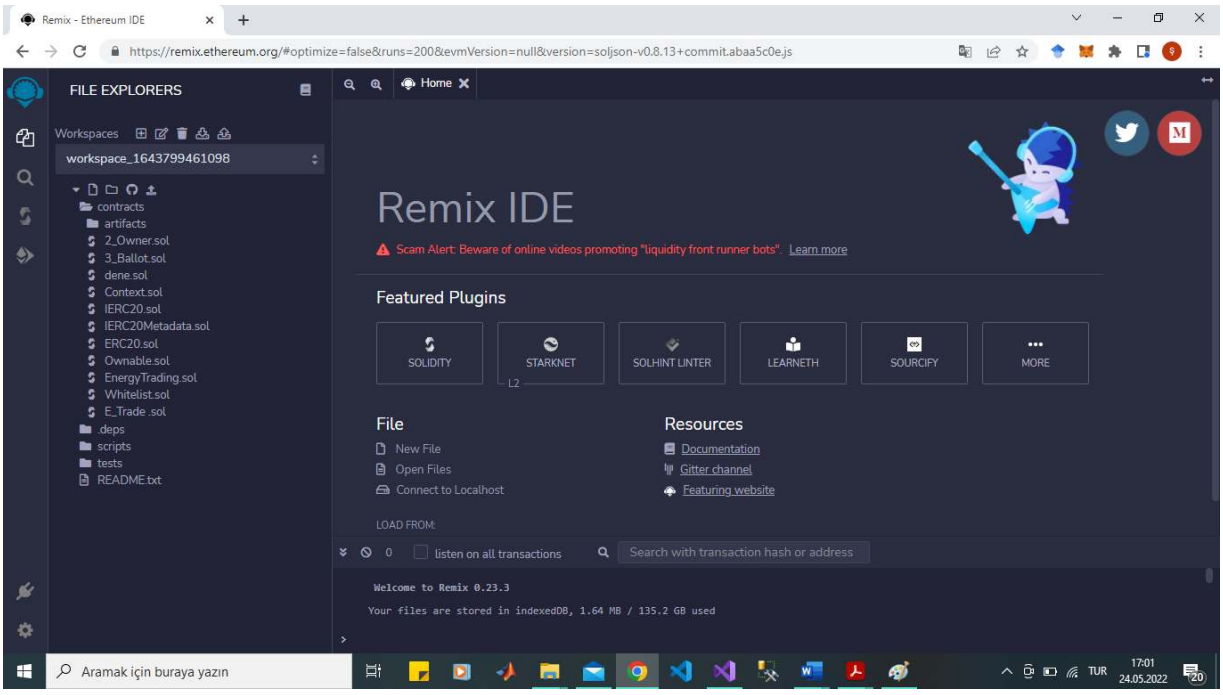
Herhangi bir kullanıcı enerji alışverişi yapmak istediğinde kendi vergi kodu, ad soyadı, hangi üreticiden ne kadar enerji alacağını, üretici ile arasındaki mesafeyi ve ne kadar Dijital Varlık (DV) ödeyeceğini seçip satın al butonuna basarak enerji ticareti yapabilmektedir (Şekil 6.14). *EnergyTrading* ve *EnergySoldTable* sayfalarının kodları **Ek B2** ve **Ek B3** 'te verilmiştir.



Şekil 6.14 : Kullanıcının enerji ticareti yapabildiği sayfa

6.4 Solidty Programı ile Akıllı Sözleşme Uygulaması

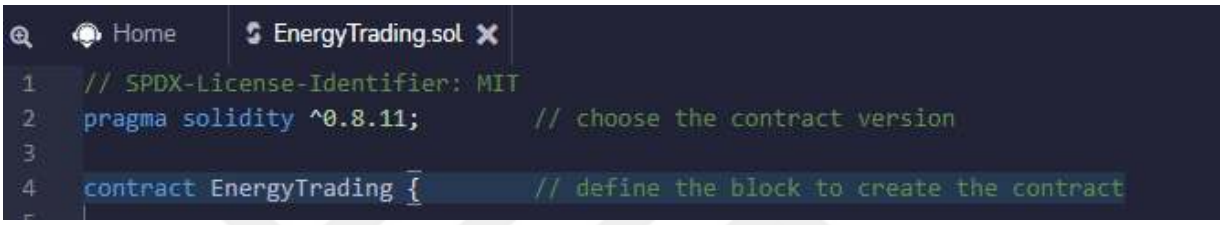
5.bölümde akıllı sözleşmeler ve Solidty dili hakkında bilgi verilmiştir. Solidity dili ile enerji ticareti yapabilen bir senaryo tasarlanmıştır. Öncelikle gelişen bu yeni teknoloji ile birçok IDE programlarında akıllı sözleşme yazmak mümkündür. Bu proje için online Remix IDE sayfası kullanılmıştır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 : Remix IDE online giriş sayfası.

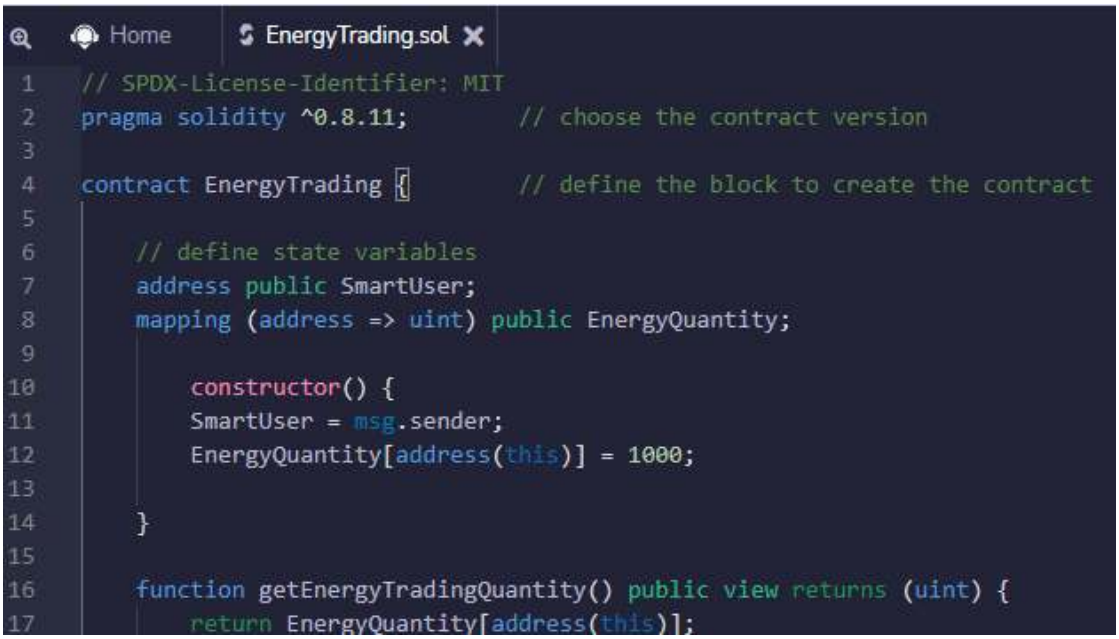
Akıllı sözleşmeler **.sol** uzantısı ile kaydedilmektedir. Bu yüzden yapılan bu uygulamada '**EnergyTrading.sol**' adında bir sayfa oluşturulmuştur (Şekil 6.16). Bu program sözleşmeleri aynı sayfa üzerinden online olarak derleme ve dağıtma imkânı sunmaktadır.

Akıllı sözleşme yazılmadan önce (hangi editör üzerinden derlenecekse) yeni bir sayfa açılır. Sözleşmeye başlamadan önce *Solidity Compiler* versiyonunun seçilmesi gerekmektedir. *Contract* komutu ile sözleşmeye verilen isimle sözleşmeyi oluşturacak blok tanımlanır**. Şekil 6.16** 'da seçilen versiyon gösterilmektedir.

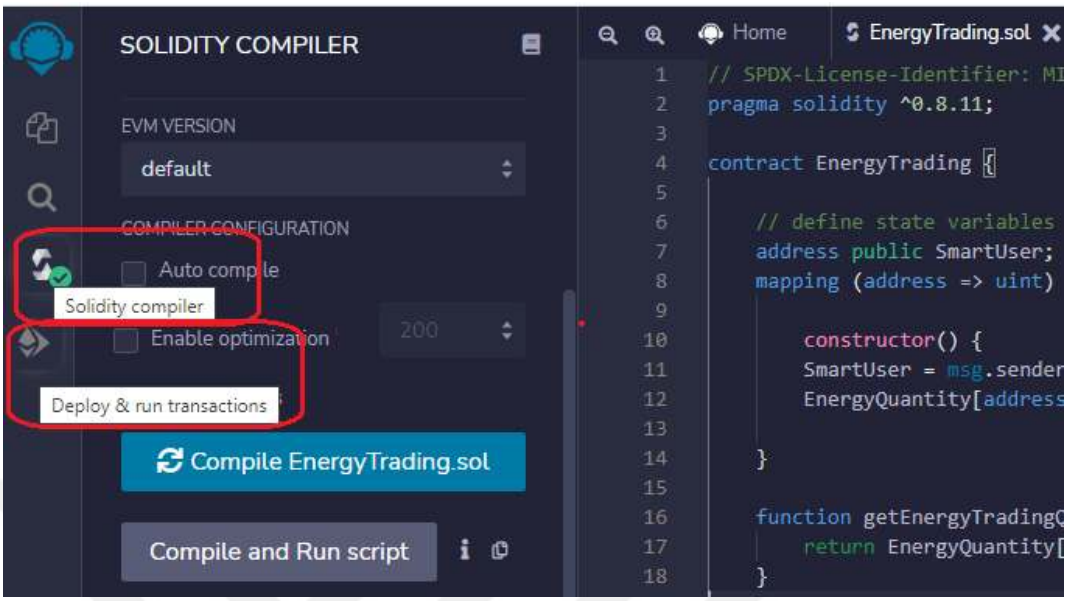


Şekil 6.16 : Sözleşmede seçilen versiyon ve contract komutu.

Sözleşmede tanımlanacak olan durum değişkenleri (state variables) belirlenir ve bu değişkenler blokzincirde kaydedilir. Daha sonra çalıştırılacak fonksiyon ismi ve değişkenler belirlenir. Fonksiyona *public* blokzincir yazılması herkes tarafından bu fonksiyonun çağrılabileceğini gösterir (Şekil 6.17).

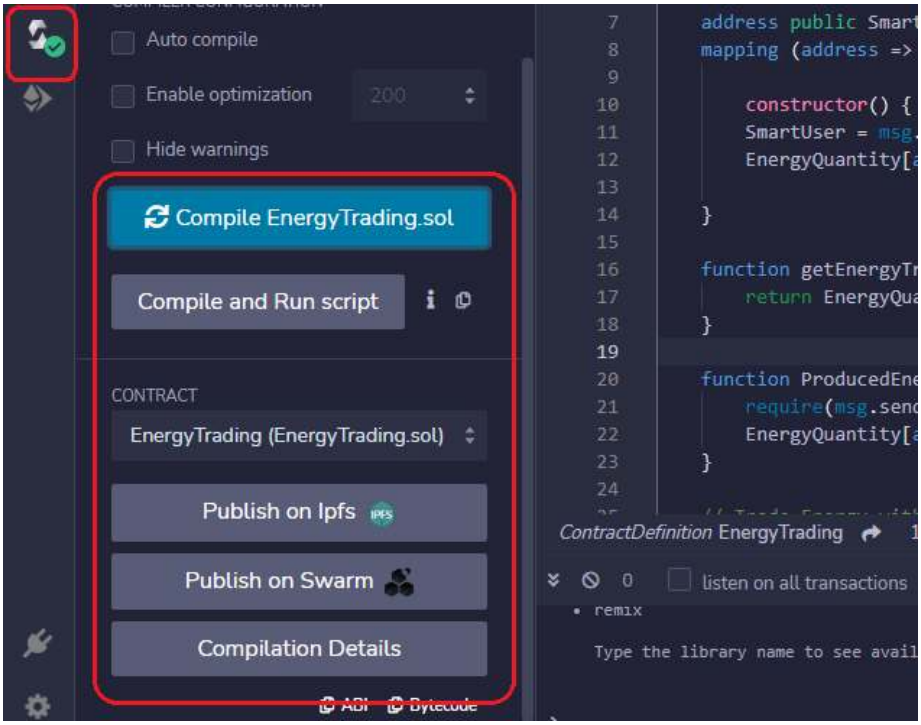


Şekil 6.17 : Durum değişkenleri ve fonksiyon değişkenleri.

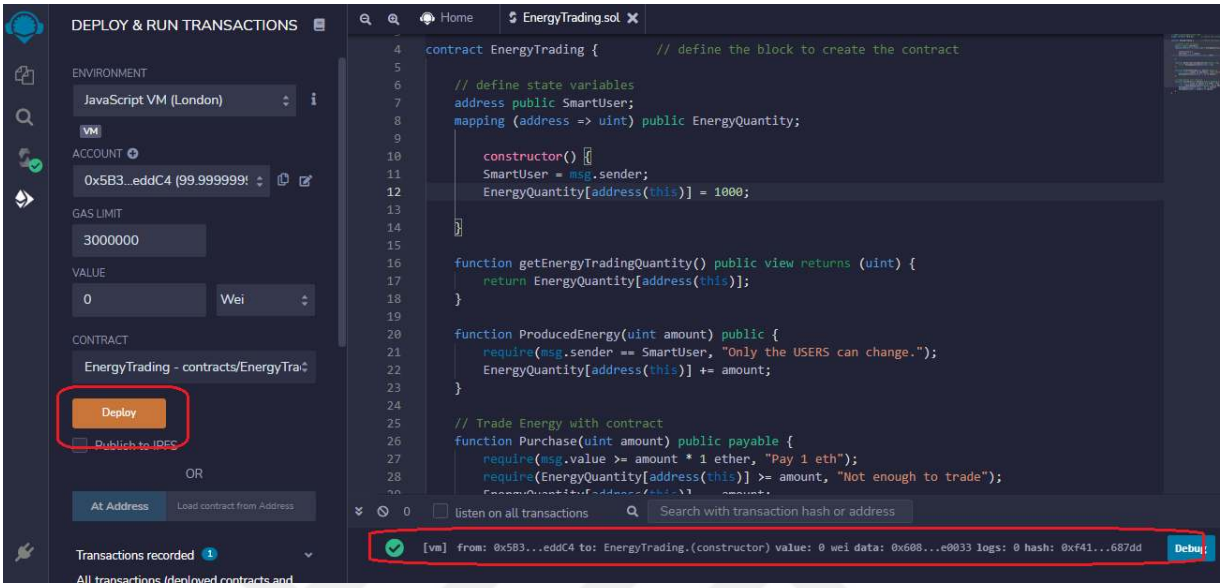


Şekil 6.18 : *EnergyTrading.sol* çalışma sayfası, Compiler ve Deploy & run transactions.

Yazılan sözleşme hatasız bir şekilde derlendiğinde deploy edilmeye yani, **Şekil 6.19'**daki gibi dağıtılmaya hazır hale gelmiş olacaktır. Eğer yazılım hatalı olursa program uyarı vermekte ve derlenme işlemi gerçekleşememektedir (Şekil 6.20). **Ek C1'** de *EnergyTrading.sol* yazılım kodları verilmiştir.



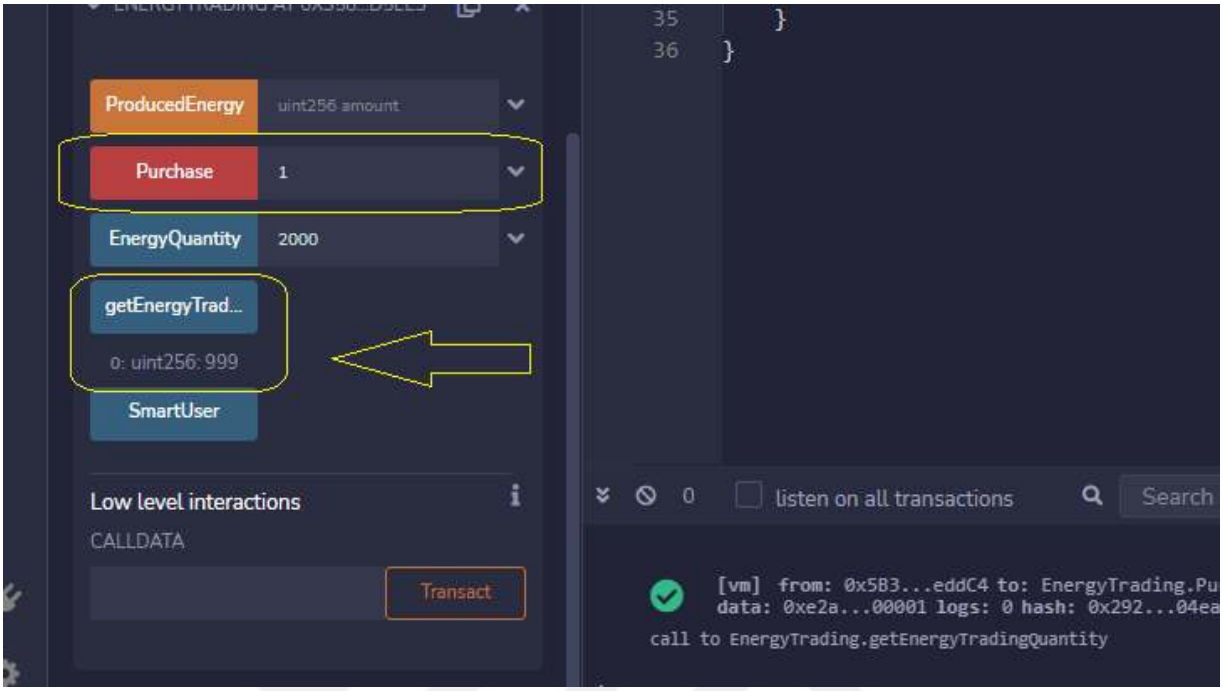
Şekil 6.19 : Akıllı sözleşmenin Compile (derleme) edilmesi.



Şekil 6.20 : Derlenen sözleşmenin deploy edilmesi.

Bu senaryoda ortalama bir ailenin saatlik enerji üretim ve tüketim değerleri kullanılmıştır. Kullanıcılara cüzdanlarındaki dijital para ile kendilerine en yakın mesafeden enerji satın alabileceği bir imkân sunulmuştur. Bu senaryoda, satın alınacak enerji miktarı, mesafeyle doğru orantılı olarak belirli bir katsayı ile çarpılan dijital para karşılığında satın alınmaktadır.

Örnek olarak bir ölçek belirtmek için 2000 kWh enerjiye ihtiyacı olan ve komşusuna 0-1 km uzaklıkta olan bir kullanıcı, 2000 kWh için 5 DV ödenmesi gerekmektedir (2000*5= 10000 kWhDV). Sözleşmenin yazıldığı ortam ethereum dijital para birimini kullandığından her 10000 kWhDV'ğı 1 eth olarak tanımlarsak (2000*5) /10000 =1 eth ödemesi gerekmektedir (Şekil 6.21). İşlem kolaylığı sağlaması için 10000 kWhDV=1 eth olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.21 : 1 eth ödenerek eksilen enerji bakiyesi.

Kullanıcı 2000 kWh enerji için 1eth ödeme yaptığında cüzdanından 1 eth da eksilmesi gerekmektedir. **Şekil 6.21** ‘de görüldüğü gibi 1000 miktardan 1 birim eksilmiş 999 kalmıştır. Aynı kullanıcı 1-10 km uzaklıktan enerji almak isterse (2000*6) /10000= 1.2 eth ödemesi gerekmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve artan enerji talebi sürdürebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmıştır. Her geçen gün gelişen teknolojiler ile enerji verimini artıracak sistemler ve özellikle yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli olan üretilen enerjilerin depolanacağı aygıtlar geliştirilmektedir. Mevcut sistemle istenen verimliliğin sağlanamamış olması yeni teknolojiler geliştirmeyi zorunlu kılmıştır. Özellikle iletim hatlarının uzunluğundan dolayı oluşan kayıp ve geleneksel sistemin getirmiş olduğu denetim, izleme ve kontrol mekanizmalarındaki zorluk mikro şebekelerin kurulumunu zorunlu kılmıştır. Mikro şebekeler geleneksel sisteme nazaran birçok açıdan verimli olsa da günümüzde istenen düzeyde değildir. Şebekeler, akıllı sayaçlar ve nesnelerin interneti sayesinde daha kontrol edilebilir ve ana hata fazla yüklenmeden bir dağıtımın yapıldığı akıllı şebekelere dönüştürülmektedir.

Bilgi ve teknolojiye ulaşımın kolaylaşmasıyla beraber yenilenebilen enerji kaynaklarının kullanımında hızlı bir artış olduğu bilinmektedir. Bulunan ortamın elverdiği koşulda (güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrolik enerjisi, hidrojen enerjisi...) enerji üretebilmek ve bunu daha ucuz bir maliyetle üretmek enerji tüketicileri için büyük bir fırsata dönüşmüştür. Öyle ki enerji kullanıcılarına ürettiği yenilenebilir enerjinin fazlasını ana şebekeye satabilme imkanının verildiği örnek uygulamalar mevcuttur. Enerjiye olan bağımlılığın her geçen gün arttığı bu çağda enerjiyi daha düşük bir maliyetle üremek ve hatta bundan kar edebilmek düşüncesi birçok kullanıcı tarafından cazip görülmektedir.

Teknolojinin yakınsamasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla kullanıcılar ana şebekeye enerji alım satımı yapabilmektedir. Eşten eşe (P2P) enerji ticaretinin yapıldığı birçok uygulama günümüz teknolojileri ile yapılmaktadır. Blokzincir teknolojisiyle de artık kullanıcılar ana şebekeye değil doğrudan alıcıyla iletişime geçerek enerji ticareti yapabilmektedir. Bu sayede tüketici, ihtiyacı olan enerjiyi istediği zaman alabildiği gibi kendi ürettiği enerjinin fazlasını da satabileceği bir platforma dahil edilmiş olur.

Bu ticarette kullanılan ücretlendirmelerin alıcı satıcı arasında değil daha sistemli ve adil bir şekilde yapılması gerekmektedir. Enerji santralinde kurulmuş olan alt yapı ve dağıtım faaliyetleri kapsamında ücrete yansıtılmış miktar göz ardı edilmemelidir. Bir kullanıcının kendisinden çok uzakta olan bir santralden alacağı enerji ücreti ile yakınında örneğin komşusundan alacağı enerji maliyeti aynı olmayacağında fiyatlandırmaya eşit değil adil bir yaklaşımla bakılması gerekmektedir. Dağıtılmış merkezi olmayan mimariyle bütün kullanıcıları tek bir ekosistemde toplayan bu sistemde asıl olan herkesçe kabul edilen bir kontrat yapısının oluşturulmasıdır. Bu sitem hem aracıları ortadan kaldıracak hem de sistemde herhangi bir sorun meydana geldiğinde kolayca müdahale edilebilir duruma getirmiş olacaktır.

Blokzincir ile adapte edilmiş enerji dağıtımı bir çeşit enerji veri analizinin önemini vurgulayarak enerji üretiminden ziyade, verimli enerji kullanımı öne çıkarmaktadır. Bu kapsamda oluşturulan tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan tüketicilerin bulunduğu küçük bir enerji ekosistemi oluşturulmuştur. Bu ekosistemde kullanıcılar özellikle birbirlerine olan uzaklıklarını ve diğer tüm kullanıcı bilgilerini sisteme kaydetmektedir. Her kullanıcı akıllı sayaçlardan elde ettiği aylık/haftalık/saatlik enerji üretim ve tüketim bilgilerini sistemden görebilmektedir. Ürettiği enerji tükettiği enerjiden küçük olan her bir kullanıcı satıcı olarak varsayılmaktadır. Herhangi bir kullanıcı enerji talep ettiğinde tüm potansiyel satıcılar enerjiyi talep eden kişiye en yakından en uzağa olacak şekilde listelenmiştir. Listede bulunan ilk sıradaki satıcı en yakın ve ucuz enerji kullanıcının alımına sunulmuştur. Tüketici almak istediği enerji miktarına uygun kullanıcı ile aracısız bir şekilde enerji alışverişini yapabilecektir. Bu sistemle birlikte hem uzun iletim hatlarından kaynaklanan kaybın önüne geçilecek hem de üçüncü kişiler olmaksızın daha ucuz bir enerji ticareti mümkün olacaktır. Oluşturulan akıllı sözleşme ile her bir alım işlemi işlemin yapılma saatiyle değişmez bir şekilde kaydedilecektir.

Oluşturulan her akıllı ev, yakın bir gelecekte kendi kendine yetebilen ürettiği enerjiyi sadece komşusuna değil enerji santrallerine de satabilecek hale gelebilecektir. Sadece güneş enerjileri değil yakın bir geçmişte hayatımıza girmiş olan elektrikli araçlar da kullanılırken ürettiği enerjiyi satma imkânı sunarak kullanıcıya ek gelir sağlayabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin kullanan bu çalışmayla ana şebekedeki yük azaltılmış olacak ve satıcı olabilme imkanını sunmasıyla da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmış olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla daha temiz enerji üretimini de mümkün

kılmaktadır. Küreselleşen dünyada küreselleşen ticaretler nasıl yaygınlaştıysa küresel bir enerji pazarı kurulup yakın gelecekte sadece komşulara değil ülke komşularına da enerji ticareti yapılabilir hale geleceği fikri bile bu teknolojinin önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak kurulan bu enerji ticaretinin mevcut sisteme göre avantajları:

- ✓ Bu mimariyle bir tehlike anında örneğin siber saldırıya uğraması veya teknik sorunlar yaşaması halinde ağın hepsi yok olmadığı sürece veriler saklanmaya ve korunmaya devam eder. Yani sistem daha dirençli hale gelir.
- ✓ Aracı, kurumlar ve onların ek maliyetlerini aradan çıkartmıştır. Özellikle büyük sözleşmeler için gerekli olan avukatlar, tanıklar, bankalar gibi aracılar zincirine olan ihtiyacı ortadan kaldıracaktır. Maliyet, enerji ve zaman tasarrufu sağlar.
- ✓ Blokzincir teknolojilerinde işlenmiş bir veri hiçbir zaman değiştirilemez. Güvenilirdir.
- ✓ Bir aracıya ihtiyaç duymadan blokzincir tarafından gerçekleştirilen işlemler mevcut sisteme göre daha hızlıdır. İşletmeleri yavaşlatan onaylama basamaklarını yazılım kodu üzerinden otomatik çalıştırdığından işlemler çok hızlı gerçekleşecek ve iş süreci kısalacaktır
- ✓ Tüm blokzincir kullanıcıları arasında mutabık kalınan paylaşılan bilgi ve fikir birliği süreci ile dolandırıcılığın önlenmesi garanti edilmektedir.
- ✓ Mevcut sistemden daha şeffaftır. Dağıtık defter teknolojisiyle, ilgili tüm taraflarca sözleşme şartları tamamen görünür ve erişilebilir durumdadır. Tüm değişiklikler ve işlemler tüm blokzincir kullanıcıları ile paylaşılır.
- ✓ Daha güvenilirdir. Akıllı sözleşmeler dijital para birimlerinin kullandığı standartla aynı olan ve şu anda mevcut olan en yüksek veri şifreleme düzeyini kullanmaktadır.
- ✓ Sistem akıllı şebeke ve akıllı sözleşmelerle insan müdahalesini azalttığından insan kaynaklı hatalara karşı daha dayanıklıdır.
- ✓ Akıllı sözleşmeler çevre dostudur. Yazılım ortamında işletildiği için özellikle kâğıt tüketimini azaltacaktır**.**
- ✓ Kurulacak akıllı şebeke sayesinde kesinti, arıza, bakım gibi durumlarda müdahale kolaylığı sağlar.
- ✓ Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmasıyla karbon salınımını ciddi oranda azaltır.

- ✓ Tüketicilere IoT ve akıllı sayaçlar sayesinde daha kapsamlı bilgi ve elektrik üretim ve tüketimi konusunda veri sunar böylece kullanıcıların tasarruf etmelerine imkân tanır.
- ✓ Artan yenilenebilir enerji kaynakları ve üreten tüketiciler sayesinde ana şebekedeki yük azaltılmış olacaktır.
- ✓ Önerilen senaryo ile hem uzun iletim hatlarından kaynaklanan kaybın önüne geçilecek hem de kaybın maliyeti kullanıcılara eşit değil adil bir ödeme yöntemi sunar.
- ✓ Adrese dayalı ödeme yöntemiyle komşular arası ve hatta ülkeler arası enerji ticareti daha kolay ve mümkün hale gelecektir.

Blokzincir teknolojisi bu teknoloji ile oluşturulan kripto paraların piyasada oluşturduğu algı ile ölçülmemelidir. Çünkü bu sistem bir para birimi değil sistemin uygulanış şeklinin adıdır. Blokzincir tabanlı sistemlerin şeffaf, güvenilir ve daha ucuz bir hizmet sunduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ancak sistemi mükemmelleştiren kendi kendine ticaret yapmasını sağlayan akıllı kontratlarsa onu yazan kişinin kabiliyetleri kadar mükemmel ve doğru olabilmektedir. Çünkü bu kontratlar işleme konulduktan sonra değiştirilemez, geri alınamaz özelliktedir. Her yeni sistem de olduğu gibi geliştirilmeye ve zamana ihtiyaç duyduğu söylenmelidir. Her şeye rağmen bu teknoloji gelecekte hayatımızda var olmaya devam edeceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **IEA** (2020), Renewables 2020, IEA, Paris;https://www.iea.org/reports/renewables-2020

[2] **Talaat, M., Alsayyari, A. S., Alblawi, A., & Hatata, A. Y.** (2020). Hybrid-cloud-based data processing for power system monitoring in smart grids. *Sustainable Cities and Society*, *55*, 102049.

[3] **Tsao, Y. C., & Thanh, V. V**. (2021). Toward sustainable microgrids with blockchain technology-based peer-to-peer energy trading mechanism: A fuzzy meta-heuristic approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *136*, 110452.

[4] **Cui, S., Wang, Y. W., Shi, Y., & Xiao, J. W.** (2020). A new and fair Peer-to-Peer energy sharing framework for energy buildings. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *11*(5), 3817-3826.

[5] **Azim, M. I., Tushar, W., & Saha, T. K.** (2020). Investigating the impact of P2P trading on power losses in grid-connected networks with prosumers. *Applied Energy*, *263*, 114687.

[6] **Pee, S. J., Kang, E. S., Song, J. G., & Jang, J. W**. (2019, February). Blockchain based smart energy trading platform using smart contract. In *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC)* (pp. 322-325). IEEE.

[7] **Chen, L., Liu, N., Li, C., Zhang, S., & Yan, X.** (2021). Peer-to-peer energy sharing with dynamic network structures. *Applied Energy*, *291*, 116831.

[8] **Tushar, W., Saha, T. K., Yuen, C., Smith, D., & Poor, H. V.** (2020). Peer-to-peer trading in electricity networks: An overview. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *11*(4), 3185-3200.

[9] **Alam, M. R., St-Hilaire, M., & Kunz, T.** (2019). Peer-to-peer energy trading among smart homes. *Applied energy*, *238*, 1434-1443.

[10] **Gai, K., Wu, Y., Zhu, L., Qiu, M., & Shen, M.** (2019). Privacy-preserving energy trading using consortium blockchain in smart grid. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *15*(6), 3548-3558.

[11] **Hassan, M. U., Rehmani, M. H., & Chen, J.** (2021). Optimizing Blockchain Based Smart Grid Auctions: A Green Revolution. *arXiv preprint arXiv:2102.02583*.

[12] **Zhu, X.** (2019, August). Application of Blockchain Technology in Energy Internet Market and Transaction. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 592, No. 1, p. 012159). IOP Publishing.

[13] **Hassan, N. U., Yuen, C., & Niyato, D.** (2019). Blockchain technologies for smart energy systems: Fundamentals, challenges, and solutions. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *13*(4), 106-118.

[14] **Teufel, B., Sentic, A., & Barmet, M.** (2019). Blockchain energy: Blockchain in future energy systems. *Journal of Electronic Science and Technology*, *17*(4), 100011.

[15] **Kapassa, E., Themistocleous, M., Quintanilla, J. R., Touloupos, M., & Papadaki**, M. (2020, November). Blockchain in Smart Energy Grids: A Market Analysis. In *European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference on Information Systems* (pp. 113-124). Springer, Cham.

[16] **Musleh, A. S., Yao, G., & Muyeen, S. M.** (2019). Blockchain applications in smart grid–review and frameworks. *Ieee Access*, *7*, 86746-86757.

[17] **Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... & Peacock, A.** (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *100*, 143-174.

[18] **Li, H., Xiao, F., & Yin, L.** (2021). Application of Blockchain Technology in Energy Trading: a Review. *Frontiers in Energy Research*, *9*, 130.

[19] **Thukral, M. K.** (2021). Emergence of blockchain-technology application in peer-to-peer electrical-energy trading: a review. *Clean Energy*, *5*(1), 104-123.

[20] **Alzubaidi, T., & Uçan, O. N.** Efficient Monitoring and Control System for Hybrid Smart Grids Using Fuzzy Logic and IOT. *AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, *4*(1), 93-102.

[21] **Kumari, A., Gupta, R., & Tanwar, S.** (2021). Amalgamation of blockchain and IoT for smart cities underlying 6G communication: A comprehensive review. *Computer Communications*.

[22] **Musleh, A. S., Yao, G., & Muyeen, S. M.** (2019). Blockchain applications in smart grid–review and frameworks. *Ieee Access*, *7*, 86746-86757.

[23] **Abdella, J., & Shuaib, K.** (2018). Peer to peer distributed energy trading in smart grids: A survey. *Energies*, *11*(6), 1560.

[24] **Kumari, A., Shukla, A., Gupta, R., Tanwar, S., Tyagi, S., & Kumar, N.** (2020, July). ET-DeaL: A P2P Smart Contract-based Secure Energy Trading Scheme for Smart Grid Systems. In *IEEE INFOCOM 2020-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)* (pp. 1051-1056). IEEE.

[25] **Yahaya, A. S., Javaid, N., Alzahrani, F. A., Rehman, A., Ullah, I., Shahid, A., & Shafiq, M.** (2020). Blockchain based sustainable local energy trading considering home energy management and demurrage mechanism. *Sustainability*, *12*(8), 3385.

[26] **Saxena, S., Farag, H. E., Brookson, A., Turesson, H., & Kim, H.** (2020). A Permissioned Blockchain System to Reduce Peak Demand in Residential Communities via Energy Trading: A Real-World Case Study. *IEEE Access*.

[27] **Masaud, T. M., Warner, J., & El-Saadany, E. F.** (2020). A Blockchain-Enabled Decentralized Energy Trading Mechanism for Islanded Networked Microgrids. *IEEE Access*, *8*, 211291-211302.

[28] **Jamil, F., Iqbal, N., Ahmad, S., & Kim, D.** (2021). Peer-to-peer energy trading mechanism based on blockchain and machine learning for sustainable electrical power supply in smart grid. *IEEE Access*, *9*, 39193-39217.

[29] **Hayes, B. P., Thakur, S., & Breslin, J. G.** (2020). Co-simulation of electricity distribution networks and peer to peer energy trading platforms. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *115*, 105419.

[30] **Cui, S., Wang, Y. W., Shi, Y., & Xiao, J. W.** (2019). An Efficient Peer-to-Peer Energy-Sharing Framework for Numerous Community Prosumers. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *16*(12), 7402-7412.

[31] **van Leeuwen, G., AlSkaif, T., Gibescu, M., & van Sark, W.** (2020). An integrated blockchain-based energy management platform with bilateral trading for microgrid communities. *Applied Energy*, *263*, 114613.

[32] **Khalid, R., Javaid, N., Almogren, A., Javed, M. U., Javaid, S., & Zuair, M.** (2020). A blockchain-based load balancing in decentralized hybrid P2P energy trading market in smart grid. *IEEE Access*, *8*, 47047-47062.

[33] **Li, Z., Bahramirad, S., Paaso, A., Yan, M., & Shahidehpour, M**. (2019). Blockchain for decentralized transactive energy management system in networked microgrids. *The Electricity Journal*, *32*(4), 58-72.

[34] **Han, D., Zhang, C., Ping, J., & Yan, Z.** (2020). Smart contract architecture for decentralized energy trading and management based on blockchains. *Energy*, *199*, 117417.

[35] **Seven, S., Yao, G., Soran, A., Onen, A., & Muyeen, S. M.** (2020). Peer-to-Peer Energy Trading in Virtual Power Plant Based on Blockchain Smart Contracts. *IEEE Access*, *8*, 175713-175726.

[36] **Song, J. G., Shin, H. W., & Jang, J. W.** (2021). A Smart Contract-Based P2P Energy Trading System with Dynamic Pricing on Ethereum Blockchain. *Sensors*, *21*(6), 1985.

[37] **Esmat, A., de Vos, M., Ghiassi-Farrokhfal, Y., Palensky, P., & Epema, D.** (2021). A novel decentralized platform for peer-to-peer energy trading market with blockchain technology. *Applied Energy*, *282*, 116123.

[38] **Kwak, S., & Lee, J.** (2021, January). Implementation of Blockchain based P2P Energy Trading Platform. In *2021 International Conference on Information Networking (ICOIN)* (pp. 5-7). IEEE.

[39] **Niloy, F. A., Nayeem, M. A., Rahman, M. M., & Dowla, M. N. U.** (2021, January). Blockchain-Based Peer-to-Peer Sustainable Energy Trading in Microgrid using Smart Contracts. In *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)* (pp. 61-66). IEEE.

[40] **Afzal, M., Huang, Q., Amin, W., Umer, K., Raza, A., & Naeem, M.** (2020). Blokzincir enabled distributed demand side management in community energy system with smart homes. *IEEE Access*, *8*, 37428-37439.

[41] **Kang, W. M., Moon, S. Y., & Park, J. H**. (2017). An enhanced security framework for home appliances in smart home. *Human-centric Computing and Information Sciences*, *7*(1), 1-12

[42] **Peer-to-peer** (t.y.). *Vikipedi.* https://tr.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer

[43]**Bianche** (2020, Nov 19). *Binance P2P Alım Satım SSS.* https://www.binance.com/tr/support/faq/360038038972

[44] **Usta, A., & Doğantekin, S.** (tarih yok). *BLOKZİNCİR 101 V2.* BKM.

[45] **Glaser, F.** (2017, January). Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for Blokzincir enabled system and use case analysis. In *Proceedings of the 50th Hawaii international conference on system sciences*.

[46] "BLOKZİNCİR IN THE REAL WORLD," *PC Magazine,* Article pp. 115-119, 02// 2017.

[47] **Oyekola, A.** (2020). *Decentralized Solar Photovoltaic Distributed Generation Integrated with Blokzincir Technology: A Case Study in Lagos* (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).

[48] **Tanrıverdi, M., Uysal, M., & Üstündağ, M. T.** (2019*). Blokzinciri teknolojisi nedir? ne değildir?: alanyazın incelemesi.* Bilişim Teknolojileri Dergisi, 12 (3), 203–217.

[49] **S. Nakamoto.** (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [Online]. Available: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

[50] **Elysian, T**. (2018). The Global Emergence of Blokzincir Technology. *Accessed: Jan*, *25*, 2019.

[51] **Akkoyunlu, E. A., Ekanadham, K., & Huber, R. V**. (1975, November). Some constraints and tradeoffs in the design of network communications. In *Proceedings of the fifth ACM symposium on Operating systems principles* (pp. 67-74)

[52] **Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M**. (2019). The Byzantine generals problem. In *Concurrency: the Works of Leslie Lamport* (pp. 203-226).

[53] **Sert, T.** (2019, Eylül 23). *Sorularla Blockchain.* TBV (Türkiye Bilişim Vakfı).

[54]**Degesys, J.** (2022, Ocak 18). *PROOF-OF-STAKE (POS).* Ethereum. https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/

[55] **KIM, K., & JUSTL, J. M**. (2018). Potential Antitrust Risks in the Development and Use of Blockchain. *Journal of Taxation & Regulation of Financial Institutions*, *31*(3).

[56] **Musleh, A. S., Yao, G., & Muyeen, S. M.** (2019). Blockchain applications in smart grid–review and frameworks. *Ieee Access*, *7*, 86746-86757

[57]**Barimex Blockchain Technologies.** Blockchain Nasıl Çalışır?. https://www.barimeks.com/sss/blockchain-nasil-calisir

[58] **Malek Shahkoohi, J.** (2019). *Designing a Blockchain Network of Universities* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

[59] **Ozhan, C.** (2020, Feb 24). Blockchain Uygulama Geliştirme Rehberi — Genel Bakış — v1. https://medium.com/deeplab-tech/blockchain-uygulama-geli%C5%9Ftirme-rehberi-genel-bak%C4%B1%C5%9F-v1-6400c4ea4024

[60] **Szabo, N.** (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. *First monday*.

[61] **Buterin, V.** (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *white paper*, *3*(37), 2-1.

[62]**Ergin, Ö**. (2018, Sept 14). Ethereum (ETH) Nedir?. https://www.coinkolik.com/ethereum-nedir/

[63] **Ahmet, G. Ü. L., KÖROĞLU, Y., & Alper, Ş. E. N**. (2020, October). Machine Learning Based Bug Prediction Engine For Smart Contracts. In *2020 Turkish National Software Engineering Symposium (UYMS)* (pp. 1-6). IEEE.

[64] "Solidity", https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.7/

EKLER

Ek A İstenilen sayıda blok oluşturan Python kodu:

```
   # İstenen sayıda blok oluşturabilen PYTHON kodu
   #timestamp zaman damgasını ve
   # hash algorimaları oluştur
   import datetime
   import hashlib

   #blokta yer alacak verileri tanımla

   class Block:

       block_No = 0  # blok sayısı
       data = None  # blokta saklanan veri
       next = None
       nonce = 0
       hash = None
       previous_hash = 0x0
       timestamp = datetime.datetime.now()


       def __init__(self, data):
           self.data = data
   # proof of work için SHA256 kullanıldı
   # bu protokol sayısal imza standardında kullanılmak üzere
   # tasarlanmış bir şifreleme algoritmasıdır.
   #Algoritmaların hızlı çalışması için verinin kendisi değil özeti imzalanır.
       def hash(self):
           h = hashlib.sha256()
           h.update(
           str(self.block_No).encode('utf-8') +
           str(self.data).encode('utf-8') +
           str(self.nonce).encode('utf-8') +
           str(self.previous_hash).encode('utf-8') +
           str(self.timestamp).encode('utf-8')
           )
           # hexademical'a dönüştür
           return h.hexdigest()

       def __str__(self):
           #blok değerlerini yaz
           return  "index: " + str(self.block_No) +  "\nTimestamp: " + str(self.ti
mestamp) + "\nData: " + str(self.data) +"\nPrevious Hash: " + str(self.previous_ha
sh) + "\nBlock Hash: " + str(self.hash())  + "\nHashes: "  + str(self.nonce) + "\n
--------------"

   # zincir yapısını oluştur
   class Blokzincir:

       diff = 20                   # madencilikteki zorluk
       maxNonce = 2**32
```

```
        target = 2 ** (256-diff)
        block = Block("Genesis")     # İlk bloğu oluştur
        head = block

        def add(self, block):

            # BİR önceki blokğun hash i ile yeni hash oluştur
            block.previous_hash = self.block.hash()
            block.block_No = self.block.block_No + 1  #zincire ekleyerek devam et
            self.block.next = block
            self.block = self.block.next

        # bloğun zincire eklenip eklenmeyeceğinin kararını oluştur
        def mine(self, block):
            for n in range(self.maxNonce):
        #verilen bloğun hash değeri hedef değerimizden az mı?
        #öyle ise bloğu ekle
                if int(block.hash(), 16) <= self.target:
                    self.add(block)
                    print(block)
                    break
                else:
                    block.nonce += 1

    Blokzincir = Blokzincir()

    #istenilen sayıda madencilik yapar şimdi 7 blok için
    for n in range(7):
        Blokzincir.mine(Block("Block " + str(n+1)))

    #her bloğu zincirde yaz
    while Blokzincir.head != None:
        print(Blokzincir.head)
        Blokzincir.head = Blokzincir.head.next
```

Ek A1 7 blok ile oluşturulan Python blockhain çıktısı.

```
index: 0
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Genesis
Previous Hash: 0
Block Hash: 7be98b67ae6f9e0d996c86ee335a05e84841691d1d59d83382d57af6f6e7596c
Hashes: 0
    --------------
index: 1
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 1
Previous Hash: 7be98b67ae6f9e0d996c86ee335a05e84841691d1d59d83382d57af6f6e7596c
Block Hash: c8a40e250cf9a2c4eb723a9a7e719c6efb91698ff972adb346b24cdf6670fcf4
Hashes: 1870804
    --------------
index: 2
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 2
Previous Hash: c8a40e250cf9a2c4eb723a9a7e719c6efb91698ff972adb346b24cdf6670fcf4
Block Hash: 2b9de105457cab36b15d53a56e46d930b5a0baf668299935ffa3577a42bd6d52
Hashes: 1168587
    --------------
index: 3
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 3
Previous Hash: 2b9de105457cab36b15d53a56e46d930b5a0baf668299935ffa3577a42bd6d52
Block Hash: 0ba6735b5079986e63ae05ff7a2214f0bb0953911c5b812a8f45284b05229eef
Hashes: 227448
    --------------
index: 4
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 4
Previous Hash: 0ba6735b5079986e63ae05ff7a2214f0bb0953911c5b812a8f45284b05229eef
Block Hash: 075c35e6f58a39333490737f44a4a5adb9fddb42badb9ce16c4a8853869bb764
Hashes: 675466
    --------------
index: 5
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 5
Previous Hash: 075c35e6f58a39333490737f44a4a5adb9fddb42badb9ce16c4a8853869bb764
Block   Hash: e79eefa052009b54b485956f9b2ca9ce158a9a391024694c8c8302e5aef52bf2
Hashes: 1012527
    --------------
index: 6
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 6
Previous Hash: e79eefa052009b54b485956f9b2ca9ce158a9a391024694c8c8302e5aef52bf2
Block Hash: 7a0f12566a190b4d48958aed39accf866bfc1f99ac7e48b1c338a0cd46280e9a
Hashes: 975686
    --------------
index: 7
Timestamp: 2021-06-27 20:01:27.494145
Data: Block 7
Previous Hash: 7a0f12566a190b4d48958aed39accf866bfc1f99ac7e48b1c338a0cd46280e9a
Block Hash: e0a3a3b36e326a0b002f65a39a0378e4aee5b00f1fa279645ec77e421ba37d7a
Hashes: 413894
    --------------
```

Ek B Oluşturulan Web sayfası için veri tabanından bilgilerin alınması için SQL komutu:

```
CREATE DATABASE Trade

USE [Trade]
GO

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[EnergyS_Table](
	[TransactionId] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
	[Name] [varchar](500) NULL,
	[ProducerId] [int] NULL,
	[timestamp] [datetime] NULL,
	[FiscalCode] [varchar](500) NULL,
	[QuantityEnergy] [varchar](500) NULL,
	[ProducerName] [varchar](500) NULL,
	[SelectDistance] [varchar](500) NULL,
	[Select_DM_Per_Km] [varchar](500) NULL,
	[Cost] [real] NULL

 CONSTRAINT [PK_EnergyS_Table] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
	[TransactionId] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF,
ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Client_Table](
	[Id] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
	[UserName] [varchar](500) NULL,
	[CreatedUserId] [int] NULL,
	[timestamp] [datetime] NULL,
	[FiscalCode] [varchar](500) NULL,
	[UserAddress] [varchar](500) NULL,
	[UserType] [varchar](500) NULL,
	[ProducedEnergy] [varchar](500) NULL,
	[ConsumedEnergy] [varchar](500) NULL,

 CONSTRAINT [PK_Client_Table] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
	[Id] ASC
```

```
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF,
ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Users_Table](
	[UserId] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
	[UserName] [varchar](500) NULL,
	[Pwd] [varchar](500) NULL,
	[Role] [varchar](50) NULL,
	[CreatedUserId] [int] NULL,
	[FiscalCode] [varchar](500) NULL,
	[UserAddress] [varchar](500) NULL,
	[UserType] [varchar](500) NULL,
	[ProducedEnergy] [varchar](500) NULL,
	[ConsumedEnergy] [varchar](500) NULL
    CONSTRAINT [DF_Users_Table_CreatedUserId]  DEFAULT ((0)),
 CONSTRAINT [PK_Users_Table] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
	[UserId] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF,
ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Price_Table](
	[ppId] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
	[Distance] [varchar](500) NULL,
	[Per_km_Price] [varchar](500) NULL,
	[CreatedbyUserId] [int] NULL,
 CONSTRAINT [PK_Price_Table] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
	[ppId] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF,
ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
```

Ek B1 Giriş sayfası Login.aspx.cs kodu:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;
using System.Configuration;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
using System.Linq;


public partial class Login : System.Web.UI.Page
{
    protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            // Request.Cookies["user"].Expires = DateTime.Now.AddMinutes(-30);
            Request.Cookies.Remove("user");
            Session.RemoveAll();
        }
        catch (Exception)
        {


        }

    }

    protected void btnLogin_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (inputEmail.Value.ToUpper() == "BLOCK" && inputPassword.Value.ToUpper()
== "CHAIN")
        {
            Session["userid"] = "1";
            Session["role"] = "Admin";
            Session["username"] = "Admin";
            Session["IsAuth"] = "true";
            Response.Redirect("Home.aspx");
        }
        else
        {
            LoginDetails log = ValidateUser(inputEmail.Value,
inputPassword.Value);
            if (log.IsAuthUser)
            {
                Session["userid"] = log.UserId;
                Session["username"] = log.UserName;
                Session["IsAuth"] = log.IsAuthUser;
                Session["role"] = log.Role;
                Response.Redirect("Home.aspx");
            }
            else
```

```
            {
                Response.Redirect("Login.aspx");
            }
        }

    }

    private LoginDetails ValidateUser(string username, string password)
    {
        LoginDetails obj = new LoginDetails();
        obj.IsAuthUser = false;
        try
        {
            SqlConnection con = new
SqlConnection(ConfigurationManager.ConnectionStrings["bs"].ConnectionString);
            SqlDataAdapter da;
            DataSet ds = new DataSet();
            string query= "select * from users_table where username='" +
username.Trim() + "' and pwd='" + password.Trim() + "'";
            da = new SqlDataAdapter(query, con);
            con.Open();
            da.Fill(ds);
            if (ds.Tables[0].Rows.Count > 0)
            {
                obj.IsAuthUser = true;
                obj.UserName = ds.Tables[0].Rows[0]["UserName"].ToString();
                obj.UserId = int.Parse(
ds.Tables[0].Rows[0]["UserId"].ToString());
                obj.Role = ds.Tables[0].Rows[0]["Role"].ToString();
            }
        }
        catch (Exception ex)
        {
            obj.IsAuthUser = false;
        }
        return obj;

    }

    private struct LoginDetails
    {
        public int UserId { get; set; }
        public string UserName { get; set; }
        public string Role { get; set; }
        public bool IsAuthUser { get; set; }
    }

    protected void BtnSignUp_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Response.Redirect("AddUser.aspx");
    }
   }
```

Ek B2 *EnergyTrading.aspx.cs* kodu:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
using System.Configuration;

public partial class EnergyTrading : System.Web.UI.Page
{
    protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        if (Session["Userid"] == null)
        {
            Response.Redirect("Login.aspx");
        }
        LibraryDb.SelectCommand = "SELECT * FROM [Price_Table] Where
[CreatedByUserId]='" + Session["UserId"].ToString() + "'";
    }
    protected void BtnAdd_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            SqlConnection conn = new
SqlConnection(System.Configuration.ConfigurationManager.ConnectionStrings["TradeConnect
ionString"].ConnectionString);
            SqlCommand cmd = new SqlCommand("insert into [Price_Table]
(Distance,Per_km_Price,CreatedByUserId) values (@Distance,@Per_km_Price,@Userid)",
conn);
            cmd.Parameters.AddWithValue("@Distance", txtDistance.Text);
            cmd.Parameters.AddWithValue("@Per_km_Price", txtPer_km_Price.Text);
            cmd.Parameters.AddWithValue("@Userid", Session["Userid"].ToString());
            try
            {
                conn.Open();
                cmd.ExecuteNonQuery();
                GridView2.DataBind();
                txtDistance.Text = "";
                txtPer_km_Price.Text = "";
            }
            catch (Exception ex)
            {
            }
            finally
            {
                conn.Close();
            }
        }
        catch (Exception ex)
        {

        }
    }
   }
```

Ek B3 Enerji alım satımı yapan kullanıcıların kaydedildiği tablonun *EnergySoldTable.aspx.cs* kodu:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
using System.Configuration;

public partial class EnergySoldTable : System.Web.UI.Page
{
       protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        if (Session["Userid"] == null)
        {
            Response.Redirect("Login.aspx");
        }
    }
    protected void btnBuy_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
           SqlConnection conn = new
SqlConnection(System.Configuration.ConfigurationManager.ConnectionStrings["TradeConnect
ionString"].ConnectionString);
            SqlCommand cmd = new SqlCommand("INSERT INTO dbo.[EnergyS_Table]
(Name,ProducerId,timestamp,FiscalCode,QuantityEnergy,SelectDistance,ProducerName,Select
_DM_Per_Km,Cost) Values
(@Name,@ProducerId,@timestamp,@FiscalCode,@QuantityEnergy,@SelectDistance,@ProducerName
,@Select_DM_Per_Km,@Cost)", conn);
            cmd.Parameters.AddWithValue("@ProducerId", Session["UserId"].ToString());
            try
            {
                conn.Open();
                cmd.ExecuteNonQuery();
                GridView3.DataBind();
            }
            catch (Exception ex)
            {
                Response.Write(ex.Message);
            }
            finally
            {
                conn.Close();
            }
        }
        catch (Exception ex)
        {
            Response.Write(ex.Message);
        }
    }
}
```

Ek C1 EnergyTrading.sol Solidty akıllı sözleşme kodları

```
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.11;        // choose the contract version

contract EnergyTrading {        // define the block to create the contract

    // define state variables
    address public SmartUser;
    mapping (address => uint) public EnergyQuantity;

        constructor() {
        SmartUser = msg.sender;
        EnergyQuantity[address(this)] = 1000;

    }

    function getEnergyTradingQuantity() public view returns (uint) {
        return EnergyQuantity[address(this)];
    }

    function ProducedEnergy(uint amount) public {
        require(msg.sender == SmartUser, "Only the USERS can change.");
        EnergyQuantity[address(this)] += amount;
    }

    // Trade Energy with contract
    function Purchase(uint amount) public payable {
        require(msg.value >= amount * 1 ether, "Pay 1 eth");
        require(EnergyQuantity[address(this)] >= amount, "Not enough to trade");
        EnergyQuantity[address(this)] -= amount;
        EnergyQuantity[msg.sender] += amount;
    }
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Şeyda Yoncacı

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği