



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

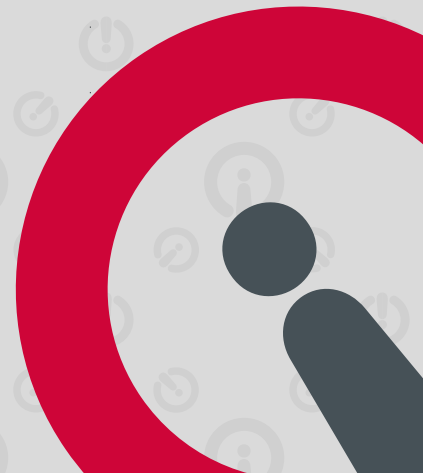
**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**AKILLI ŞEBEKELERE
BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN
UYGULANMASI VE AKILLI
SÖZLEŞME OLUŞTURULMASI**

Çağdaş Ozan PAMUK

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MAYIS 2023





**AKILLI ŞEBEKELERE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN
UYGULANMASI VE AKILLI SÖZLEŞME OLUŞTURULMASI**

Çağdaş Ozan PAMUK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

Çağdaş Ozan PAMUK tarafından hazırlanan “AKILLI ŞEBEKELERE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN UYGULANMASI ve AKILLI SÖZLEŞME OLUŞTURULMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Melikşah ÖZAKTÜRK

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.

.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Necmi Cemal ÖZDEMİR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/05/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Çağdaş Ozan PAMUK

05/05/2023

AKILLI ŞEBEKELERE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN UYGULANMASI VE
AKILLI SÖZLEŞME OLUŞTURULMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Çağdaş Ozan PAMUK

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2023

ÖZET

Elektrik enerjisi sektöründe gerçekleşen son teknolojik gelişmelerle birlikte mevcut elektrik şebekesinde tüketici statüsündeki abonelerin aynı zamanda birer üretici konumuna geçebilmesi ve enerji depolama sistemlerinin elektrik şebekesine entegre edilmesiyle büyük güçlü ve az sayıda enerji üretim santrallerinin bulunduğu geleneksel şebekenin yerini küçük güçlü ve çok sayıda enerji üretim birimlerinin olduğu akıllı şebekenin alması öngörülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak geleneksel elektriksels şebekelerinde oluşacak değişimler ve dijital dönüşüm süreçlerinin etkisiyle akıllı şebekelere geçiş kaçınılmaz bir hal alacaktır. Son yıllarda hemen hemen her sektörde değişimin öncüsü olan blokzincir teknolojisinin sağlamış olduğu yüksek güvenilirli peer-to-peer yapısının akıllı şebekelerdeki veri trafiğinin yönetimi ve depolanması süreçlerinde sağlayacağı teknik faydaların yanında akıllı şebekelerde akıllı sözleşmelerin kullanımıyla beraber elektrik abonelerin, abonelik talebiyle başlayan, enerji ticaretiyle devam eden ve en sonunda abonelik sürecinin sonlandırılmasıyla tamamlanan tüm süreçlerde ıslak imza ve kağıt kullanım zorunluluğu ortadan kaldırılmakta ve bunun sonucu olarak da “Karbon Ayak İzinin Azaltılması”, “Sürdürülebilirlik” ve “Verimlilik” konusunda avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, blokzincir teknolojisinin enerji sektörünün bir parçası olan akıllı şebekelere nasıl entegre edilebileceğine dair bilgiler yer almakla birlikte bir elektrik abonesinin tüm işlemlerini blokzincir aracılığıyla nasıl yapabileceği ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca bu işlemlerin gerçekleşmesi için kullanılacak bir akıllı sözleşme örneği oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Akıllı şebekeler, Blokzincir, Yenilenebilir enerji, Geleneksel ve akıllı şebeke farklılıkları, Akıllı sözleşmeler, Kripto varlıklar, E-imza
Sayfa Adedi : 117
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Melikşah ÖZAKTÜRK

APPLYING BLOKCHAIN TECHNOLOGY TO SMART GRIDS
AND SMART CONTRACT CREATION
(M. Sc. Thesis)

Çağdaş Ozan PAMUK

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

MAY 2023

ABSTRACT

With the latest technological developments in the electrical energy sector, in the existing electricity network, subscribers in the status of consumers can also become producers and integrating energy storage systems into the electricity grid. It is envisaged that the traditional grid with large power and few power generation plants will be replaced by the smart grid with small power and many power generation units. As a result of this situation, the transition to smart grids will become inevitable with the changes that will occur in traditional electrical networks and the impact of digital transformation processes. In addition to the technical benefits that the high-security peer-to-peer structure provided by blockchain technology, which has been the pioneer of change in almost every sector in recent years, will provide in the management and storage of data traffic in smart networks. With the use of smart contracts in smart grids, electricity subscribers' obligation to use wet signatures and paper in all processes that start with a subscription request, continue with energy trade, and end with the termination of the subscription process, is eliminated as a result of this it provides advantages in “Reducing Carbon Footprint”, “Sustainability” and “Efficiency”. In this study, information on how blockchain technology can be integrated into smart grids, which is a part of the energy sector, is presented in detail, as well as how an electricity subscriber can perform all transactions through blockchain. In addition, an example of a smart contract has been created to be used for realization of these transactions.

Key Words : Smart grids, Blockchain, Renewable energy, Traditional and smart grid differences, Smart contracts, Cryptocurrencies, E-Signature

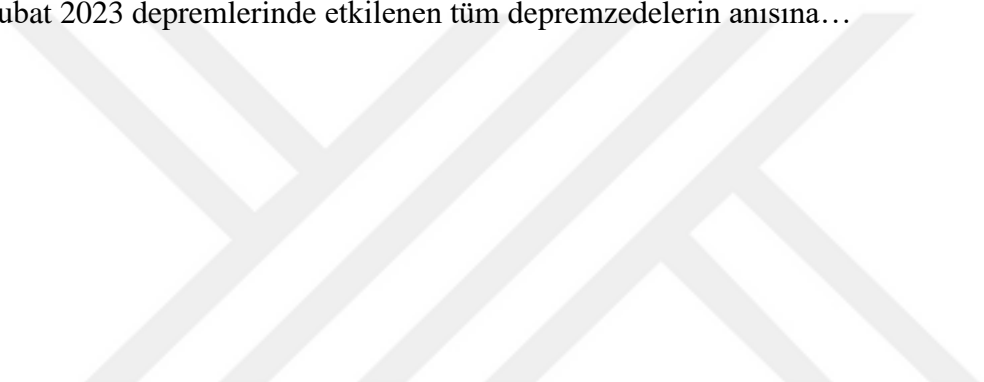
Page Number : 117

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Melikşah ÖZAKTÜRK

TEŐEKKÖR

Bu alıőmamı hazırlarken desteklerini esirgemeyen aileme, bilgisi ve tecrübesiyle sürekli olarak yanımda olarak yüksek lisans çalıőmam süresince desteğini üzerimden eksik etmeyen danışman hocam Sayın Dr. Melikşah ÖZAKTÖRK'e, tezimin son döneminde vermiő olduğu desteklerden için Sayın Dr. Murat FURAT'a ve lisans öğrencilik dönemimden beri desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Necmi Cemal ÖZDEMİR'e ve bu eğitim hakkını bizlere tanıyan devletimize teőekkör ederim.

06 Őubat 2023 depremlerinde etkilenen tüm depremzedelerin anısına...



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. PROBLEM TANIMI VE AMAÇ	3
3. AKILLI ŞEBEKELER KAVRAMINA GENEL BAKIŞ.....	6
3.1. Akıllı Şebekeler Kavramına Giriş.....	6
3.2. Akıllı Altyapı Sistemleri	11
3.2.1. Akıllı enerji alt sistemleri.....	11
3.2.2. Akıllı bilgi alt sistemleri	15
3.3. Akıllı Yönetim Sistemleri	18
3.3.1. Akıllı Yönetim Sistemlerinin Amaç ve Hedefleri.....	19
3.4. Akıllı Şebekelerde Akıllı Koruma Sistemleri	20
3.4.1. Akıllı şebekelerde sistem güvenliği ve arıza koruması.....	20
3.4.2. Akıllı şebekelerde gizlilik ve güvenilirlik kavramları	21
4. BLOKZİNCİR KAVRAMI	22
4.1. Blokzincir Kavramının Tarihçesi.....	24
4.2. Blokzincir Sisteminin Çalışma Mantığı	24
4.3. Client/Server ile Peer-to-Peer (P2P) Protokollerinin Özellikleri.....	31
5. BLOKZİNCİR MİMARİSİ	33
5.1. Blokzincirde Çatallanma.....	41
5.2. Blokzincir Çeşitleri	42
5.2.1. Açık(Umumi) blokzincir.....	42
5.2.2. Konsorsiyum blokzincir.....	43

	Sayfa
5.2.3. Özel blokzincir.....	44
5.2.4. Hibrit blokzincir.....	44
6. BITCOIN VE ETHEREUM	45
6.1. Bitcoin.....	45
6.1.1. Bitcoin'in temel özellikleri	45
6.1.2. Bitcoin genel değerlendirme	47
6.2. Ethereum.....	48
7. ENERJİ SEKTÖRÜNDE BLOKZİNCİR	52
7.1. Elektrik Enerjisi ve Üretim, İletim ve Dağıtım	52
7.2. Elektrik Enerjisi Tedarik Zinciri	53
7.3. Enerji Arz / Talep Süreci.....	54
7.4. Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtımında Veriler ve Veritabanları.....	57
7.5. Blokzincir Temelli Enerji Sistemlerinin Çalışma Süreci	58
7.6. Blokzincir Teknolojisinin Enerji Sektöründe Kullanılmasının Avantaj ve Dezavantajları	60
8. AKILLI ŞEBEKELERDE BLOKZİNCİR KULLANIMI	61
8.1. Enerji Sektöründe Blokzincir Uygulamaları.....	62
8.2. Akıllı Şebekelerde Blokzincir Kullanım Alanları.....	64
8.2.1. Enerji ticareti.....	65
8.2.2. Elektrikli araçlar.....	65
8.2.3. Mikroşebekeler	66
8.2.4. Siber – Fiziksel altyapı.....	66
8.2.5. Merkezi olmayan akıllı şebeke	67
8.3. Akıllı Şebekelerde Blokzincir Teknolojisi Kullanımının Avantajları	68
9. AKILLI ŞEBEKELERDE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ UYGULAMALARI	69
9.1. Blokzincir Teknolojisinin Akıllı Şebekelere Uyarlanması.....	69
9.2. Blokzincir Teknolojisinin Akıllı Şebekelerde Kullanım Örnekleri.....	72
9.2.1. WePower projesi.....	72
9.2.2. Power Ledger platformu	73
9.2.3. LO3 projesi	73
9.2.4. Sonnen Community projesi.....	73

	Sayfa
9.2.5. Piclo projesi	74
9.2.6. Sun Exchange projesi	74
9.2.7. Bankymoon projesi.....	74
10. AKILLI ŞEBEKELERDE AKILLI SÖZLEŞME KULLANIMI.....	75
10.1. Akıllı Sözleşmelerin Genel Özellikleri	75
10.1.1. Kendini uygulama ve otomasyon.....	75
10.1.2. Tamper-proof yapı	76
10.1.3. Güvenilirlik	76
10.1.4. Şeffaflık ve erişilebilirlik	76
10.1.5. Güvenlik.....	76
10.1.6. Hız ve güvenilirlik	76
10.1.7. Kendini doğrulama.....	77
10.1.8. Hesaplama performansı ve masraf.....	77
10.1.9. Yazılım dili seçimi	78
10.2. Akıllı Sözleşmelerin Altı Katmanı.....	79
10.3. Akıllı Sözleşmenin Maliyetinin Hesaplanması.....	81
10.4. Enerji Ticaretinde Kullanılanacak P2P Akıllı Sözleşmenin Akış Şemasının Oluşturulması	82
10.5. Enerji Ticareti Akıllı Sözleşmesi	84
11. AKILLI ŞEBEKE SİSTEMİ İÇERİSİNDE KULLANILABİLECEK BİR AKILLI SÖZLEŞMENİN OLUŞTURULMASI	86
11.1. Akıllı Sözleşme (Smart Contract)'nin Oluşturulması.....	88
11.2. ERC-20 Kavramı	90
11.3. ERC-20 Kontratı Kullanılarak Akıllı Kontratın Oluşturulması.....	91
11.4. Akıllı Sözleşmelerde MetaMask'ın Kullanımı	103
11.5. Akıllı Sözleşmelerin Belirlenmiş Olan Ağda Çalışması.....	104
12. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR.....	110
DİZİN.....	117

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Enerji üretim biriminin şebekeye bağlı olup/olmaması durumuna göre gerekli işlemler.....	4
Şekil 3.1. Akıllı şebeke kavramsal modeli (NIST).....	8
Şekil 3.2. Akıllı şebekenin paydaşları.....	10
Şekil 3.3. Akıllı şebeke üzerine yapılan çalışmaların detaylı sınıflandırılması.....	11
Şekil 3.4. Dağıtık üretim sistemlerinin sınıflandırılması.....	12
Şekil 3.5. WSN düğüm mimarisi.....	16
Şekil 4.1. Veritabanı türlerinin şeması.....	26
Şekil 4.2. Başlangıç (Genesis) bloğu.....	28
Şekil 4.3. SHA256 fonksiyonunun çalışmasına yönelik bir örnek.....	29
Şekil 4.4. 6 Adımda blokzincir transfer işlemi.....	30
Şekil 4.5. Merkezi sunucu ile Peer-to-Peer (P2P) protokolleri.....	31
Şekil 5.1. Genel blok yapısı.....	33
Şekil 5.2. Blok yapısı.....	33
Şekil 5.3. Merkle Root (Merkle Kökü).....	35
Şekil 5.4. El imzası ve dijital imza karşılaştırması.....	38
Şekil 5.5. Dijital imza çalışma prensibi.....	39
Şekil 5.6. Blokzincirin çalışma sürecinin işleyişi.....	40
Şekil 5.7. Blokzincirlerde fork (Çatallanma) örneği.....	41
Şekil 5.8. Blokzincir türleri.....	43
Şekil 7.1. Enerji tedarik zinciri süreci.....	54
Şekil 7.2. Geleneksel üretim ve tüketim yönetimi.....	55
Şekil 7.3. Akıllı şebekelerde üretim ve tüketim yönetimi.....	56
Şekil 7.4. Geleneksel süreç ve blokzincir temelli sistemlerdeki süreçler.....	59
Şekil 8.1. Blokzincir'in tarihsel gelişimi.....	62
Şekil 8.2. Akıllı şebeke kullanım örnekleri.....	64
Şekil 8.3. Blokzincir destekli akıllı şebeke kullanım örneği.....	67
Şekil 9.1. Enerji sektörü genel görünüm: geleneksel ve gelecek.....	70
Şekil 10.1. Enerji sistemlerinde 6 katmanlı akıllı sözleşme.....	79
Şekil 10.2. P2P enerji ticareti için örnek bir akıllı sözleşmenin akış şeması.....	83

Şekil	Sayfa
Şekil 11.1. Blokzincir ve akıllı şebekeler için yapı örneği.....	87
Şekil 11.2. remix.ethereum.org arayüzü	89
Şekil 11.3. ERC-20 kontratı üzerinden oluşturulacak token'ların tanımlanması	91
Şekil 11.4. ERC-20 kontratı dışında tanımlanmış kontratlar	91
Şekil 11.5. remix.ethereum.org arayüzünde yer alan simgeler	92
Şekil 11.6. Kontrat tipinin seçilmesi.....	93
Şekil 11.7. Deploy & Run transactions bölgesi	94
Şekil 11.8. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan constructor komutunun kullanımı ...	95
Şekil 11.9. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan mapping komutunun kullanımı	95
Şekil 11.10. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “uint256 totalSupply” komutunun kullanımı	96
Şekil 11.11. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function totalSupply” komutunun kullanımı	96
Şekil 11.12. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function balanceOf” komutunun kullanımı	96
Şekil 11.13. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function transfer” komutunun kullanımı	97
Şekil 11.14. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function approve” komutunun kullanımı	97
Şekil 11.15. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function allowance” komutunun kullanımı	98
Şekil 11.16. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function transferform” komutunun kullanımı	98
Şekil 11.17. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “SafeMath” komutunun kullanımı	98
Şekil 11.18. Deployed Contract’ın seçimi	99
Şekil 11.19. Deploy & Run Transactions bölümünden account seçimi	99
Şekil 11.20. Kontratın çalışması sonrasında yer alan detaylar	100
Şekil 11.21. Kontratın çalışmasıyla transfer işleminin gerçekleşmesi	100
Şekil 11.22. Kontratın çalışması sonrasında süreçle ilgili bilgiler.....	101
Şekil 11.23. Kontrat için “Decimals”, “Name”, “Symbol”, “Totalsupply” değerlerinin girilmesi	101

Şekil	Sayfa
Şekil 11.24. Kontrat için “Decimals”, “Name”, “Symbol”, “Totalsupply” bölümlerine değer atanması	102
Şekil 11.25. Kontratın çalışması sonucu yapılan token transferine ait bilgiler	102
Şekil 11.26. “MetaMask” cüzdanında yapılan işlem ve bu işleme ait tahmini Gas ücreti	103
Şekil 11.27. rinkeby.etherscan.io adresi üzerinden “MetaMask” a tanımlanan adresin incelenmesi.....	105



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yapılacak işlemler ve kullanılabilir blokzincir teknolojisi.....	5
Çizelge 5.1. Bitcoin blok yapısı.....	34
Çizelge 5.2. Bitcoin blok başlığı yapısı	35
Çizelge 5.3. Bitcoin'in genel veri yapısı.....	36
Çizelge 5.4. Bitcoin'in girdi veri yapısı	37
Çizelge 5.5. Bitcoin'in çıktı veri yapısı	37
Çizelge 5.6. Açık blokzincir, Konsorsiyum blokzincir, Özel blokzincir türlerinin özellikleri	42
Çizelge 7.1. Akıllı elektrik şebekelerinde ihtiyaç duyulan veriler ve gereklilikleri....	57
Çizelge 12.1. Akıllı şebekelerle yapılacak işlemler ve kullanılabilir blokzincir teknolojisi	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
COP26	UN Climate Change Conference 2021
DOS	Denial of Service (Hizmet Reddi)
DRM	Demand Response Management (Talep Tepkisi Yönetimi)
DLT	Distributed Ledger Technology (Dağıtık Defter Teknolojisi)
EI	Internet of Energy (Enerji İnterneti)
ERC-20	Ethereum Request for Comments (Ethereum İçin Yorum İsteği)
EVM	Ethereum Virtual Machine (Ethereum Sanal Makine)
FAN	Field Area Network (Saha Alan Ağı)
GPRS	General Packet Radio Service (Genel Radyo Paket Servisi)
HAN	Home Area Network (Ev Alan Ağı)
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	The Institute of Electrical and Electronic Engineers
NAN	Neighborhood Area Network (Yakın/Komşu Alan Ağı)
NIST	National Institute of Standards and Technology
OSOS	Otomatik Sayaç Okuma Sistemleri
P2P	Peer to Peer (Eşten Eşe)
PoW	Proof of Work (İş Kanıtı)
PMU	Phasor Measurement Unit (Fazör Ölçü Birimi)
QoS	Quality of Service (Servis Kalitesi)
RPoW	Reusable Proofs of Work (Yeniden Kullanılabilir İş Kanıtı)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
UTXO	Unspent Transaction Output (Harcanmamış İşlem Çıktısı)
V2G	Vehicle to Grid (Araçtan Şebekeye)
WSN	Wireless Sensor Network (Kablosuz Sensör Ağları)
WAN	Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
WMN	Wireless Mesh Network (Kablosuz Örgü Ağı)
WPAN	Wireless Personal Area Network (Kablosuz Kişisel Alan Ağı)
YEM	Yenilenebilir Enerji Mikroşebeke
YEÜB	Yenilenebilir Enerji Üretim Birimi

1. GİRİŞ

“Green New Deal”, “Daha Yeşil Bir Dünya”, “Karbon Ayak İzinin Azaltılması”, “İklim Değişikliği” gibi kavramlar her geçen gün biraz daha fazla duyulmaya ve sıkça konuşulmaya başlanmıştır. Bu kavramlarla beraber gündeme gelen kavramlardan birisi de Akıllı Şebekeler’dir. Akıllı şebeke kavramının temeline bakıldığında ise fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru ciddi bir yönelimin etkisiyle ortaya çıktığını görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi konusunda yoğun çalışmalar sürse de aklımıza ilk gelen yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar ve hidrodur. Akıllı şebeke kavramına biraz dahada detaylı bakıldığında elektrik enerjisi üretiminin geleneksel şebekelerde bulunan sayıda büyük güçteki enerji santrali yerine sistemin küçük güçte çok sayıda enerji üretim birimleriyle beslenmesini hedeflediği görülmektedir. Akıllı şebekeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanıldığı; tüketicinin kendi kendine yetmesini amaçlayan ve aynı zamanda mümkünse de ürettiği enerjinin fazlasını satabilen ideal bir sistemdir.

Son yıllarda yenilenebilir enerji teknolojileri konusunda yenilikler ve bu teknolojinin maliyetlerin düşmesiyle beraber konvansiyonel elektrik şebekelerinin mevcut durumu sorgulanmaya başlanmıştır. Tüketicilerin aynı zamanda üretici olabilme ihtimalinin de olduğu akıllı şebekelere olan yönelim her geçen gün artarak devam etmektedir. Günümüzde enerji depolama ünitelerinin de elektrik şebekelerine entegre edilmesiyle beraber yakın gelecekte dünya genelinde bu yönde yapılan yoğun çalışmaların bir sonucu olarak geleneksel elektrik şebekeleri akıllı şebekelere dönüşmeye başlamıştır.

Üzerinde yoğun şekilde akademik çalışmalar yürütülen kavramlardan birisi de “Blokzincir” teknolojisidir. Blokzincir teknolojisinin artık birçok sektörde kullanımı için (bankacılık, enerji, lojistik, sağlık, bilgi güvenliği, emlak, hukuk...) çok sayıda proje üzerinde yoğun çalışmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Blokzincir sisteminin nasıl çalıştığı, nasıl geliştirilebileceği ve blokzincir teknolojisinin altyapısının sağladığı avantajların farklı sektörlerde nasıl kullanılabileceğiyle ilgili olarak çalışmalar bir çok sektör tarafından yakından takip edilmektedir.

Blokzincir teknolojisinin kullanılması için yoğun olarak çalışıldığı sektörlerden birisi de enerji sektörüdür [1]. Bunun bir sonucu olarak da diğer sektörlerde olduğu gibi ciddi

değişimlere neden olacağı öngörülmektedir. Blokzincir teknolojisi dediğimizde ilk akla gelen kripto paralardan çok öte bir değere sahip olan “Ethereum” ve “Bitcoin” in altyapısının akıllı şebeke sistemlerinde nasıl kullanılabileceğine dair birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Dünya genelinde blokzincir teknolojisi konusunda oluşturulan “Akıllı Kontratlar” ın oluşturulması sürecinde kendine has kodlama altyapısına imkan veren “Ethereum” blokzinciri kullanılmaktadır. Akıllı şebeke sistemlerinde kullanılan blokzincir teknolojisi kullanımı konusunda da “Akıllı Kontratlar” ciddi bir çözüm noktası statüsüne sahiptir. Akıllı kontratlar ve blokzincir teknolojisinin enerji sektöründe kullanımıyla bereber enerji sektörünün ciddi bir yönetsel değişimin oluşacağı tahmin edilmektedir.

Hazırlamış olduğum bu tez çalışmasının; 3. bölümünde “Akıllı Şebekelere Genel Bakış”, 4. bölümde “Blokzincir Kavramı”, 5. bölümde “Blokzincir Mimarisi”, 6. bölümde “Bitcoin ve Ethereum” kavramları öncelikle ayrı ayrı incelenmiştir. 7. bölümde “Enerji Sektöründe Blokzincir” teknolojisi kullanımı konusu detaylı olarak incelenmiştir. 8. bölümde “Akıllı Şebekelerde Blokzincir Kullanımı”, 9. bölümde “Akıllı Şebekelerde Blokzincir Teknolojisi Uygulamaları” na yer verilmiştir. 10. bölümde “Akıllı Şebekelerde Akıllı Sözleşme Kullanımı”, 11. Bölümde “Akıllı Şebeke Sistemi İçerisinde Kullanılabilecek Bir Akıllı Sözleşmenin Oluşturulması” konuları yer almaktadır.

2. PROBLEM TANIMI VE AMAÇ

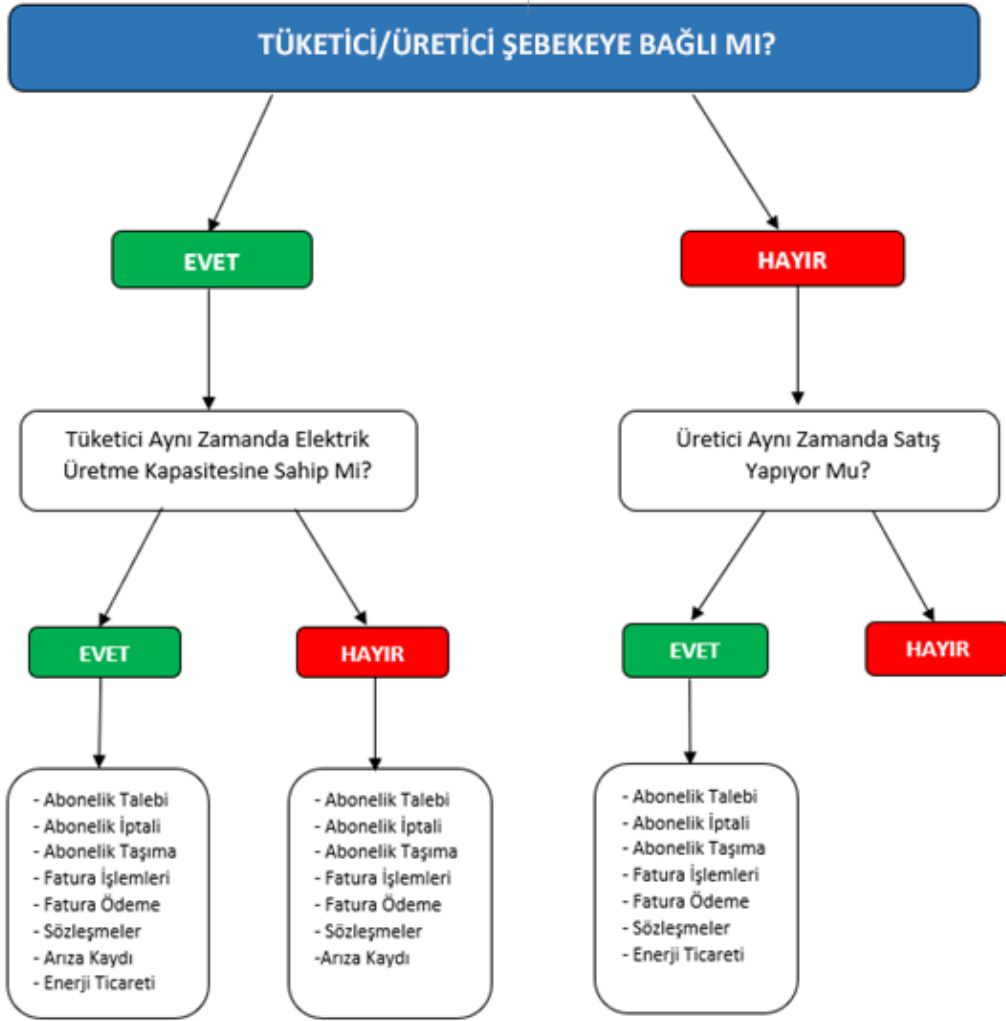
Covid-19 pandemi öncesinde de sıkça duymaya alıştığımız “karbon ayak izinin azaltılması”, “yeşil mutabakat”, “iklim değişikliği”, “sürdürülebilirlik” ve “verimlilik” kavramları pandemi sonrasında da dünya genelinde birçok değişimi tetikleyici bir etki yapmaktadır.

Son yıllarda artan teknolojik gelişmelerin ivmelenmesiyle beraber dünya genelinde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanması için de dünya genelinde yoğunluklu olarak yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan yönelimle beraber geleneksel elektrik şebekelerinin akıllı şebekelere dönüşümü hızlanmaya başlamıştır.

Akıllı şebekeler kavramı içerisinde geleneksel şebekeden farklı olarak enerji transferinin yanında yoğun bir veri trafiği de söz konusu olmaktadır. Bu verilerin gerek saklanması, gerek korunması gerekse de işlenmesi sürecinde blokzincir ve yapay zeka sıkça kullanılan teknolojilerdendir. Genel duruma baktığımızda bu yönelimlerin ve kullanılan bu teknolojilerin de ana amacının israfın önlenmesi, karbon ayak izinin azaltılması ve sürdürülebilir bir sistem dizayn edilmesi üzerine kurulması günümüzün en önemli ihtiyaçlarından biridir.

Akıllı şebeke sistemlerinde ortaya çıkan yüksek veri trafiği, abonelik, faturalandırma, fatura ödeme, sözleşme ve arıza kaydı gibi işlemlerin dijital ortamda; çevrecilik ve sürdürülebilirlik kavramlarının da dikkate alındığı bir sistem dizayn edilmek istenmektedir. Bu sistemin dizaynında blokzincir teknolojisinin bu ihtiyaçların tamamını karşılayan bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Blokzincir teknolojisinin kullanımının planlandığı bir enerji üretim biriminde öncelikli olarak sistemin çalışma düzeninin net şekilde anlaşılması gerekmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.1. incelendiği takdirde enerji üretim biriminin şebekeye bağlı olup olmaması durumuna göre üretici/tüketicinin hangi işlemlere ihtiyaç duyacağı kolaylıkla görülebilmektedir.



Şekil 2.1. Enerji üretim biriminin şebekeye bağlı olup/olmaması durumuna göre gerekli işlemler

Şekil 2.1. incelendiği takdirde,

- Abonelik Talebi
- Abonelik İptali
- Abonelik Taşıma
- Fatura İşlemleri
- Fatura Ödeme
- Sözleşmeler
- Arıza Kaydı
- Enerji Ticareti

İşlemlerinin güvenli ve hızlı şekilde gerçekleştirilebilmesi için blokzincir teknolojisindeki “E-İmza” ve “Akıllı Kontratlar” ın bu işlemler için yeterli olacağı görülmektedir.

Çizelge 2.1. incelendiği takdirde de hangi işlemin hangi blokzincir teknolojisiyle yapılabileceği görülmektedir.

Çizelge 2.1. Yapılacak işlemler ve kullanılacak blokzincir teknolojisi

İşlem	Kullanılacak Blokzincir Teknolojisi
Abonelik Talebi	E-İmza, Akıllı Sözleşme
Abonelik İptali	E-İmza, Akıllı Sözleşme
Abonelik Taşıma	E-İmza
Fatura İşlemleri	Akıllı Sözleşme Üzerinden Token’la Ödeme
Sözleşmeler	Akıllı Sözleşme
Arıza Kaydı	E-İmza
Enerji Ticareti	E-İmza, Akıllı Sözleşme, Token

Dizayn edilecek sistemin düzgün şekilde çalışmasının sağlanması ve çalışma prensibinin anlaşılması için; “Akıllı Şebeke” ve “Blokzincir” kavramlarının nasıl çalıştığının ve ihtiyaçların net şekilde tanımlanması gerekmektedir.

3. AKILLI ŞEBEKELER KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

3.1. Akıllı Şebekeler Kavramına Giriş

Uluslararası literatürde “Smart Grids” olarak tanımlanan akıllı şebeke kavramının en genel tanımı; verimlilik oranı artmış ve modernizasyonu yapılmış bir elektrik şebekesi olarak adlandırılmaktadır. Bu genel tanımın yanında akıllı şebekenin gerek teknolojik gerekse de fonksiyonel özellikleri dikkate alınarak çeşitli varyasyonlar da oluşturulabilmektedir.

“Akıllı Şebekelerle ilgili en yaygın olarak kullanılan tanım Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı’nın yapmış olduğu tanımdır. Bu tanıma göre akıllı şebeke; elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketiciye iletilmesi sürecindeki aşamalarda, elektrik şebekesinin verimliliğini, güvenliğini, güvenilirliğini daha fazla arttırabilmek adına kullanılan dijital teknolojidir. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ise akıllı şebekeyi; elektriğin üretimi, dağıtımı ve tüketimi sırasında iletişim ve bilgi teknolojilerinin artan bir şekilde kullanımıyla oluşan yeni nesil şebeke sistemi olarak tanımlanmıştır” [2].

Genel bir literatür taraması yapıldığında ise; “Verimliliği ve güvenilirliği yüksek, birbirleri ile uyum içerisinde çalışabilen, otomasyon altyapısıyla donatılmış iletim ve dağıtım sisteminden meydana gelen bir güç sistemi” [3] tanımıyla da sıkça karşılaşılmaktadır. Aynı zamanda sistemin “acil durum anında kendi kendini iyileştirme özelliğine sahip olması sayesinde; üretim/iletim/dağıtım şirketleriyle enerji pazarının ihtiyaçlarına cevap verebilen bir güç sistemi” [3] olarak da tanımlanabilmektedir.

Günümüz teknolojik gelişmelerinin de dikkate alınması durumunda sıkça dikkatimizi çeken tanımlardan birisi de: “Miktarı milyonlar ile ifade edilen tüketiciye hizmet veren ve gelişmekte olan dijital ekonominin ihtiyacına paralel olarak zamanında, güvenilir ve uyarlanabilir data transferini sağlayabilen, akıllı bir haberleşme altyapısına sahip güç sistemi tanımıdır” [3].

[2] ve [3] dışında bazı kaynaklarda da akıllı şebeke kavramı; Enerji İnterneti (Internet of Energy - IoE) şeklinde tanımlanmaktadır. Enerji İnterneti kavramı genel olarak enerji üreticileri için elektrik altyapılarının yükseltilmesi ve otomatikleştirilmesi anlamına gelen teknolojik bir terimdir [4]. Yüksek teknolojiye sahip ürünlerle enerji üretimi sayesinde en az atık miktarıyla yüksek verim ve sürdürülebilirlik amaçlanmaktadır. IoE kavramının; akıllı

şebekeler için büyük önem arz eden Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) kavramından türetildiğini savunan bazı çalışmalar mevcuttur.

IoE ve IoT kavramları birbirine benzer özelliklere sahip olmasına rağmen farklı kavramlardır. IoT kavramının enerji sistemlerinde bir karşılığı olarak IoE kavramı ortaya çıkmıştır. IoE sayesinde elektrik altyapılarında uzaktan güncellemeler yapılabilen, verimlilik konusunda ideal değerler otomatik olarak ayarlanabilmekte ve bu sayede enerji israfının önüne geçilebilmektedir.

Akıllı şebekeler için olmazsa olmazlardan olan izleme, entegrasyon, analiz, uzaktan müdahale gibi ihtiyaçlar IoE sayesinde sağlanmaktadır. Ancak bazı kaynaklarda IoE kavramını tamamen göz ardı ederek IoT kavramı üzerinden konuya yaklaşmaktadır.

Akıllı Şebekelerle ilgili yapılmış en iyi tanımlardan birisi de Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Özet Raporuna göre akıllı şebeke; geleneksel elektrik üretim santrallerinin, iletim ve dağıtım hatlarının, enerji depolama birimlerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının, talep tarafı yönetiminin ortak bilgi ve haberleşme teknolojileri altyapısıyla birlikte oluşturulan elektrik şebekesi olup Denklem 3.1.'deki gibi formülize edilmiştir [5].

$$\int_{t \rightarrow 0}^{ICT} (\text{Geleneksel Üretim} + \text{İletim} + \text{Dağıtım} + \text{Depolama} + \text{Yenilenebilir Üretim} + \text{Üreten Tüketiciler} + \text{Yeni Yük Tipleri}) \quad (3.1.)$$

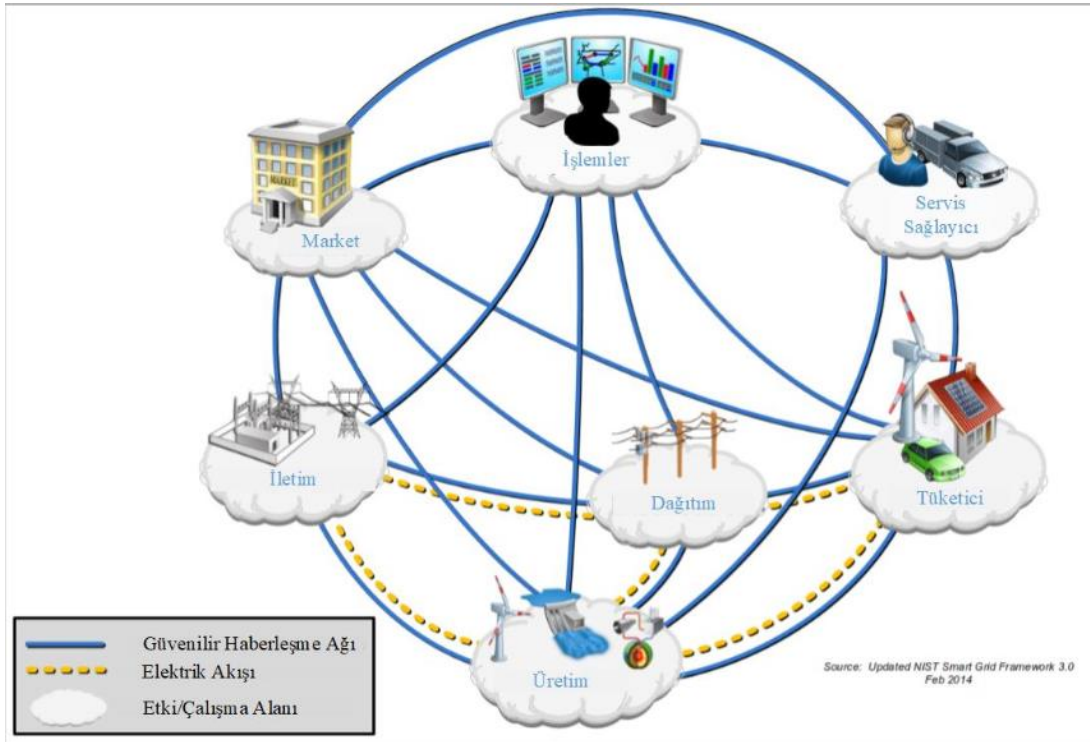
Denklem 3.1.'de yer alan ICT kavramı aslında akıllı şebekeler kavramı için büyük önem arz eden “Information Communication Technology” yani “Bilgi İletişim Teknolojisi”ni temsil etmektedir. Bu formüle göre akıllı şebeke; teorik olarak sonsuz sayıdaki üreticinin, iletim ve dağıtım şebekesinin, depolama sistemlerinin, tüketicilerin ortak bir bilişim ve haberleşme teknolojisi üzerinden entegrasyonu anlamına gelmektedir. Formülde tüm üreticileri kapsamaktadır” [5].

Tüm bu tanımlar dışında Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology - NIST) tarafından oluşturulan akıllı şebekelerin kavramsal modeli de birçok çalışmada karşımıza çıkmaktadır [6].

Bu modele göre akıllı şebekeler 7 çalışma biriminden oluşmaktadır. Bunlar;

- Üretim
- İletim
- Dağıtım
- Tüketici
- Servis Sağlayıcı
- Operasyon Merkezi
- Enerji Pazarı

NIST'in tanımlanmış olduğu sistemi daha kolay anlayabilmek için Şekil 3.1'in detaylı olarak incelenmelidir [6]. Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi tüketicilerin enerji ihtiyaçlarını dağıtım şebekesinin dışında küçük güçlü üreticilerden de karşılayabildiği bilgisi yer almaktadır. Sistem içerisinde yer alan tüketiciler aynı zamanda; iletim birimi haricinde bulunan 5 birimle iletişim halinde bulunmaktadır. Bu iletişim sayesinde dinamik fiyatlandırmaya göre akıllı kullanıcıların oluşmasına imkan sağlanmaktadır. Özetle elektriğin üretim sürecinden tüketim sürecine kadarki tüm sürecin ölçüm, izleme ve kontrol altyapısıyla donatıldığı bilinmektedir.



Şekil 3.1. Akıllı şebeke kavramsal modeli (NIST)

Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST)'in hazırlamış olduğu yayınlar ve raporlar incelendiğinde akıllı şebekeye geçişle beraber sağlanacak olan yararlar aşağıdaki gibidir [7-11]:

- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artması
- Elektrik şebekesinin kapasitesinin artması
- Elektrik şebekesinin verimliliğinin artması
- Elektrik şebekesinin güvenliğinin artması
- Elektrik şebekesinin kalitesinin artması
- Şebekenin bozucu etkilere karşı kendi kendine düzeltici tepkiler vermesi
- Sistemin kestirimci bakıma olanak sağlaması
- Elektrik şebekesinin dağıtık güç kaynaklarına uyum sağlaması
- Elektrik şebekesinin daha güvenli hale gelmesi
- Elektrik şebekesinde bakım ve operasyonların otomatik şekilde periyodikleşmesi
- Sera gazı emisyonlarının azalması
- Elektrik şebekesindeki şarjlı elektrikli araçlara ve yeni enerji depolama seçeneklerine geçişin hızlanması
- Müşteriye daha fazla seçenek sunulması
- Elektrik şebekesinin olası arızalara karşı daha dayanıklı bir hale gelmesi

James Momoh'ın "Smart Grid Architectural Designs" [12] isimli çalışmasında akıllı şebeke ekosistemini bir piramide benzetmiştir. Bu piramitin katmanları Şekil 3.2.'de de görüldüğü gibi 6 ana katmandan oluşmaktadır.

Tüketiciler: Sistemde aktif olarak bulunan tüketicilerdir.

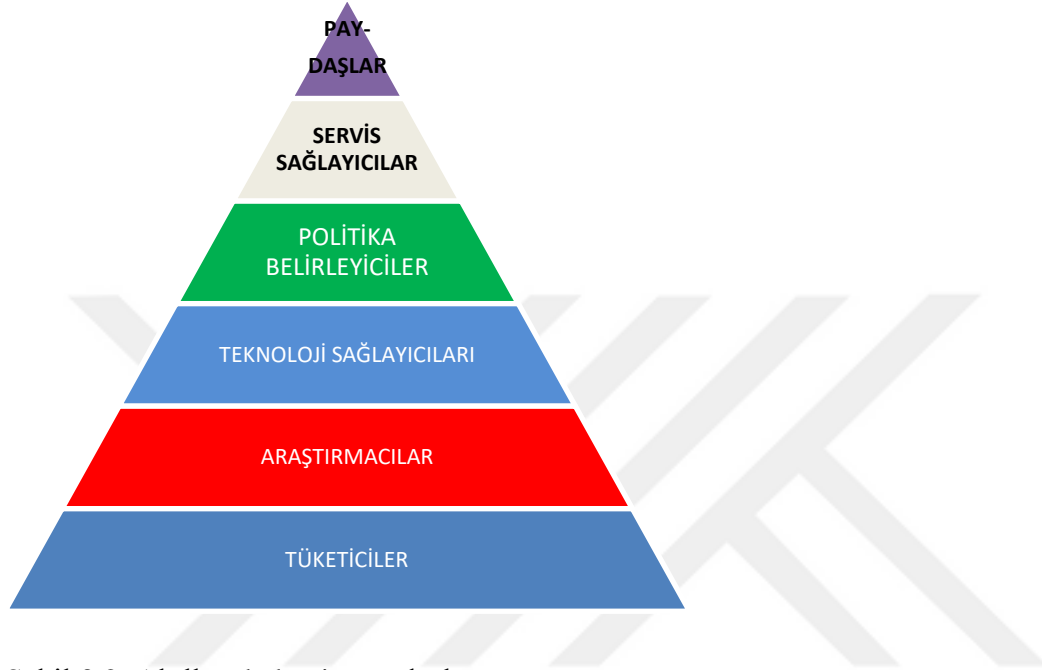
Araştırmacılar: Yapmış oldukları çalışmalarla sorunların çözümünü sağlamakta ve bu yönde çok sayıda iyileştirmeler yapmaktadır.

Teknoloji Sağlayıcılar: Araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarını ürün haline getiren gruptur.

Politika Belirleyiciler: Akıllı şebekelerde kullanılan ürünlerin nerede kullanılacağı ve işletme, izleme, birlikte çalışma gibi durumlar için standartların oluşumuna katkı sağlamaktadır.

Servis Sağlayıcılar: Elektrik şebekesi teknolojilerinin kurulumu ve uygulanması sürecini yönetmektedir.

Akıllı Şebeke Paydaşları: Akıllı şebeke sisteminde elektriğin üretim, iletim ve dağıtımını sağlamaktadır.

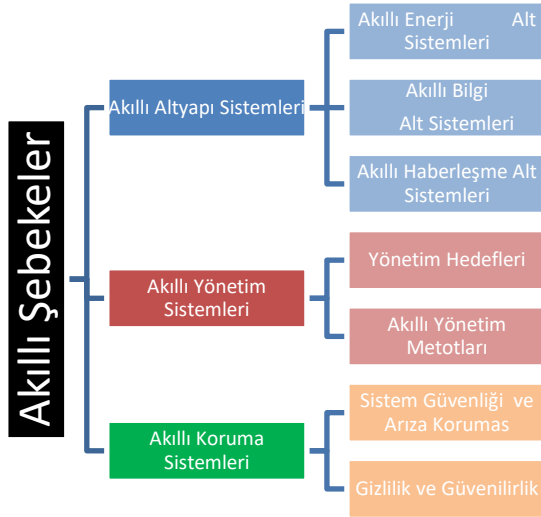


Şekil 3.2. Akıllı şebekenin paydaşları

Akıllı şebekeler genellikle 3 ana başlık altında ele alınmaktadır. Bu üç ana başlık Şekil 3.3.'te de görüldüğü gibi çeşitli alt başlıklarda incelenmektedir.

Bunlar [6];

- Akıllı Altyapı Sistemleri
- Akıllı Yönetim Sistemleri
- Akıllı Koruma Sistemleri



Şekil 3.3. Akıllı şebeke üzerine yapılan çalışmaların detaylı sınıflandırılması

3.2. Akıllı Altyapı Sistemleri

Akıllı şebeke altyapı sistemleri üç ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

- Akıllı Enerji Alt Sistemleri
- Akıllı Bilgi Alt Sistemleri
- Akıllı Haberleşme Alt Sistemleri

3.2.1. Akıllı enerji alt sistemleri

İdeal bir elektrik şebekesinin aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bu özelliklerin sağlandığı sistemler akıllı enerji sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

Bunlar;

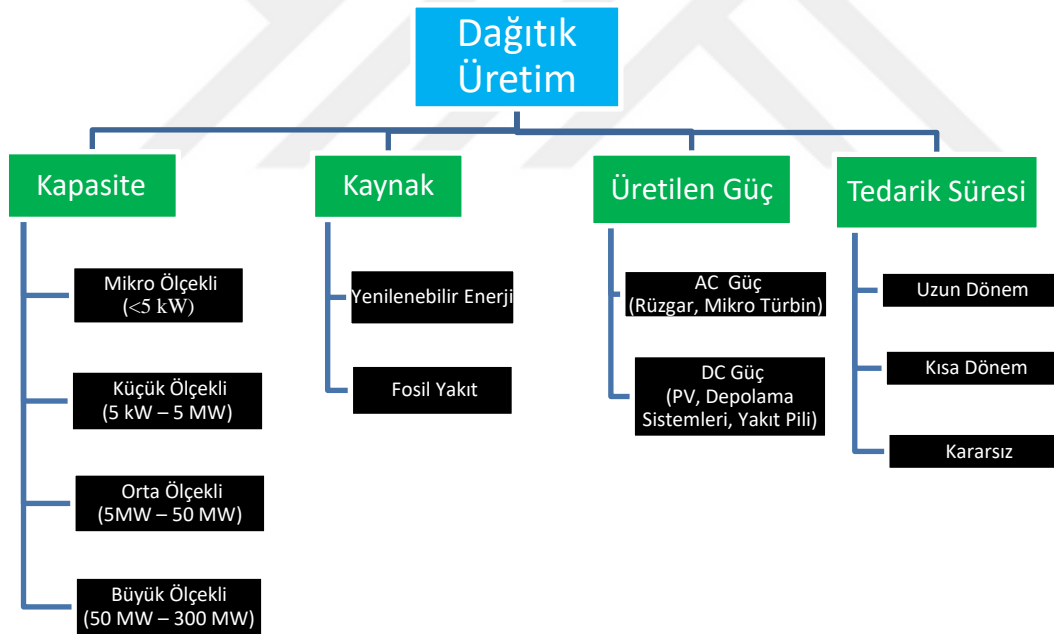
- Anlık yük taleplerinin karşılanabilmesi
- Sistemde aşırı derecede yüklenmiş bir bileşenin olmaması
- Aktif ve reaktif güçlerin dengelenebilmesi
- Frekans ve bara gerilimlerinin anma değerlerinde sabit kalmasıdır.

Akıllı şebekelerde elektrik akışı geleneksel şebekelerden farklı olarak çift yönlü olabilmektedir ve bu durum sayesinde tüketiciler aynı zamanda üretici olabilmektedir. Akıllı şebekelerde küçük güçlü üreticilerin sisteme hızlı şekilde dahil olabilmesinden dolayı çeşitli enerji üretim kaynakları (genellikle yenilenebilir enerji kaynakları) kullanılabilir. Akıllı şebekelerde küçük güçlü üreticilerin sisteme hızlı şekilde dahil olabilmesinden dolayı çeşitli enerji üretim kaynakları (genellikle yenilenebilir enerji kaynakları) kullanılabilir.

Dağıtık Üretim (Distributed Generation) sistemler için yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem arz etmektedir. Dağıtık üretim sistemleri Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi 4 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Bunlar;

- Kapasite
- Kaynak
- Üretilen Güç
- Tedarik Süresidir.



Şekil 3.4. Dağıtık üretim sistemlerinin sınıflandırılması

Akıllı şebeke sistemlerinin altyapısına sahip; enerji iletim sistemleri birbiriyle etkileşimli 3 adet bileşenden oluşmaktadır.

Bu bileşenler;

- Akıllı Kontrol Merkezleri

- Akıllı İletim Ağları
- Akıllı Trafo Merkezleridir.

Akıllı şebekelerin iletim sistemlerinin geleneksel iletim sisteminden en büyük farkı; dijital, esnek, dayanıklı, sürdürülebilir ve özelleştirilebilir halde olmasıdır.

Akıllı kontrol merkezleri sayesinde; akıllı şebekelerin tam zamanlı güvenlik analizi yapılabilmektedir. Proaktif bakım çalışmaları sayesinde birçok arızanın önceden tahmin edilmesi ve önlem alınması noktasında yarar sağlamaktadır.

Akıllı iletim ağlarının akıllı şebeke sistemlerinde sağladığı en büyük faydalar tesis bakımları konusunda proaktif çözümler, arızaları önceden tahmin edebilme ve hızlı arıza tespiti durumlarıdır. Aynı zamanda yüksek verimlilikte ve kalitede enerji iletimine olanak vermektedir.

Akıllı trafo merkezleri sayesinde otonom kontrol ve adaptif kontrol sağlanabilmektedir. Aynı zamanda sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarına entegrasyonları da sorunsuz şekilde ve hızlı şekilde tamamlanabilmektedir.

Akıllı iletim sistemiyle ilgili olarak kontrol merkezi, haberleşme altyapısı üzerinden kendi içerisinde bulunan iletim hatları, trafo merkezleri, üretim birimleri ve dağıtım şebekesiyle sürekli haberleşme ve etkileşim halindedir.

Elektrik güç dağıtım sisteminin amacı daha önceden belirlenmiş şartlara uygun şekilde son tüketiciye elektrik enerjisinin ulaştırılmasını sağlamaktadır. Elektrik dağıtım sisteminden beklenenler dünyanın her yerinde; ülkelerin elektrik şebeke yapılarına göre farklı değerlere sahip olabilmesine rağmen anlık değişimlerden etkilenmeyen ve kesintisiz bir sistemin oluşturulmasıdır.

İdeal bir dağıtım şebekesinden beklenen özellikler aşağıdaki gibidir:

- Sabit frekans
- Sabit gerilim
- Faz kaymasının olmaması
- Sürdürülebilir olması

Akıllı şebekelerin geleneksel şebekelerden en büyük farkı yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği gibi; tüketicilerin üretici konumuna geçebilmesi nedeniyle şebekenin çift yönlü

enerji akışını sağlamaya olanak vermesidir. Bu çift yönlü enerji akışının düzgün şekilde yönetilmemesi durumunda ciddi sorunlar oluşmaktadır. Aynı zamanda akıllı şebekelerin yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri gibi sistemlerle desteklendiği düşünüldüğü takdirde elektrik şebekesinin dağıtım noktasında elektronik devre ve yazılım tabanlı ciddi altyapının oluşturulması gerekmektedir.

Mikroşebekeler uzun bir zamandır gündemde olan ve yeşil enerjiye dönüş trendiyle beraber üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı sistemlerdir. Mikroşebekeleri kısaca özetleyecek olursak geleneksel şebekeden farklı olarak üretim, yük ve depolama gibi sistemlerini kendi içerisinde barındıran küçük şebekelerdir. Mikroşebekeler ana şebekeden bağımsız şekilde olabileceği gibi ana şebekeye bağlı da çalışabilmektedir.

Mikroşebekelerin dünya üzerinde kullanım alanlarına bakıldığında dağıtım şebekesine güvenlik açısından bağlanmaması gereken bölgelerde kullanıldığı gibi; çeşitli zorluklar nedeniyle elektrik enerjisinin ulaştırılması zor olan ya da yüksek maliyetli olan bölgelerde de tercih edildiği bilinmektedir.

Mikroşebekelerin çalışması sürecinde önemli bir yere sahip kavramlardan birisi de elektrikli araçlardır. Yakın gelecekte günlük yaşamımızın önemli bir parçası olması beklenen elektrikli araçların hem şebekeyi destekleyici yönde deşarj hem de şebekeden beslenme yönünde şarj özelliğinden dolayı; mikroşebekelerde gerek enerji depolama aygıtı olarak gerekse de tüketici olarak çalışabilmektedir.

Elektrikli araçların mikro şebekelerde hem tüketici hem de depolama ünitesi olarak kullanılması büyük bir avantaj sağlayabilmektedir. “Çok tarifeli sistemlerde elektrik enerjisinin ucuz olduğu saatlerde bataryaları doldurulan elektrikli araçlar; elektrik enerjisinin pahalı olduğu saatlerde kullanılabildiği gibi istenildiği takdirde enerji satışına da ihtimal vermektedir” [13]. Bu sayede sadece elektrikli aracın şarj edilip deşarj edilmesiyle kâr elde edilmesi dahi mümkün olabilmektedir.

3.2.2. Akıllı bilgi alt sistemleri

Akıllı şebeke dönüşümünün kaynağı yalnızca güç elemanlarındaki gelişmeler değildir. Bunun yanında, bilgi teknolojilerindeki gelişmelerde bu sürece ivme kazandırmaktadır. Merkezi operasyon biriminden dağıtım ve iletim şebekelerini bilgisayarda gözleme, analiz,

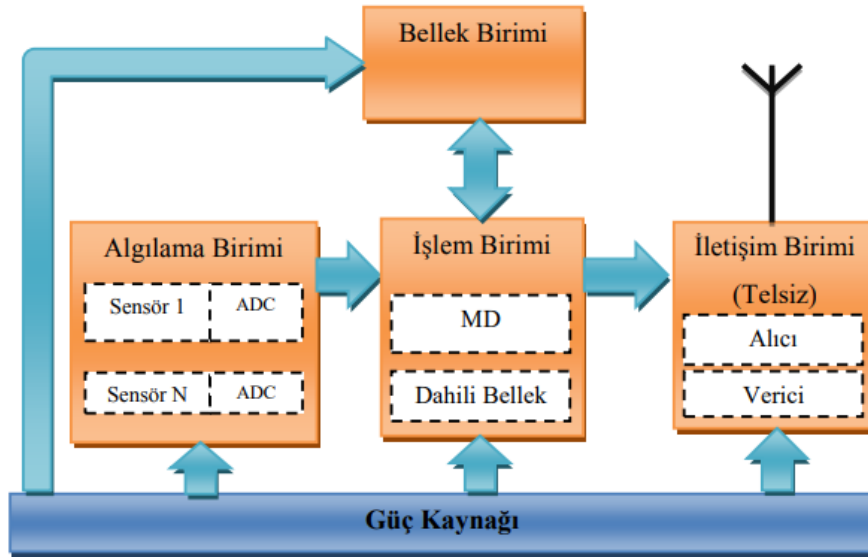
iyileştirme ve kontrol edebilme konusunda elde edilen teknolojiler akıllı şebeke teknolojisine yön vermiştir. Akıllı bilgi alt sistemleri, akıllı şebekede verinin elde edilmesi, modellenmesi, bütünleştirilmesi, analizi ve optimizasyonu için kullanılır. Akıllı şebeke dağıtım otomasyonunun temelinde verinin ölçüm ve yönetimini içeren akıllı bilgi alt sistemleri mevcuttur [6].

“Akıllı şebekelerin oluşturulabilmesi için en önemli değerlerden birisi verilerdir. Toplanan verilerle sistemin çalışması tasarlanmaktadır. Gelişmiş ölçüm altyapısı, otomatik sayaç okuma sistemlerine (OSOS) dayanan akıllı şebekenin temel unsuru olarak görülebilmektedir” [14].

Yeni oluşturulan elektrik tesisatlarında bir zorunluluk haline gelmiş olan akıllı sayaçların kontrol ve izleme özellikleri bulunmaktadır. Bu sayede günlük ve istenirse anlık olarak tüketim verileri izlenebilmektedir. Alınan bu verilerin sonucunda tüketiciye, anlık olarak tüketim istatistiklerini bildirme ve gerçek zamanlı fiyat oluşturulması sağlanabilmektedir. Bu sayede tüketici, kendi iç çevriminde ihtiyacını karşılayarak puant zamanlarında şebekeyi rahatlatmaya yönelik çözümler üretilebilmektedir. Bu çözümler sayesinde fatura tutarlarının düşme ihtimali de ortaya çıkmaktadır.

Akıllı şebekelerde veri alınan araç farklı tipteki sensörlerdir. Kablolu sensörler tercih edilebildiği gibi kablosuz sensörler de kullanılabilir. Kablosuz sensörlerin birbirleriyle haberleşmesi ve sensörlerin birleşmesiyle bir ağ oluşturulabilmektedir. Oluşturulan bu ağ, kablosuz sensör ağları (Wireless Sensor Network - WSN) olarak ifade edilmektedir. WSN, akıllı şebekelerin çeşitli alanlarında kontrol, izleme, ölçüm ve hata teşhisi gibi işlemleri düşük maliyetlerle gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

Bir sensör düğümü temel olarak şu elemanlardan oluşmaktadır; sensörler, bellek, işlemci, alıcı-verici, güç kaynağı ve eyleyici. Sistemdeki sensörler aracılığıyla küçük sensör düğümleri oluşturulmaktadır. Ev Alan Ağı (Home Area Network - HAN), Yakın/Komşu Alan Ağı (Neighbourhood Area Network - NAN) ve Geniş Alan Ağı (Wide Area Network - WAN) içerisinde uzaktan kablosuz haberleşme için toplu bir sensör ağı ulaştırılmaktadır. Üretim, iletim ve dağıtım birimlerinin çeşitli kısımlarında bahsedilen amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Akıllı şebekelerin düğüm mimarisini daha iyi anlayabilmek için Şekil 3.5. detaylı olarak incelenmelidir [15].



Şekil 3.5. WSN düğüm mimarisi

*MD= Mikro denetleyici

İşlem Birimi: İşlem birimi sistemdeki tüm işlemlerin yapıldığı modüldür. İşlem biriminin en temel görevlerinden birisi de diğer birimlerle haberleşmenin başladığı birim olmasıdır. Haberleşme sağlandıktan sonra algılayıcı tarafından gereken bilgileri hafızada saklamak, diğer düğümlerle haberleşmek, ilgili haberleşme protokollerini takip etmek gibi işlemleri yerine getirmektedir. İşlem biriminden en büyük beklenti kablosuz sensör ağlarının (Wireless Sensor Network - WSN) birimlerinde yüksek işlem gücü ve minimum enerji tüketimidir [16].

İletişim Birimi: İletişim biriminin sistem içerisindeki görevi düğümler arasındaki haberleşmenin sağlanmasıdır. İletişimin sağlanması için de optik (lazer), kızılötesi (Infrared - IR) ya da radyo frekansı (RF) gibi iletişim sistemleri kullanılabilir. İletişim sistemi seçilerken en önemli kriter iletilecek olan verinin büyüklüğü ve iletim ortamıdır.

Algılama Birimi: Algılayıcı birimin ana amacı dış dünyadan elde edilmek istenen bilgileri almaktır. Almış olduğu bu bilgileri işlem birimine göndermek üzerine çalışmaktadır. Genellikle algılayıcı modüllerin içerisinde iki modül bulunmaktadır. Bunlar algılayıcı ve analog sinyalleri sayısal sinyallere çeviren Analog/Dijital Dönüştürücü (Analog Digital Converter – ADC) modülleridir.

Hafıza Birimi: Dahili hafıza olarak avantajlarından dolayı Rastgele Erişimli (Random Access Memory - RAM) tipi bellek kullanılmaktadır. WSN üzerinde bulunan tüm bilgiler

bu bellek tarafından karşılanmaktadır. RAM tipi belleklerin en büyük dezavantajı elektrik kesildiğinde üzerindeki bilgiyi kaybetmesi olması nedeniyle saklanması gereken bilgiler genellikle harici bellek ya da flaş belleklerde saklanmaktadır. Kablosuz algılayıcının yapacağı işle ilgili programa ait tüm yazılım kodları Sadece Okunabilir Bellek (Read Only Memory – ROM) ya da Elektrikle Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek' (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - EEPROM) lerde saklanmaktadır.

Güç Kaynağı: Tüm elektrikle çalışan sistemlerde olduğu gibi burada da algılama birimi; verinin işlenmesi ve iletişimi işlemlerinde enerjiye gereksinim duymaktadır. Sistemin ihtiyacı ve maliyet konuları göz önüne alındığında şarj edilebilir ya da şarj edilemez olmak üzere iki tip bataryayla bu ihtiyaç karşılanabildiği gibi gerekli olan enerji ihtiyacı güneş, ısı ve hareket enerjisiyle de sağlayabilmektedir.

Şebekelerde hattın belli noktalarında akım, gerilim ve faz açılarını eş zamanlı izlemek için Fazör Ölçüm Birimi (Phasor Measurement Unit - PMU) kullanılmaktadır. PMU tarafından alınan verilerin eş zamanlı olmasını sağlamak için GPRS, Wi-Fi, Li-Fi haberleşme teknolojileri kullanılabilir.

Fazör ölçüm birimiyle ilgili çalışmalar sonucu ortaya çıkan PMU, 1990'lı yıllarda Virginia Tech'te geliştirilmiştir [17]. Günümüzde sıkça kullanılan PMU ekipmanları sayesinde sistem değişkenlerine karşı hızlı tepki göstermek mümkündür.

Günümüzde enerji iletim ve dağıtım sektöründe önemli bir yere sahip olan Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) olarak tabir edilen sistemler geleneksel şebekelerden gerçek zamanlı olarak fazör bilgileri almaktadır. Ancak SCADA sistemlerinin de kurulum maliyeti, kablolama maliyeti, senkronizasyon sorunu, vb. dezavantajları bulunmaktadır.

Verilerin oluşturulmasıyla beraber veri yönetimi de her geçen gün artan bir öneme sahip olmaktadır. Eskiden sadece on/off yani 1/0 verileri çok spesifik noktalarda kullanılırken günümüzde mümkün olduğu kadar çok noktadan farklı tipte ve özellikte veriler talep edilmektedir. Bu sürecin düzgün şekilde yönetilebilmesi için de çeşitli veri yönetimi üzerine metodolojiler geliştirilmektedir.

Veri yönetiminin daha düzgün yapılabilmesi için çeşitli alt bileşenler bulunmaktadır. Bunlar;

- Verinin Modellenmesi
- Verinin Analizi
- Veriyi Birleştirmek
- Veri Optimizasyonu

Veri modellemenin ana amacı sürekli, uyumlu ve düzeltilebilir özelliklerle bir verinin oluşturularak standartlaşmasının sağlanmasıdır. Sistemde elde edilen veriler, diğer sistemlerde de daha etkin ve kolay şekilde kullanılabilir ve sistemde oluşturulan veri modeli mevcut sistemin alt yapısından istifade etmelidir. Aynı zamanda mevcut ve gelecek uygulamalar için anlaşılabilir bir yapıda olmalıdır. Bu sayede geriye dönük veri düzenlemeleri dahi kolaylıkla yapılabilmektedir.

Verilerin analiz edilmesi; verinin işlenmesi, yorumlanması ve karşılıklı ilişkilendirilmesine yardımcı olmaktadır. Verilerin ham hali çoğu zaman bir anlam ifade etmediği için verilerin işlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sonrasında çeşitli kaynaklardan elde edilen farklı anlamsal ve kavramsal yapıya sahip büyük miktardaki bu veriler birleştirilerek uygulamalara dahil edilmektedir. Akıllı şebekelerin planlaması, elektrik dağıtımı ve müşteri operasyonlarıyla ilgili olarak sınırlı miktarda veri toplama, işleme ve depolama kapasitelerine sahip durumdadır. Ancak elde edilen verilerin genellikle birleştirilerek anlamlandırılması gerekmektedir.

3.3. Akıllı Yönetim Sistemleri

Tüm yönetim sistemleri tasarlanırken en önemli tasarım kriteri olan maksimum fayda minimum maliyet göz önüne alınmaktadır. Son yıllarda bu en önemli iki kriter ek olarak enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması gibi kriterler de baz alınmaya başlanmıştır. Akıllı yönetim sistemlerinin tasarım sürecinde de bu ana kriterler temel alınarak aşağıdaki amaçlarla sistem oluşturulmaktadır:

- Enerji verimliliğini arttırmak
- Talep dengesini sağlamak
- Sera gazı emisyonunu azaltmak

- Operasyon maliyetlerini düşürmek

Yönetim sistemleri tasarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise sistemin geliştirilebilir bir yapıya uygun şekilde tasarlanmış olmasıdır.

3.3.1. Akıllı yönetim sistemlerinin amaç ve hedefleri

Akıllı yönetim sistemlerinin geleneksel şebekelerden farklı olarak;

- Enerji verimliliği
- Güç talep profilini dengeleme
- Fayda-maliyet optimizasyonu
- Fiyat istikrarı
- Emisyon kontrolü

işlevlerine yönelik hedefler üzerine yoğunlaştığı görülmüştür.

Akıllı yönetim sistemlerinde enerji verimliliği ve talep profili: Ülkemizde elektrik şebekesi enterkonnekte sisteme bağlıdır. Elektrik üretim birimlerinin üreteceği elektrik miktarı anlık olarak değişebilmektedir. Bu değişime tüketicinin talep analizleri yön vermektedir.

Akıllı şebekelerin gerek tasarımında gerekse de çalışması sürecindeki en büyük ihtiyaçlardan birisi de tüketicinin talep verisidir. Akıllı şebeke sistemlerinin en verimli şekilde çalışabilmesi için Talep Tepkisi Yönetimi (Demand Response Management - DRM) sisteminin düzgün çalışması gerekmektedir. DRM'in akıllı şebekelerdeki kullanım amacı tüketicinin enerji arz durumundan anlık olarak haber almasını sağlamaktır. Bu sayede de verimlilik maksimum seviyelere ulaşabilmektedir.

Türkiye'nin farklı günlerinde hatta farklı saatlerinde anlık olarak enerji talebi değişmektedir. Bu talebin nasıl karşılanacağı konusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın ciddi çalışmaları bulunmakta ve bu çalışmaları Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)'ın web sitesi üzerinden aylık olarak yayınlanmaktadır. Enerjinin farklı saatlerde farklı birim fiyatlarla satılması durumu dikkate alındığında enerjinin depolanarak kullanılması ya da ihtiyaçların daha ucuz birim fiyatlı saatlere kaydırılması gibi çözümlerle enerji verimliliği yüksek seviyelere çıkarılabilmektedir.

Akıllı şebeke altyapısı oluşturulurken en kötü durum senaryolarının dahi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu senaryolar analiz edilirken en önemli faktör maliyet ve bunun karşılığında sağlanan faydaların analiz edilmesidir. Burada enerjinin düşük fiyatlı olduğu saatlerde depolanarak; enerjinin pahalı olduğu saatlerde satılması dikkate alınması gereken önemli unsurlardan biridir.

Enerjinin verimli kullanılması gereksiz enerji israfının da önüne geçecektir. Bu sayede geleneksel şebekelerde büyük bir sorun olarak karşımıza çıkan hat, trafo kaybı vb. durumların önüne geçilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak da genel enerji üretiminin azaltılması hedeflenmektedir. Genellikle fosil yakıtlardan üretilen enerji aynı zamanda üretildiği ürün başına da belli bir miktarda çevreye zararlı gaz yaymaktadır. Daha az enerji üretimi aynı zamanda daha az zararlı gaz salınımına neden olmaktadır.

3.4. Akıllı Şebekelerde Akıllı Koruma Sistemleri

Akıllı şebekeler teknik olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Çalışma süreçlerinde gerek veri trafiği kaynaklı sorunlar gerekse de gizlilik, güvenlik konusunda yaşanabilecek tüm olumsuz durumlar dikkate alınarak tasarlanmaktadır.

3.4.1. Akıllı şebekelerde sistem güvenliği ve arıza koruması

Elektrik şebekelerinin en önemli gerekliliklerinden birisi de sürekliliktir. Enterkonnekte şebekede oluşabilecek herhangi bir arızanın sistemin çökmesine kadar gittiğini 31 Mart 2015'te ülkemizde yaşanan arızada görülmüştür. Bundan dolayı elektrik şebekesinin bir bileşeni olan sistem güvenliği ve sürekliliği en önemli şartlardır.

Akıllı şebekelerde gelişmiş bir ölçme ve izleme altyapısı vardır. Akıllı şebekelerde aktif olarak enerjinin bulunduğu her nokta izlenmektedir; aynı zamanda birçok noktada da ölçüm yapılmaktadır. Elde edilen verilerin toplanması ve analiz edilmesi sonucu sistemin sürekliliğini sağlayıcı kararlar alınmaktadır.

Akıllı şebekelerde aktif olarak çalışan birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlardan dolayı sistem her zaman siber saldırı vb. durumlar için tehlike arz etmektedir. Verilerin çalınması ya da sistemin kullanılmaz hale getirilmesi gibi durumlara karşı sistemin güvenli şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir.

3.4.2. Akıllı şebekelerde gizlilik ve güvenilirlik kavramları

Geleneksel elektrik şebekeleri için de büyük önemli olan gizlilik ve güvenilirlik kavramları; akıllı şebekelerin yapısı nedeniyle çok daha büyük önem arz etmektedir. Akıllı şebekelerde yoğun olarak kullanılan modern tipteki haberleşme sistemleri ve protokolleri üzerinden ciddi bir veri trafiği söz konusu olabilmektedir. Bu veriler aynı zamanda sistemin çalışma karakteristiğinin anlaşılması konusunda fikir verebilmektedir. Bundan dolayı da bu veriler aynı zamanda ciddi bir maddi değeri de vardır. Bu durumda etkisiyle sistemin internet ve haberleşme altyapısıyla bu denli donatılmış olması beraberinde siber güvenlik kavramını da getirmektedir. Akıllı şebekelerin haberleşme altyapısının siber güvenlik seviyesinin yüksek düzeyde olması bir gerekliliktir. Bu gerekliliğin sağlanamadığı durumlarda enerjinin depolama ve kullanım düzeninin önceden belirlenmiş olan programdan bozulması, tüketim verilerinin silinmesi ya da çalınması, komşularla yapılan enerji alışverişi sürecinin ve kayıtlarının bozulması gibi sistemin çalışmasına ve çalışma verilerinin bozulması gibi birçok olumsuz sonuçlar karşımıza çıkabilmektedir. Akıllı şebekelerde gizlilik ve güvenilirlik konularında oluşacak güvenlik zafiyetleri sistemin tamamen devre dışı kalabileceği boyutta sorunlarla karşı karşıya kalınabilmektedir.

4. BLOKZİNCİR KAVRAMI

Bilgisayar teknolojisinin gelişiminin ardından internet kavramı, insanın var olduğu birçok ortamdaki tüm kuralları değiştirecek bir dinamığe ulaşmıştır. Bu gelişmeler sonucunda ortaya çıkan dijital dünya trendi, 2009 yılında ortaya çıkan ve 2010 yılının ortalarına kadar sahnede olan Satoshi Nakamoto'nun yayınlamış olduğu "A Peer-To -Peer Electronic Cash System" makalesiyle [18] blokzincir kavramı günümüzün en çok konuşulan kavramlarından biri haline gelmiştir. 2009 yılında ortaya çıkan Bitcoin yazılımı geliştirilerek, Bitcoin ekosistemi oluşturulmuştur. Blokzincir konusunun ortaya çıkışı Bitcoin'in ortaya çıkış süreciyle başlamaktadır.

Kripto paraların bir yatırım aracına dönüştüğü günümüzde, blokzincir kavramı dediğimizde akla gelen şeylerden birisi de Bitcoin olmaktadır. Blokzincir kavramı konusunda yeterli bilgiye sahip olmayan birçok kimse bu kavramı direkt olarak kripto paralarla özellikle de Bitcoin'le ilişkilendirmektedir.

Blokzincir kavramı yalnızca kripto para odaklı bir kavram değildir. Blokzincire ait bazı özelliklerin net şekilde anlaşılabilir faydalı amaçlara hizmet eder şekilde kullanılabilmesi durumunda, dünyadaki birçok iş yapış şeklinin değişmesi beklenmektedir.

Günümüzde insanların büyük bir çoğunluğu önemli bilgilerin, hatta ve hatta paraların saklanması ve transfer edilmesi için üçüncü bir şahsa ihtiyaç duymaktaydı. Blokzincir teknolojisi sayesinde insanlar paralarını üçüncü bir şahsa ihtiyaç duymadan saklama ve transfer edebilme imkanına sahip olabilmektedir.

Dünyada özellikle son 20 yılda artan internet kullanımı dolayısıyla artan dijitalleşme trendinden dolayı birçok veri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Aktarılan bu verilerin gerek depolanma sürecinin tamamlanmasıyla beraber, bu verilerin korunması ve sınıflandırılması gibi yeni sorunlar ortaya çıkmıştır. Birçok önemsiz bilgiyle beraber önemli bilgiler dediğimiz ticari, askeri ve kişisel bilgiler de internet ortamına taşınarak bu depolama sürecine dahil olmuştur. Özellikle bu tarz gizlilik derecesi yüksek bilgilerin gerek korunması gerekse de transferi çalınma, silinme, değiştirilme gibi ciddi tehlikelere her an maruz kalabilir yapıdadır. Daha önceki yıllarda normal hayatta kullanılan şifre ve kripto denemelerinin benzerleri sanal ortamda denenmiştir. Bu çalışmaların bir kısmı başarılı olmuş bir kısmının da kolay şekilde çözüldüğü anlaşılmıştır. Günümüzde bu sorunu ortadan

kaldıran yöntemlerinden birisi de blokzincir teknolojisi olmuştur. Blokzincir teknolojisinin bu kadar çığır açıcı bir değer görmesinin ve bir devrim gibi algılanmasının nedeni kırılması günümüz teknolojisi içerisinde mümkün olmayan güvenlik altyapısıdır. Bu teknolojiyle birçok yenilik ve avantaj sağlansa da en önemli özelliği güvenlidir.

İnsanların ve üçüncü kişi ya da kurumların müdahale edebileceği sistemlerde sürecin karşılıklı güvenle devam ettiği bilinmektedir. “İhtiyaç duyulan şey ise güven yerine kriptografik kanıt temelli bir elektronik ödeme sistemidir ve iki tarafın güvenilir bir üçüncü tarafa ihtiyaç duymadan doğrudan birbiriyle işlem yapmasına izin verebilen bir yapıda olması gerekmektedir” [18].

Blokzincir sistemini en basit haliyle düşündüğümüzde; tüm verilerin sistem içerisinde yer alan katılımcılar arasında yapılan işlemlerin dağıtık şekilde saklandığı bir veritabanı olarak tanımlanabilmektedir. Blokzincir sistemi birçok kaynakta muhasebe defterlerine benzetilmektedir. Kabul edilen, onaylanan işlemler bloklar listesine eklenerek burada saklanmaktadır. Oluşan bu zincire, yeni onaylanan işlemler blok olarak eklenmektedir. Her blok bir zincir olarak sisteme eklenmektedir. Sisteme eklenen her yeni blokla bu zincir daha da büyümektedir. Sistemdeki hesap tutarlılığı ve kullanıcı güvenliği sorunlarının çözümü için asimetrik kriptografi ve dağıtılmış oy birliği algoritmaları kullanılmaktadır.

Dağıtılmış oy birliği algoritmasıyla kurulmuş bir sistemde bir işlem yapabilmek için işlemin sistem dahilindeki bilgisayarların çoğunluğu tarafından doğrulanması gerekmektedir. Doğrulanması başarı ile tamamlanmış işlem açık deftere kaydedilmektedir. Açık deftere kaydedilmiş işlemlerin değiştirilmesi ya da silinmesi mümkün değildir. “Sistemi güvenli ve şeffaf kılan en önemli nokta, geriye dönük değişiklik yapılmaması ve gerçekleşen işlem kayıtlarının sistem katılımcısı olan herkes tarafından görülebilmesidir. Bu sistemde bilindik veritabanlarının aksine belli bir otorite yoktur, işlemler kişiler arasında özerk olarak gerçekleşebilmektedir ve bu bütün katılımcılar tarafından görülebilmektedir” [19].

Blokzincir, güvenli kriptografi yoluyla bir kayıt sisteminde bulunan her işlem için benzeri olmayan ve doğrulanabilir bir kayıt ve sistemin birden fazla düğümü arasındaki işlemlerin doğrulanmasını merkezi olmayan bir şekilde sağlamaktadır. “Dijital bir sistem üzerinde yapılacak mutabakatın bir yazılımla garanti altına alınması gerekmektedir. Bu noktada blokzincir sistemi devreye girmektedir. Blokzincir sistemi, dijital ortamdaki herhangi bir veriyi, iletişim ağları üzerinden, dağıtılmış şekilde (tüm kullanıcılara açık) saklamanızı ve

bu süreç içerisinde verinin tüm noktalarda aynı kalmasını sağlayan bir sistem olarak tanımlanabilir” [20].

4.1. Blokzincir Kavramının Tarihçesi

Blokzincir teknolojisinin fikir babaları olarak W. Scott Stornetta ve Stuart Haber olarak görülmektedir [21]. 1991 yılında yapmış oldukları bir çalışma sonucunda hesaplama yöntemi olarak kullandıkları pratik bir yöntem ile dijital belgelerin zaman damgası ile değiştirilememesini mümkün kılmışlardır. Aynı zamanda yine bu yöntemle geçmişe yönelik olarak düzenlenememesini sağlamayı başarmışlardır. Sistemin geliştirilmesiyle beraber; zaman damgası olan belgelerin kriptolu güvenlik zincirini kullanmışlardır [21].

Bu konuda öncü çalışmalardan bir diğerini de Hal Finney yapmıştır. Kriptografi aktivisti ve bilgisayar bilimcisi olarak Hal Finney; Yeniden Kullanılabilir İş İspatı (Reuseable Proof of Work - RPoW) isimli değiştirilemeyen ve daha önceden yapılmamış bir Hashcash alt yapısı olan, iş ispatı tokenıyla ilgili çalışmaya başlayan ve karşılığında kişiden kişiye aktarılabilen bir RSA (Rivest-Shamir-Adleman) imzalı token oluşturan bir sistem tanıtmıştır [22]. Buradaki RSA, güvenli veri iletimi için kullanılan açıklanmış olan anahtarlar sistemine verilen addır. Bu algoritma 1977 yılında Ron Rivest, Adi Shamir ve Leonard Adleman’ın soyadlarından gelmektedir [23].

Bitcoin’in zaman içerisinde değerinin astronomik düzeyde artmasıyla, günlük hayatta sıkça konuşulur bir hal almıştır. Bu kadar fazla dile gelmesiyle de adeta ilgi odağı haline gelmiştir. Tüm bu gelişmeler Bitcoin’in temelini oluşturan blokzincir teknolojisine olan ilgiyi arttırmıştır. Artan bu ilginin sonucunda blokzincir tabanlı farklı ürün ve hizmetler geliştirilmesi için denemeler yapılmıştır. Bu yöndeki çalışmalar artarak devam etmektedir.

4.2. Blokzincir Sisteminin Çalışma Mantığı

Blokzincir sistemin nasıl çalıştığının anlaşılması için veri tabanı ve farklı tipteki veri tabanlarının bilinmesi gerekmektedir. Veritabanı, bilgilerin sınıflandırılarak kümeler halinde depolandığı alanlardır. Bilişim çağı olarak adlandırılan günümüzde ciddi bir veri artışı

yaşanmaktadır. Bu veriler birçok kurum ve kuruluş için her zamankinden çok daha önemli bir noktaya gelmiştir.

Veritabanında bulunan verilerin; kişilerin kimlik bilgileri, telefon numaraları, adresleri, banka hesapları gibi gizli kalması gereken birçok bilginin bulunduğu düşünüldüğünde aslında blokzincir sisteminin büyük bir avantaj sağladığı kolayca anlaşılmaktadır. Verilerin güvenli şekilde işlenmesiyle başlayan ve depolanmasına kadar devam eden süreçte güvenlik olmazsa olmazlardandır ve geleneksel yöntemlerle bunun sağlanması her geçen gün biraz daha zorlaşmaktadır.

İnternet tabanlı sistemlerde veri tabanları ve güvenlik uygulamaları dört farklı kısımda incelenmektedir. Bunlar;

- Merkezi Veritabanı
- Bulut Teknolojisi Tabanlı Veritabanı
- Merkezi Olmayan Veritabanı
- Dağıtık Veritabanı

Merkezi veritabanı olan sistemlerin çalışma mantığı, verilerin merkezi veri ağ yapısında ve tamamı merkezi tek bir veritabanında muhafaza edilmesi üzerine kurulmuştur. Yaygın bir kullanım alanına sahiptir. En büyük zafiyeti ise olası bir saldırı sonucunda, güvenlik duvarının aşılması durumunda tüm verinin aynı yerde depolanmış olması nedeniyle veri kaybı, çalınma ve geri dönüşü olmayan zararlar tehlikesidir.

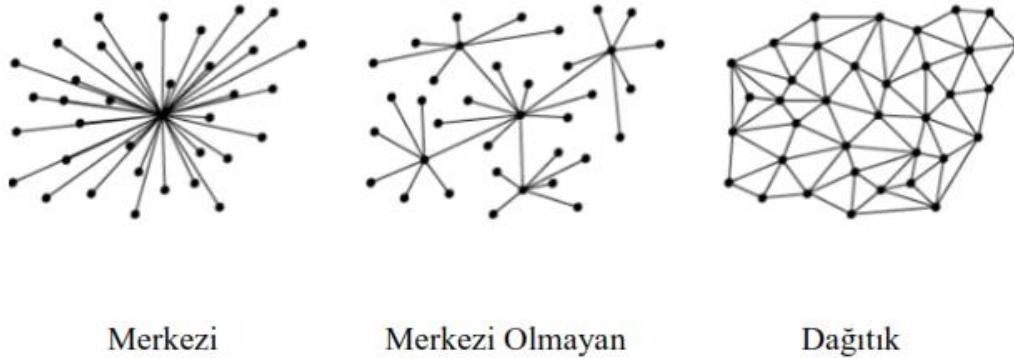
Bulut teknolojisi tabanlı veritabanlarında; fiziki ortamdan bağımsız olarak bir veri depolaması söz konusudur. Bu teknoloji herhangi bir kurulumu gerek duymadan, tüm verileri çevrim içi bir platform üzerinde depolama yapmaya olanak sağlamaktadır. Günümüzde Dropbox, Google, Amazon vb. firmaların kullanmış oldukları sistemler bulut tabanlı sistemlerdir. Bu tipteki sistemlerin en büyük dezavantajı ise internet bağlantı hızının düşmesi ya da veri trafiğinin yavaşlaması durumunda hizmet sürekliliğinin sağlanamamasıdır.

Merkezi olmayan veritabanlarında ise bilgiler daha önceden belirlenmiş özelliklerde sınıflandırılarak farklı sunucularda depolanmaktadır. Kullanıcıların taleplerine göre merkezi sistem ilgili sunuculara yönlendirme yapmaktadır. Bu sayede tek merkezde oluşan veri yoğunluğu azaltılabilmektedir. Aynı zamanda verinin tek bir veritabanı yerine bölünmüş olarak depolanması da olası saldırılarda tüm verilerin kaybedilmesini engellemektedir.

Üçüncü farklı tipteki veri ağı ise blokzincir teknolojisinin temelini oluşturan dağıtık veritabanıdır. Bu veritabanı tipinde diğer veritabanlarından farklı olarak veriler parçalar halinde farklı sunucularda depolanmaktadır. Blokzincir sisteminin en önemli özelliği ise merkezi bir otoritenin olmayışıdır. Dağıtık veritabanlarında depolanan verilerin tek merkezde olmayışı nedeniyle güvenlik seviyesi diğer sistemlere göre çok daha yüksek seviyededir. Sistem içerisindeki bilginin binlerce sunucuda olması nedeniyle de diğer veritabanlarında olduğundan farklı olarak saldırılacak tek bir hedef yoktur. Saldırının başarılı olabilmesi için birçok sunucunun aynı anda ele geçirilmesi gerekli olacağından saldırıların bugünkü teknolojiyle başarı ihtimali yoktur.

Dağıtık veritabanlarının en büyük avantajlarından birisi de veri trafiği yoğunluğunun az olmasıdır. Veri talebinde bulunan çok sayıda bilgisayarın aynı anda aynı sunucuya bağlanarak paralel bir çalışma izlemiyor olması veritabanında yoğunluk ve yavaşlığa yol açmamaktadır, bu avantaj sayesinde de bu tipteki veritabanının hızlı ve verimli olmasını sağlamaktadır.

“Merkezi”, “Merkezi Olmayan” ve “Dağıtık” veri tabanı kavramlarının daha iyi anlaşılması için Şekil 4.1.’in incelenmesi büyük fayda sağlamaktadır [24].



Şekil 4.1. Veritabanı türlerinin şeması

Blokzincir teknolojisinin çalışma mantığı incelendiğinde işleyişin şu şekilde olduğu görülmektedir:

- Herhangi bir kullanıcı blokzincirde herhangi bir verinin transferini yapmak istediğinde; eldeki veri bir blok haline getirilerek blokzincir sistemi dahilinde bulunan diğer bilgisayarların kontrol ve onayına sunulmaktadır.

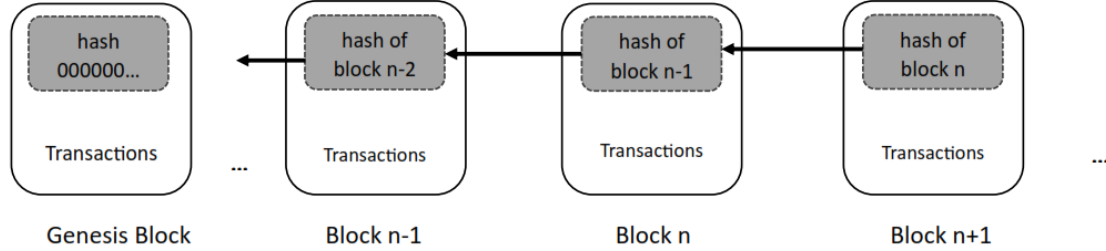
- Blokzincir sisteminde bulunan her bir bilgisayara düğüm (node) ismi verilmektedir.
- Düğüm (node) adı verilen blokzincir sistemi içerisinde yer alan bilgisayarlar; çeşitli matematiksel işlemler yaparak veri bloğunun güvenliğini kontrol etmekte ve sistem protokollerine uygun olup olmadığını denetlemektedir.
- Blok haline getirilmiş olan veri artık sistemde bir blok olarak tanımlanmaktadır ve bu blok sistemdeki düğüm (node) olarak adlandırdığımız sistemdeki bilgisayarların çoğu tarafından onaylandığı takdirde şifreleme aşamasına geçilmektedir.
- Onaylanan veri blokları şifrelenerek sisteme dahil edilmektedir.
- Şifrelemenin yapılması halinde her blokta kendinden önceki bloğa ait bir şifre yer almaktadır.
- Bloklar şifrelenirken sadece şifrelenmekle kalmamaktadır. Sistemin yapısı gereği kendinden bir önceki şifrelenmiş blokla bağlantılı hale gelmesi gerekmektedir. Blokzincir kavramı da buradan gelmektedir.
- Son olarak, şifrelenmiş ve sonrasında kendisinden önceki şifreli bloğa eklenen yeni veri bloğu sistemde bulunan diğer bilgisayarlar tarafından onaylanmaktadır. Böylece blokzincir sistemi içine değiştirilmemek ve silinmemek üzere eklenmektedir.

Bitcoin'in mucidi yayınlamış olduğu makalede blokzincir ağının çalışma prensibiyle ilgili şu bilgilere yer vermektedir: Yeni işlemler bütün düğümlere yayınlanmaktadır. Her düğüm yeni hareketleri bir bloğa toplamaktadır. Her düğüm, bloğu için zor bir çalışma kanıtı bulmaya çalışmaktadır (kastedilen şey proof-of-work işlemidir). Bir düğüm çalışma kanıtı bulduğunda, bloğu tüm düğümlere yayınlamaktadır. Düğümler, yalnızca geçerli ve önceden gerçekleştirilemeyen işlem bloğunu kabul etmektedir. Düğümler, bir önceki bloğu kabul eden bloğun işlem özütünü (hash) kullanmaktadır. Bu zincirde bir sonraki blokta bulunan oluşturma üzerinde çalışarak bloğu kabul ettiklerini ifade etmektedir [18].

Bahsi geçen bu işlemler blokzincir sistemi dahilinde bulunan milyonlarca bilgisayar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu süreçteki şifreleme işlemini gerçekleştirenler, veri madencisi (data miner) olarak adlandırılmaktadır. Bu şifreleme işlemlerine ise veri madenciliği (data mining) denmektedir. Bu sistemin sağladığı güvenlik servisine yardımcı olan hatta sistemin bir parçası olan veri madencileri sanal paralarla ödüllendirilmektedir. Bu ödüller minerlar için bir motivasyon kaynağı olarak görülmektedir.

Blokzincir adından da anlaşıldığı gibi birçok bloktan oluşmakta ve bu sistem ilk bloğun (Genesis) kurulması ile başlamaktadır. Genesis bloğu, diğer bir adıyla başlangıç bloğu bir

blokzincirin ilk bloğudur. Blokzincirin modern sürümleri tarafından 0 bloğu olarak numaralandırılmaktadır. Şekil 4.2.'de de görülen Genesis bloğu ilk defa 2008'de üretilmiş ve tüm blokların atası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.2. Başlangıç (Genesis) bloğu

İlgili blok detaylı olarak incelendiği takdirde, iki kişi ya da iki hesap arasında gerçekleştirilen işlem (transaction), dosya veya istenilen herhangi bir veri bloklara işlenmektedir. Bu işlem sırasında bloklarda kriptolojik fonksiyon özelliği ortaya çıkmaktadır. Yapılan her işlem için tek tek hash yani işlem özeti kodu üretilmektedir ve üretilen bu kodlar blokzincirleri ile zincirlenmektedir. Hash fonksiyonu girdi değeri üreten basit bir fonksiyon olarak adlandırılmaktadır. Herhangi bir X girdi değişkeni, her zaman Y değerine eşit bir fonksiyondur.

Örnek bir hash fonksiyonu denklem 4.1.'de yer almaktadır.

$F(x)$

SHA256 = "b3d630fa46d828fe072c0f948c8231dd7a88540984c9b38e453dcfa2b207ba15"

(4.1)

Yukarıdaki örnekte de görüldüğü gibi "SHA256" şifreleme tekniği diğer bir deyişle özet fonksiyonları farklı uzunluktaki dijital mesajlardan, sabit uzunlukta bir mesaj özeti çıkartmaktadırlar. Hash fonksiyonu yapısı gereği hızlı çalışmalıdır aynı zamanda farklı girdilerin de farklı çıktıları olmalıdır. İlgili fonksiyonda yer alan mesaj düşünüldüğü takdirde özetlenen mesaj hakkında çeşitli bilgilerin üretilmesi gerekmektedir. Özet mesajlar incelendiği takdirde rastgele oluşmuş izlenimine sahiptir.

Blokzincir içerisinde yer alan blokların her birinin bir öncekini referans göstermesinden dolayı zincirdeki blokların arasına kaçak bir blok eklenmek istendiği takdirde eklenen

bloğun kendinden sonra gelen tüm blokları etkilememesi sağlanarak zincire müdahale edilmesi engellenmektedir.

Blokszincir sisteminin nasıl çalıştığıyla ilgili olarak detaylı bilgi vermek için şu şekilde bir açıklama yapılabilmektedir: Her blok hem kendinden bir önceki işlem özetini hem de kendisinin işlem özetini yani hash değerini saklamaktadır. Bu sayede söz konusu bloğun ve bloklar arasındaki bağlantıların değiştirilemez hale gelmesi sağlanmaktadır. Şifrelenmiş bir veride en ufak değişiklik tamamen bir hash olarak ortaya çıkmaktadır. Bu değer söz konusu mesajın bütünlüğünün bir kanıtı olarak nitelendirilmektedir.

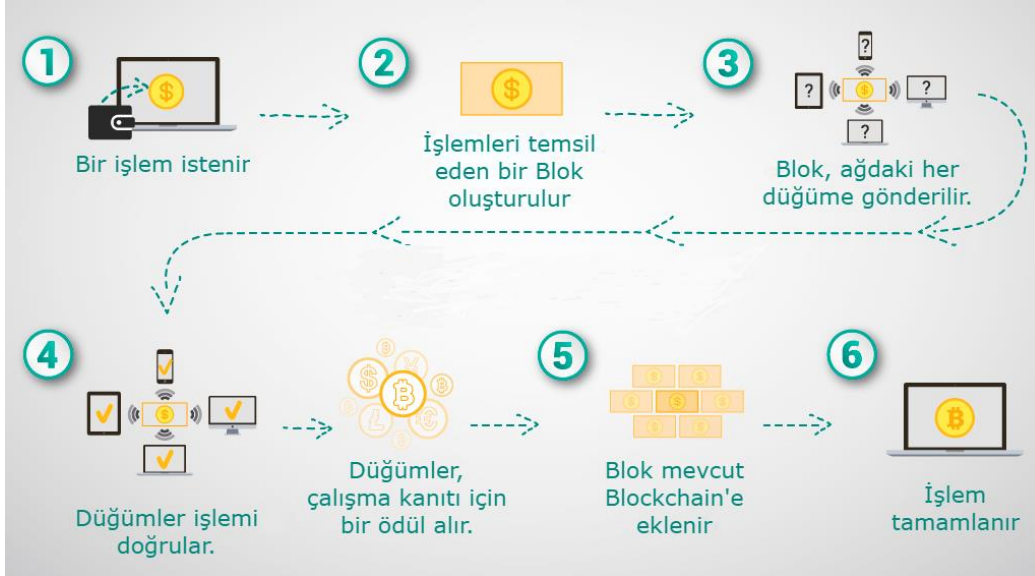


Şekil 4.3. SHA256 fonksiyonunun çalışmasına yönelik bir örnek

Bitcoin işlemlerinde SHA-256 isimli bir özet fonksiyonu kullanılmaktadır. Şekil 4.3.'te de görüldüğü gibi SHA-256 isimli özet fonksiyonu girilen mesajın uzunluğundan bağımsızdır ve 256-bit (32 byte) mesaj özeti oluşturmaktadır. Bu fonksiyon kriptografik açıdan en güvenilir özetleme fonksiyonlarından biridir. Diğer bir deyişle mesaj özetine bakılarak mesajın ne olduğu açık olarak anlaşılamamaktadır.

SHA-256 isimli özet fonksiyon aslında adından da anlaşılacağı gibi; 256 tane ardışık, 0 veya 1'den oluşan bir dizidir. Okunması kolay olsun diye genelde dördümlü gruplar halinde onaltılık sistemle yazılmaktadır. Bu durumda, mesaj özetleri ardışık 64 adet (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9, A, B, C, D, E, F) harfleri kullanılarak yazılmaktadır. Teorik olarak, 256 adet ardışık 0 veya 1'le; $2^{256} \approx 1,15 \times 10^{77}$ farklı özet elde edilebilmektedir.

Şekil 4.4.'te örnek olarak blokszincir sisteminde yapılan transfer işlemi gösterilmektedir [25].



Şekil 4.4. 6 adımda blokzincir transfer işlemi

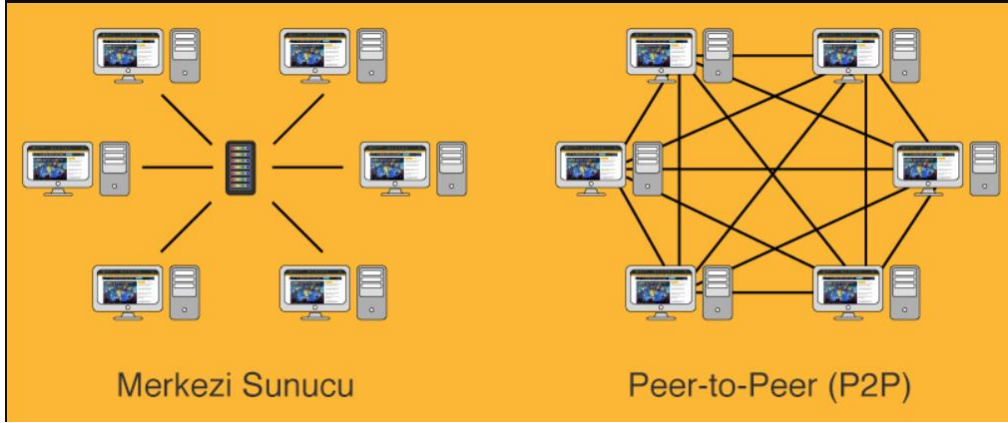
Şekil 4.4. detaylı olarak incelendiğinde “Blokzincir Transfer İşlemi” 6 adımda detaylandırılmıştır. Bu adımlar;

- 1. Adım:** A ve B kişileri arasında bir transfer işlemi gerçekleştirilmek istenmektedir.
- 2. Adım:** Bu transfer isteği SHA-256 kod yapısı ile dijital ortama aktarılmaktadır.
- 3. Adım:** Dijital ortama aktarılan kod bütün düğümlere yani sistem kullanıcılarına yayılmaktadır.
- 4. Adım:** Bu işlemin onaylanma süreci madenciler (miners) aracılığıyla yapılmaktadır.
- 5. Adım:** İşlem kendisinden sonraki bloğa aktarılmak üzere blokzincire eklenir.
- 6. Adım:** Tüm aşamalar tamamlandıktan sonra transfer işlemi gerçekleşmiş olmaktadır.

Blokzincir sistemindeki en önemli rolü üstelenen gruplardan biri madenci (miner) grubudur. Bu grup blokzincirdeki tüm onaylama işlemlerini yapmaktadır.

4.3. Client/Server ile Peer-to-Peer (P2P) Protokollerinin Özellikleri

Blokzincir hakkında konuşurken; Peer-to-Peer (P2P) mantığını anlamak çok önemlidir. Blokzincir sistemlerinin en önemli özelliği P2P protokolüne sahip olmasıdır. Şekil 4.5.'te de görüldüğü gibi P2P altyapısına sahip protokollerin merkezi sunucudan en büyük farkı merkeziyetsiz bir yapıya sahip olmasıdır [26].



Şekil 4.5. Merkezi sunucu ile Peer-to-Peer (P2P) protokolleri

Merkezi sunuculu diğer bir adıyla Client/Server sistemlerde Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi tüm bilgiler bir arada ve merkezi bir noktada depolanmaktadır. Sunucu, kaynaklarını istemciler ile paylaşan temel olarak verinin depolandığı ve dağıtımının yapıldığı güçlü merkezlerdir. İstemciler istenilen bilgiye sunucular üzerinden ulaşmaktadır.

Peer-to-Peer (P2P) tipindeki protokolde; merkezi sunuculu sistemlerden farklı olarak ana bir depolama alanı bulunmamaktadır. Sistemdeki her istemci (client) sunucu (server) olarak davranmaktadır. P2P ağında her ekipman aynı yeteneklere sahiptir.

P2P teknolojisi ile Client/Server teknolojisi karşılaştırıldığında her iki teknolojinin birbirine karşı bazı avantajları olduğu görünmektedir. Bunlar;

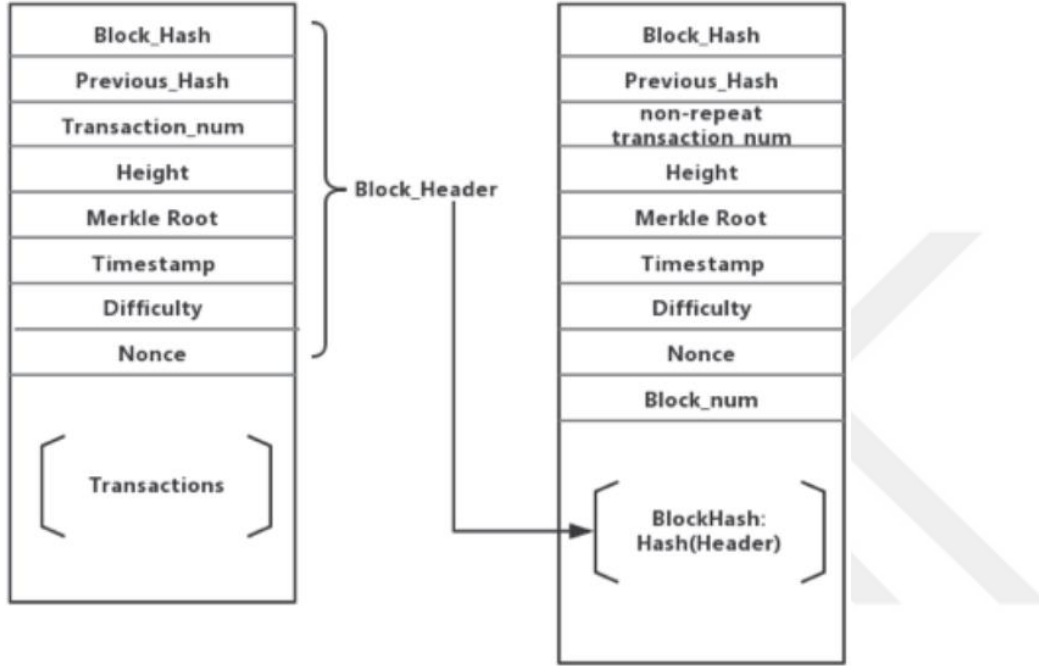
- P2P ağının kurulması ve ağdaki diğer bilgisayarlarla iletişiminin sağlanması kolaydır ve özel bir sistem yöneticisi desteğine ihtiyaç yoktur.
- Bütün kaynaklar ağ üzerinde bulunan tüm ekipmanlar tarafından paylaşılmaktadır. Client/server'da ise tüm kaynaklar sunucu üzerindedir ve tüm istemcilere sunucu dağıtmaktadır.
- P2P sistemi, Client/Server sistemine göre daha güvenlidir. Client/server sisteminde merkezde oluşabilecek hata ya da olası bir sorun telafisi zor durumlarla bizi karşı karşıya bırakabilmektedir. P2P sisteminde ise tüm bilgisayarlar merkez bilgisayar görevinde olduğu için sistemdeki bir ya da birden fazla bilgisayarda oluşan sorunlar ağı olumsuz etkilemez.

- Client/server yapıda veri sadece sunucularda depolandığı için veri güvenliğini sağlamak daha kolay olduğu gibi veriler üzerinde yapılan çeşitli değişikliklerden sistemdeki kullanıcıların haberdar olma şansı yoktur.
- Client/server yapıdaki veriler tek sunucu üzerinde kaydedildiği için arşivlenmesi daha kolay olacaktır.
- P2P ağlarda dünyanın herhangi bir bölgesinde bulunan bir bilgisayar sistem dışında kalsa da sistem herhangi bir zarar görmeden çalışmaya devam etmektedir

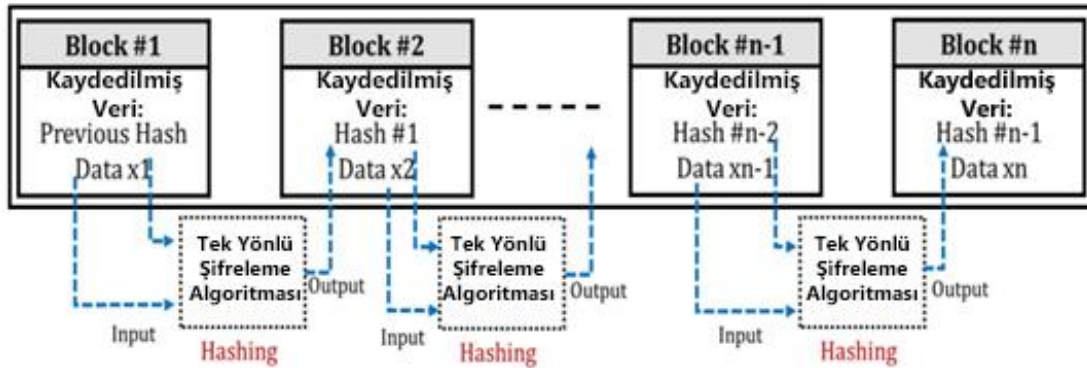


5. BLOKZİNCİR MİMARİSİ

Blok kavramı adından da anlaşılacağı gibi blokzincir sistemindeki en önemli yapı taşıdır. Şekil 5.1.'den de anlaşılacağı gibi sistemin çalışması son derece basittir. H blok bir sonraki bloğa bağlanarak bir zincir oluşturması sonucunda zincire dahil olmaktadır [27].



Şekil 5.1. Genel blok yapısı



Şekil 5.2. Blok yapısı

Blok başlığı içindeki bilgilerin, toplu bir şekilde, güvenli özetleme algoritmasından geçirilmesiyle o bloğa ait olan özet bilgisine (block hash) ulaşılmaktadır. Şekil 5.2.'de de

görüldüğü gibi her blok kendisinden önceki bloğa ait özetleme bilgisini içermektedir [28]. Bloğa ait özet bilgiyi içeren bloğun özeti bir sonraki blok için kullanılacak özetleme bilgisini elde etmekte kullanılmaktadır. Şekil 5.2.'deki blok yapısında incelendiğinde blokzincir ağı üzerinde kayıtlı olan bir bilginin kötü niyetli biri tarafından değiştirebilmesi için hem hedef bloğu hem de ondan sonra gelen tüm blokları değiştirmesi gerekmektedir. Blok üretiminin sürekliliği (blokzincire sürekli olarak yeni blokların katılıyor olması) ve blok üretim yapısından dolayı, bu senaryo teorik olarak mümkün gözükse de pratikte gerçekleştirilmesi normal koşullarda mümkün gözükmemektedir [29].

Blokzincir içerisinde yer alan her blokta; bulunduğu bloğu tanımlayan bir blok başlığı (block header) ve işlem kayıtlarının yer aldığı işlemlerden (transactions) oluşmaktadır. Bitcoin sisteminde bulunan her bloğun içerisinde 500'den fazla işlemin bulunduğu transaction yer almaktadır. Ortalama işlem boyutu 250 byte civarındadır. Blok başlığı ise 80 byte veri içermektedir. Blokzincir sisteminde yer alan blok, blok başlığı, işlem sayısı ve işlemlerin tamamının boyutu farklılık göstermektedir. Çizelge 5.1.'de bu kavramların boyutu ve açıklamaları yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Bitcoin blok yapısı

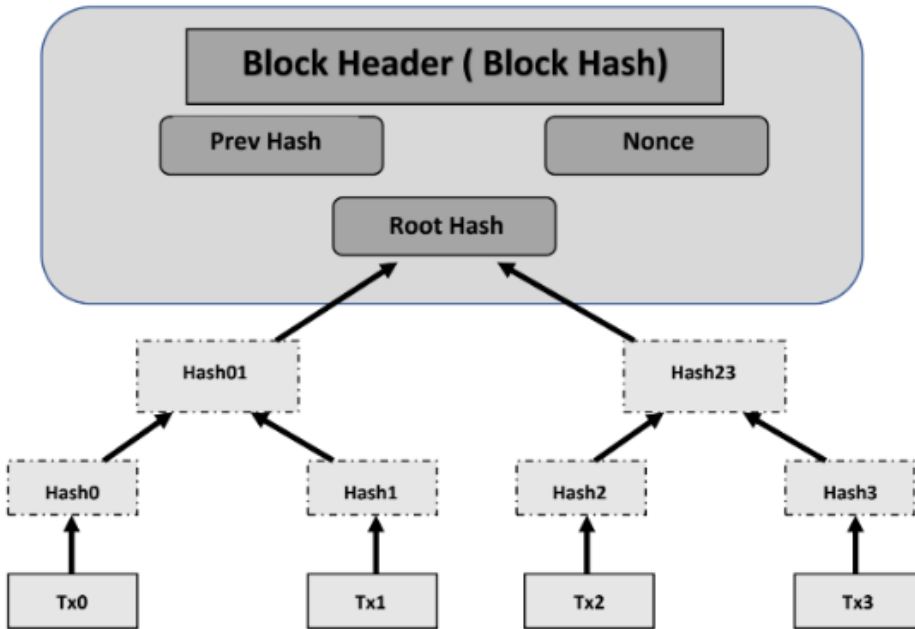
Alan	Boyutu	Açıklaması
Blok Büyüklüğü	4 byte	Toplam blok büyüklüğü
Blok Başlığı	80 byte	Blok başlığının büyüklüğü
İşlem Sayısı	1-9 byte	Blok içerisindeki işlem sayısı
İşlemler	Değişken	Blok içerisindeki tüm işlemler

Bitcoin'in blok yapısı önemli olduğu gibi blok başlığı kavramlarını sistemin nasıl çalıştığının anlaşılması konusunda büyük önem arz etmektedir. Blok başlığı içerisinde yer alan kavramlardan olan versiyon, önceki block hash, merkle root, zaman damgası, zorluk derecesi, nonce gibi kavramların gerek boyutu gerekse de açıklamalarıyla ilgili bilgiler Çizelge 5.2.'de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Bitcoin blok başlığı yapısı

Alan	Boyutu	Açıklaması
Versiyon	4 byte	Yazılımın versiyonu
Önceki Block Hash	32 byte	Referans edilen önceki bloğun hash değeri
Merkle Root	32 byte	Merkle root hash değeri
Zaman Damgası	4 byte	Bloğun yaratılma zamanı
Zorluk Derecesi	4 byte	Proof-of-work algoritması zorluk hedefi
Nonce	4 byte	Sayaç (Proof Of Work - PoW) tarafından kullanılacak

Merkle root yönteminde, blok içindeki tüm işlemler (transactions) hash lenir. Elde edilen iki hash ikiye olarak birleştirilip bir üst seviyede tekrar hash lenir. Bu şekilde ikiye ikiye döngüsel olarak tek hash kalana kadar işlem devam eder. Kalan bu hash değerine de dijital parmak izi (merkle root) adı verilmektedir. Bir işlemin bir bloğa dahil olup olmadığını doğrulamak için çok verimli bir süreç sağlamaktadır. Merkle Root elde edilince bunu Blok Header'a yazar. Bitcoin'in merkle ağaçlarında kullanılan şifreleme hash algoritması, SHA256'dır [30]. Merkle Root yönteminde blok içerisinde yer alan tüm işlemlerin şematik yapısı Şekil 5.3.'te yer almaktadır.



Şekil 5.3. Merkle Root (Merkle Kökü)

İşlem kısaca her türlü veri transferini sağlayan bir kayıt olarak tanımlanabilmektedir. Sistemin ana amacı güvenlidir, yapılan tüm işlerde öncelik bu transferlerin güvenliğini sağlamaktır. İşlemler bu mimarinin temel yapıtaşlarıdır.

Bitcoin işlem veri yapısı açısından girdi verilerinden ve çıktı verilerinden oluşmaktadır. Bunlar işlem içinde referans edilmektedirler.

Bitcoinle ilgili olarak üç ana kavramla karşılaşılmaktadır.

Bu kavramlar

- Bitcoin'in Genel Veri Yapısı
- Bitcoin'in Girdi Veri Yapısı
- Bitcoin'in Çıktı Veri Yapısıdır.

Bitcoin'in genel veri yapısındaki alanlar; versiyon, girdi sayısı, girdiler, çıktı sayısı, çıktılar ve kilit zamanıdır. Çizelge 5.3.'te Bitcoin'in genel veri yapısı içerisinde bulunan alanlara ait boyut ve açıklama bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 5.3. Bitcoin'in genel veri yapısı

Alan	Boyutu	Açıklaması
Versiyon	4 byte	İşlemin hangi kurala uyacağını belirler.
Girdi Sayısı	1-9 byte	Girdi (input) sayısı
Girdiler	Değişken	İşlem girdi verileri
Çıktı Sayısı	1-9 byte	Çıktı (output) sayısı
Çıktılar	Değişken	İşlem çıktı verileri
Kilit Zamanı	4 byte	Unix zaman damgası veya blok no

Bitcoin'in girdi veri yapısına baktığımızda ise karşımıza üç ana kavram çıkmaktadır. Bu kavramlar; miktar, kilit-script boyut ve kilit script'idir. Bu kavramların boyutları ve açıklamalarına ait bilgiler Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Bitcoin'in girdi veri yapısı

Alan	Boyutu	Açıklaması
Miktar	8 byte	Bitcoin miktarı, (satoshi olarak)
Kilit-Script Boyut	1-9 byte	Kilit – Script Büyüklüğü
Kilit-Script'i	Değişken	Çıktı miktarını harcama koşullarını tanımlayan script.

* 1 satoshi 10^{-8} bitcoindir.

Bitcoin için en önemli kavramdan birisi de çıktılardır. Çıktı kavramının anlaşılması için işlemin hash değeri, çıktı indeksi, kilit açma script boyutu, kilit açma scripti gibi bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 5.5.'te bu bileşenlerin boyutu ve açıklamalarına ait bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 5.5. Bitcoin'in çıktı veri yapısı

Alan	Boyutu	Açıklaması
İşlem Hash Değeri	32 byte	Harcanmamış para işlemini içeren işlem kaydına referans eden hash değeri
Çıktı İndeksi	4 byte	Harcanmamış para içeren işlem kaydı içindeki indeks no
Kilit Açma Script Boyutu	1-9 byte	Kilit Açma scripti büyüklüğünü belirtir.
Kilit Açma Scripti	Değişken	Harcanmamış paranın serbestçe kullanılmasını sağlayacak script içeriği

Yapılan her işlem en az bir girdi ve çıktı içermektedir. Her girdi, kullanacağı parayı bir önceki çıktıdan alarak harcamaktadır. Daha sonra, her çıktı, sonraki girdi bunları harcayana kadar Harcanmamış İşlem Çıktısı (Unspent Transaction Output - UTXO) üretmektedir. Bir bitcoin cüzdanı bir kişiye 10 Bitcoin'e sahip olduğunu söylüyorsa; bu aslında bir ya da birden fazla Unspent Transaction Output (UTXO) kaydında toplamda 10 bitcoin harcanmayı bekliyor anlamı taşımaktadır. Bitcoin transferinde işlemin tutarlılığı en önemli koşullardan birisidir. Yani olmayan bir paranın transfer edilmesi mümkün değildir.

Aksi durumda ortaya çıkan değer işlem ücreti (transaction fee) olarak adlandırılmaktadır. Ortaya çıkan bu işlem ücreti, işlemi yayınlayan madenciler arasında paylaşılmaktadır. Blokzincir sisteminde bu işlerin yoğunluğu düşünülünce bu işlem ücreti (transaction fee) boyutunun çok yüksek rakamlara ulaştığı bilinmektedir. Bu işlem ücretleri (transaction fees) sayesinde de sistemin devamlılığı sağlanmaktadır. Madencilerin kazandıkları tek kazançları bu bahşişler değildir. Aynı zamanda üretilen bloklar içerisinde "coin base transaction" adı verilen klasik anlamda para basma işlemi olarak tanımlanabilecek işlemlerin sonucunda da belirli miktarlarda bitcoine sahip olmaktadır. Bitcoin'deki sistemin benzeri kendi içerisindeki dengeyi sağlamaktadır. Bir işlem kaydı içinde birden çok girdi ve birden çok çıktı olabilmektedir. Sistemdeki her girdi işlemi bir sonraki çıkış işlemine referans vermektedir. Bu sayede hem süreklilik hem de işlemlerin birbirine bağlanması sağlanmaktadır. Bunun yanında işlem kaydı girdisi içerisinde dijital imza da bulunmaktadır.

Dijital imzalar, dijital mesajların ya da belgelerin doğruluğunu göstermek amacıyla kullanılmaktadır. Dijital imza dediğimiz kavram aslında matematiksel bir şemadır. Geçerli bulunan dijital bir imza, mesajın değiştirilemediğinden emin olunması için bilgi bütünlüğü sağlamaktadır. Geçerli olarak kullanılan bir elle oluşturulmuş imzanın dijital imza haline dönüştürülmüş hali Şekil 5.4.'te görülmektedir [31].

	El Yazısı İmza	Dijital İmza
Kavram		Dijital imza asimetrik şifreleme / deşifreleme yöntemini kullanarak 13598293948977765839 19293933923939239239 49294959935939993953 99943049384550490594 49395234898434857558
Sorun	Yeniden Kullanılabilen	Yeniden kullanması imkânsız

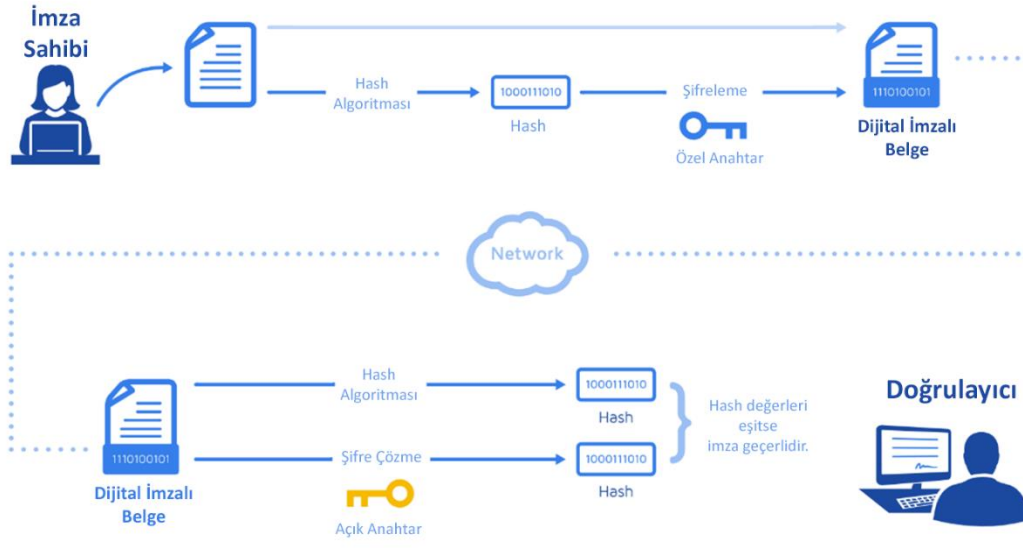
Şekil 5.4. El imzası ve Dijital imza karşılaştırması

Dijital imzaların özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır;

- Orijinal olmalıdır.
- Yeniden kullanılamaz olmalıdır.
- Değiştirilemez olmalıdır.
- İptal edilemez olmalıdır.

Bitcoin ağında kullanılan İş Kanıtı (Proof of Work - PoW) bir fikir birliği stratejisidir. Bilindiği gibi blokzincirde işlem kayıtları için en basit seçenek rastgele bir tercih olarak görülmektedir.

Dijital imza artık günlük hayatımızda da bir yeri olan ve avantajları tüm otoriteler tarafından kabul edilmiş bir kavramdır. Dijital imzada en çok dikkat edilmesi gereken şey ise imzanın değiştirilmez olmasıdır.



Şekil 5.5. Dijital imza çalışma prensibi

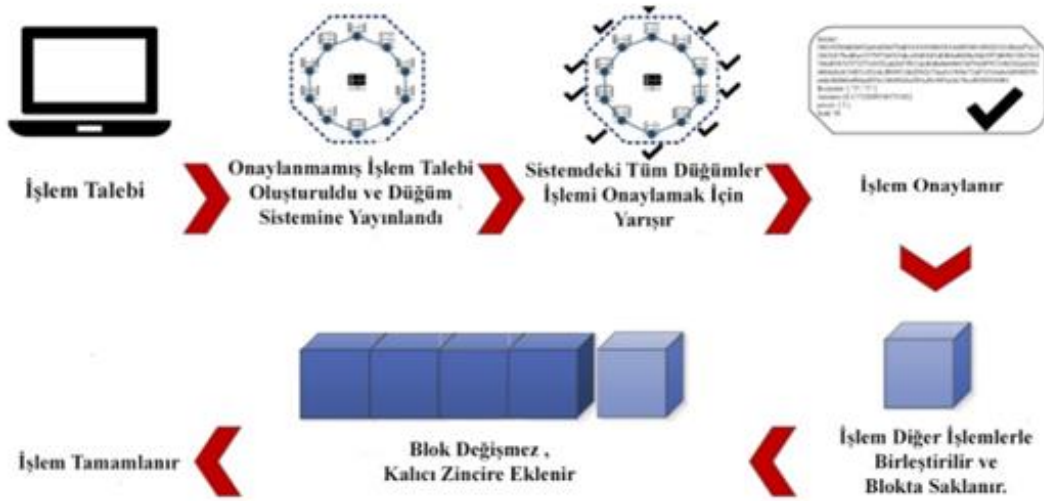
Şekil 5.5.'te dijital bir imzanın çalışma süreçleri adım adım ve detaylı olarak yer almaktadır [32].

“İmza işlemi asimetrik bir şifreleme üzerine kurulmuştur. İlk önce başlangıç bilgisinin bir özeti oluşturulmaktadır ve bu sonuncusu özel bir anahtarla şifrelenmektedir. Bu işleme imza adı verilmektedir. İmzayı doğrulamak için, alıcı mesajdan şifreli özeti almaktadır ve şifreyi çözmek için genel anahtarını kullanmaktadır. Daha sonra alıcı, alınan bilgidenden bir özet yaratır ve daha önce şifrelenmiş özet ile karşılaştırılır. Bu imza kontrol işlemidir. Özel anahtarın ne zaman kullanıldığını hatırlamanın iyi bir yolu, her işlemde hangi bilgilerin önemli olduğunu bilmektir. İmza işleminde kritik bilgi özetidir, bu nedenle özel anahtar imzalamak için kullanılmaktadır. Şifreleme işlemlerinde kritik bilgiler şifrelenmektedir. Bu nedenle özel anahtar şifresini çözmek için kullanılmaktadır” [33].

Merkeziyetsiz bir ağ sisteminde bulunan işlem kayıtları için en basit seçenek rastgele bir tercih olarak görülmektedir. Ancak rastgele yapılan seçimlerin olası saldırılara karşı savunmasız kalması nedeniyle düğümlerin blok yayınlama esnasında ağın güvenli olduğunu kanıtlanması için zorluk derecesi hayli yüksek matematiksel işlemler yapmaları gerekmektedir. Bu iş kanıtı sisteminde ağda yer alan her düğüm işlem havuzundaki kayıtları bir araya getirmektedir. Matematiksel bütünlüklerini sağladıktan sonra blok bütünlüğünü oluşturan kurala uygun şekilde yayınlamak durumundadır. Bunun yanı sıra sistemin on dakika kuralı zincire eklenecek blokların işlem sürecini de belirlemiştir. On yılı aşkın süredir

devam eden sistem içerisinde kullanılan ve bu duruma bir güvenlik süreci olarak bakıldığında işlem gücünün teknoloji ile doğru orantılı bir artışa sahip olması nedeninden dolayı süre kuralının sabit kalması için ulaşılmaması gereken ispatın zorlaştırılması gerekmektedir.

Bu kuralın işleyişi blok başlığı yapısında adı geçen ve “nonce” olarak adlandırılan kabaca şifre içi şifre olarak tanımlanan bir değerdir. “Her hash işleminde nonce değerleri değiştirilerek farklı hashler üretilmektedir ve uygun hashe ulaşıldığında o nonce değeri de blok içine yazılmaktadır” [34].



Şekil 5.6. Blokzincirin çalışma sürecinin işleyişi

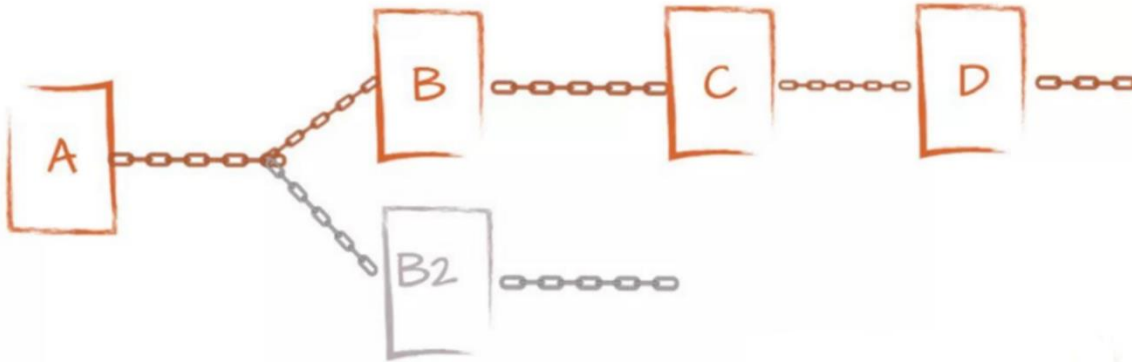
Blokzincirin çalışma sürecinin işleyiş sürecine ait tüm bilgiler Şekil 5.6.’da detaylı olarak yer almaktadır [35].

5.1. Blokzincirde Çatallanma

Blokzincir sisteminde bulunan her blok kendinden önceki bloğa hash değerini referans göstererek bağlanabilmektedir. Günümüzdeki teknolojileri dikkate aldığımızda bu referans alınma sürecinin milisaniyeler mertebesinde olduğu düşünülebilmektedir. Aynı şekilde bu hash değerinin hesaplanması günümüz işlem gücünde saliseler mertebesinde ve göz ardı edilebilen bir hızdadır. Örnek olarak ilk bloğun hash değerinin on sıfırla başladığını

düşünelim. Zaman içinde soldaki sıfır sayısının arttığı bilinmektedir. Bunun ana nedeni yüksek işlem gücü ile blok üretiminin gerçekleşmesinden dolayı on dakika kuralına göre üretimin zorlaşmasıyla açıklanabilmektedir.

Merkezi olmayan bir ağda, çoklu düğümler neredeyse aynı anda uygun özü bulduğunda, aynı anda geçerli bloklar oluşabilmektedir. Sonuç olarak, Şekil 5.7’de görüldüğü gibi farklı dallanmalar oluşabilmektedir. “Ancak, iki rakip çatalın aynı anda bir sonraki bloğu üretmesi bu ağ tipinde mümkün değildir. PoW (İş Kanıtı) protokolüne göre uzayan bir zincir, gerçek zincir olarak değerlendirilmektedir. Aynı anda onaylanmış olan B ve B2 blokları tarafından oluşturulan iki çatal olduğunu varsayalım. Madenciler daha uzun bir şube bulunana kadar bloklarını incelemeye devam etmektedir. B, C, D daha uzun bir zincir oluşturarak B2’deki madenciler daha uzun kollara geçmektedir” [34].



Şekil 5.7. Blokzincirlerde fork (Çatallanma) örneği

5.2. Blokzincir Çeşitleri

Blokzincir teknolojileri anlatılırken genellikle kriptoparalarda kullanılan “Açık Blokzincir” kavramından bahsedilmektedir. Bunun yanında blokzincir teknolojisinde “Konsorsiyum Blokzincir”, “Özel Blokzincir” ve “Hibrit Blokzincir” kavramları da yer almaktadır. Bu blokzincir tiplerinden hangisinin kullanılacağı müşteri talepleri ve ihtiyaçlara göre belirlenmektedir.

Çizelge 5.6.’da görüldüğü gibi blokzincir türlerinin arasındaki farklılıkları yer almaktadır.

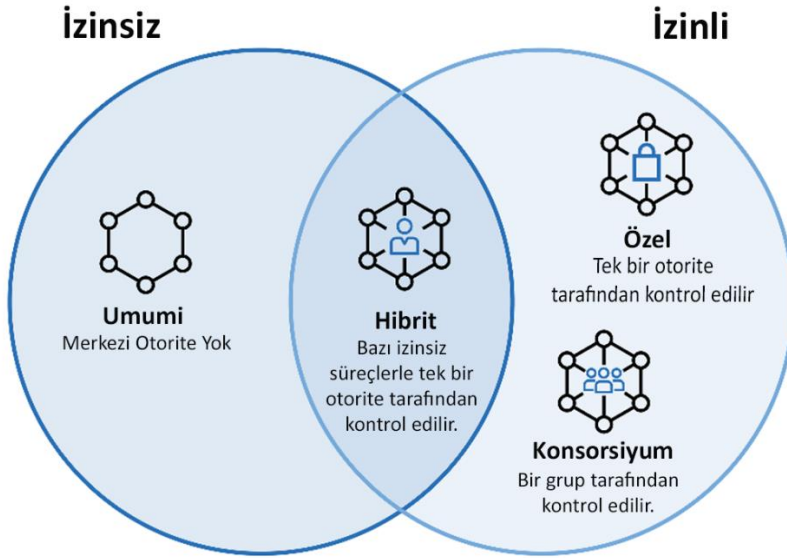
Çizelge 5.6. Açık blokzincir, Konsorsiyum blokzincir, Özel blokzincir türlerinin özellikleri

Özellik	Açık Blokzincir	Konsorsiyum Blokzincir	Özel Blokzincir
Ortak Karar Verme	Bütün Madenciler	Seçilen Bilgisayarlar	Tek Organizasyon
Okuma İzni	Herkes	Herkes ya da kısıtlı kullanıcı	Herkes ya da kısıtlı kullanıcı
Veri Değiştirme İhtimali	Neredeyse İmkansız	Değiştirilebilir	Değiştirilebilir
Verimlilik	Düşük	Yüksek	Yüksek
Merkezilik	Yok	Kısmen	Evet
Konsensüs Süreci	İzinsiz	İzne Tabi	İzne tabi

5.2.1. Açık(Umumi) blokzincir

Bitcoin madenciliği ve kriptoparaların bir kısmında kullanılan blokzincir tipidir. Sistem içerisinde yer alan tüm bilgisayarlar işlemlerin gerçekleşmesi noktasında eşdeğerdir. Sistemde yapılan işlemler herkese açıktır ve herkes tarafından görülebilmekte aynı zamanda incelenebilir bir yapıdadır. Burada sistemin içerisinde yer alan işlemlerin yapılması sürecinde tüm bilgisayarlar eş güce sahiptir. Sisteme kaydedilmiş herhangi bir verinin geriye dönük olarak değiştirilmesi günümüz teknolojisinde imkansıza yakındır. Aynı durum silinme ve tahrip edilme noktasında da sağlanmaktadır. Açık blokzincir sistemi merkeziyetsiz şekilde dizayn edilmiştir ve gücünü aslında bu merkeziyetsizlikten almaktadır. Sistemin güvenliği dağınık durumda bulunan binlerce kullanıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Bundan dolayıdır ki sistemde herhangi bir değişiklik yapmak istendiğinde değişiklik yapılmak istenen işlemde sonra gelen tüm işlemlerin değişmesi gerekliliği, güvenlik düzeyini çok üst düzeylere çıkarmaktadır [35].

Açık(Umumi) blokzincirin de bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Günümüz teknolojisi ve bilgisayarların mevcut işlem güçleriyle açık blokzincir ağı içerisinde çok sayıda düğümün yer alması, bu düğümler arası işlem hızı ve işlem hacminin sınırlı olması nedeniyle işlem boyutu sınırlı olmaktadır. Bu durum kaynak verimliliğini düşürmektedir.



Şekil 5.8. Blokzincir türleri

Blokzincir türlerinin biraz daha kolay şekilde anlaşılabilmesi için Şekil 5.8.'de izinli ve izinsiz tipteki blokzincir türlerini görmekteyiz [36]. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli türlerden birisi de kesişim kümesinde yer alan blokzincir türüdür [37].

5.2.2. Konsorsiyum blokzincir

Konsorsiyum blokzincir sistemi içerisinde sadece seçilmiş olan bilgisayarların sisteme katılabileceği şekilde kurulmuştur. Açık blokzincir sisteminden en büyük farklarından birisi budur. Geçmişe yönelik veriler sadece yetkilendirilmiş kişiler tarafından görülebilmektedir. Sistem merkeziyetsiz gibi gözükse de aslında tam olarak merkeziyetsiz değildir. Sistemde yönetici olarak tanımlanmış bir otorite vardır. Sistemdeki tüm işlemleri yapabilme yetkisi sadece bu yönetici olarak tanımlanmış kullanıcılardadır. Bu farkından dolayı Açık blokzincir sistemine göre verimliliği daha yüksektir. Ancak açık blokzincir sistemine göre şeffaflığı ve güvenlik seviyesi daha düşüktür [35].

5.2.3. Özel blokzincir

Özel blokzincir sistemi diğer sistemlerden farklı olarak merkezi bir otorite tarafından yönetilen bir sistemdir. Yani merkeziyetsiz bir sistem olarak algılanmamalıdır. Sisteme katılmak isteyenler ancak merkezi otoritenin izniyle katılabilmektedir. Bu özelliklerine baktığımızda açık blokzincir altyapısından farklıdır. Ancak konsorsiyum blokzincir altyapısına benzerdir. Tıpkı konsorsiyum blokzincirinde olduğu gibi özel amaçlara olanak sağlayan, farklı sektörlerde kullanılarak, fayda sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

5.2.4. Hibrit blokzincir

Hibrit blokzinciri tek bir kuruluş tarafından kontrol edilmektedir. Ancak belirli işlem doğrulamalarını gerçekleştirmek için gerekli olan gözetimler genel blokzincir tarafından gerçekleştirilmiştir.

6. BITCOIN VE ETHEREUM

Blokszincir kelimesi duyulduğu zaman herkesin aklına öncelikli olarak Bitcoin ve Ethereum gelmektedir. Çoğu kişi her ikisinin de bir tip kripto varlık olduğunu bilse de aralarında nasıl bir farklılık olduğunu dair bilgilere sahip değildir. Hem Bitcoin hem de Ethereum blokszincir tabanlı kripto varlıklar olsa da Ethereum bazı özellikleriyle bir kripto varlıktan çok daha öte özelliklere sahiptir.

6.1. Bitcoin

Dünya genelinde açık blokszincir sistemi dendiğinde akla ilk gelen şey Bitcoin'dir. Bundan dolayı birbiri içerisine geçmiş olan Bitcoin ve blokszincir kavramlarının birbirinden bağımsız düşünülmesi mümkün olmamaktadır. Bitcoin aslında bir blokszincir türüdür. Bitcoin'in %100 şeffaf ve merkeziyetsiz olması nedeniyle dünyada büyük değişimlere neden olacağı beklentisi Bitcoin'in bulunduğu ilk günden beri devam etmektedir. Bitcoin'in mucidi yayınlamış olduğu makalede [18] açık blokszincir teknolojisini Bitcoin üzerinden anlattığı için bu iki kavram da beyinlerde önemli bir yer etmiştir.

“Nakamoto'dan yıllar önce benzer projeler halka duyurulmuştur. “Bunlara örnek olarak, 1982'de David Chaum'un “kör imzası” (Chaum, 1992); 1997'de Adam Back'in “hashcash” olarak adlandırılan ispat çalışma algoritması (Back, 2002), 1998'de Nick Szabo'nun “bitgold” adını verdiği dijital para birimi önerisi ve Wei Dai'nin 1998'de önerdiği “b-money” adını verdiği elektronik nakit sistemi sayılabilir. Aslında blokszincir sisteminin alt yapısını oluşturan temel taşlar olarak da nitelendirilebilmektedir” [38].

Önerilen elektronik paranın güvenilir olması, olmayan bir varlığın harcanmadığından emin olunması ve sistemdeki paranın sahip olduğu hesabın gizliliği gibi konuların netleşmeden işlem yapılması mümkün değildir. 2009 yılında net şekilde ortaya çıkarılan blokszincir teknolojisi günümüzde insanların telefon, tablet ve bilgisayarlarla bağımlılık derecesinde kullanımıyla bir araya geldiğinde insan hayatı için bir devrim niteliği taşımaktadır. Aynı zamanda sistemin merkeziyetsiz ve üst düzey güvenliğe sahip olması nedeniyle de elektronik ödemeler içinde gelecekte bir alternatif yaratacağı düşünölmektedir.

6.1.1. Bitcoin'in temel özellikleri

“Alışılmış ve günümüzde kullanmış olduğumuz standart para birimleriyle ve Bitcoin'in ödeme şekillerini karşılaştırdığımız takdirde Bitcoin'in diğer para birimlerinden farkı aşağıdaki gibi listelenebilmektedir:

- Merkeziyetçi bir yapısının olmaması
- P2P teknolojisi ile işlem yapmaya olanak sağlaması
- Tamamen dijital bir ortamda var olması ve kullanımının da dijital olması
- Arzında bir limitin var olması
- Bilgisayar algoritmalarında tasarlanan çok karmaşık bir ürün olması
- Her alanda kullanılmıyor olması
- İşlem onay süresinin yaklaşık olarak 10 dakikayı bulması
- Bitcoin hesaplarının herhangi bir kamu ya da özel sektör kuruluşu tarafından sigortalı olmaması” [39]

Bitcoin ağına bağlı bulunan tüm kullanıcılar, yapılan işlemleri ve istenildiği takdirde bilgileri doğrulamak ve kaydetmek için sisteme bağlandığı bilgisayarın tüm gücünü kullanarak bir madenci (miner) olarak çalışabilmektedir. Sistem her 10 dakikada bir güncellenmektedir. Yani her 10 dakikada bir, bir Bitcoin madencisi son 10 dakikadaki işlemleri doğrulama olanağına sahip olmaktadır. Yapılan bu işlem sonucunda da sistem madencileri bir miktar bitcoin ile mükafatlandırmaktadır.

Bitcoin sisteminin geneline baktığımızda bir bankanın yapabileceği tüm işlemleri yapabildiği görülmektedir. Yani bir bankayı devre dışı bırakabilecek bir yapıya sahiptir. Klasik parayla kıyaslandığında en büyük farkı sınırlı bir varlık olmasıdır. Bitcoin 21 milyon adetle sınırlandırılmıştır. 21 milyon Bitcoin'in üretim sürecinin tamamlanma süresi günümüz teknolojisine göre 2140 yılı olarak hesaplanmaktadır.

Bitcoin aynı zamanda ad protokolü, eşler arası ağ ve dağıtılmış bilgi gibi işlem yeniliklerine sahiptir. Bitcoin, kriptografi ve dağıtılmış sistemlerdeki onlarca yıllık araştırmaların sonucunu temsil eden ilk uygulamadır. “Bu teknoloji benzersiz ve güçlü bir kombinasyonda bir araya getirilen dört önemli yeniliği içermektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Merkezi olmayan eşler arası ağ (Bitcoin Protokolü)
- Dağıtılmış halka açık defter (Blokzincir)

- Bağımsız işlemlerin onaylanması ve para birimi ihracı için bir dizi kural (Konsensus Kuralları)
- Dünya çapında dağıtılmış geçerli blokzincire ulaşmak için bir mekanizme (İş Kanıtı Algoritması)” [40]

6.1.2. Bitcoin genel değerlendirme

Bitcoin, ortaya çıkardığı blokzinciri yapısı büyük bir etki olarak görülmekte ve tüm dünyada dalga dalga yayılmaktadır. Bitcoin’in bu kadar fazla değer görmesinin ana nedeni sağlamış olduğu avantajlardır. Bu avantajlar;

- Bildiğimiz gibi bankaların para transferleriyle ilgili olarak bazı kısıtları mevcuttur. (Limit, saat vb.) Bitcoin’de böyle bir durum yoktur, günün istenen saatinde hesap tipinin izin verdiği mertebede istenen miktarda transfer yapılabilmektedir.
- İşlem maliyetleri bankalara göre çok düşük seviyededir.
- Hesapların gizli olması nedeniyle yapılan para transferlerinin takip edilmesi mümkün olmamaktadır.
- Banka ya da devletlerin koyduğu kurallar şu an için Bitcoin sistemini etkilememektedir.
- Teknolojik gelişimi yüksek olan ülkelerde ve tam olarak ne olduğunun anlamadığı bu süreçte birçok avantaj sağlamaktadır (vergi vb.).
- Sistemdeki paraya şu an için devletlerin el koyma ihtimali olmadığı gibi sistemdeki paraya garantör olma gibi bir durumu da yoktur. Bu durum aynı zamanda bir dezavantaj olarak da düşünülebilir.

Dezavantajları;

- Paranın somut bir varlık olduğunu düşünen insanlar için Bitcoin’e güven olgusunu sağlama zorlu bir süreçtir.
- Bitcoin değerinin pozitif ve negatif yöndeki hızlı değişimleri nedeniyle muhasebesel bir ürün olarak kullanılması çok da mümkün değildir.
- Blokzincir mantığı nedeniyle sistemde yapılan hatalı işlemlerin geri dönüşü olmamaktadır.
- Hukuki bir dayanağının olmaması nedeniyle risk taşımaktadır.

6.2. Ethereum

Günümüzde yaşanan gelişmelerle beraber blokzincir sisteminin getirmiş olduğu bazı avantajlar nedeniyle Bitcoin kavramı büyük bir değer haline gelmiştir. Ancak blokzincir sisteminin sadece Bitcoin'den ibaret olduğunu düşünmek yanlış olacaktır. Blokzincir sisteminde önemli bir yer tutan maddi değer açısından Bitcoin'den sonra ikinci sırada bulunan Ethereum kavramı da bu alanda büyük bir önem arz etmektedir.

Ethereum da tıpkı Bitcoin gibi şeffaf bir yapıya sahiptir. İsteyen herkes Ethereum blokzincir sisteminde yer alabilmekte ve bu sistem üzerindeki tüm verilere ulaşma şansına sahiptir. Ethereum sisteminde madencilik ve değer transferiyle beraber; veri ve akıllı sözleşme işlemlerinin de yapılması mümkündür.

Bitcoin ve Ethereum aslında benzer bir altyapıya sahip sistemlerdir. Ethereum sisteminde dijital para transferi ve bu transferlerin değerinin saklanması yanı sıra programlanabilir yapısı sayesinde Bitcoin'e karşı büyük bir fark yaratmaktadır.

Ethereum, Bitcoin'in blok mimarisine yapısı itibariyle büyük oranda benzemektedir. Yapılan işlemlerin bloklarda tutulması bu işlemlerin hash değerlerinin alınması, dijital imza, iş kanıtına dayalı madencilik görevleri Bitcoin'den esinlendiğini kolaylıkla göstermektedir. Ethereum'un Bitcoin'den en büyük farkı ise "ethash" algoritmasından ileri gelmektedir. Bu algoritma sayesinde Ethereum blokzinciri programlanabilir bir yapıya sahip olmuştur.

Ethash kavramının bu kadar önemli özelliği dağıtık olarak çalışan bir sistemde program yazmaya olanak sağlamasıdır. Bu özelliğiyle blokzincir sisteminin gelişimine büyük bir hız kazandıran bir yapıya sahip olmuştur. Ethereum'un sağlamış olduğu belirlenmiş olan şartlara göre değer transferi özelliği sayesinde Bitcoin'in sağlamış olduğu değer transferi arasında çok ciddi bir fark bulunmaktadır.

Akıllı sözleşmelerin tanımlanması için kullanılan üst seviye programlama dillerinden olan Solidity; Ethereum'un da resmi dilidir. Ethereum fikri ilk defa 2013 yılında ortaya atılmıştır [41]. "İlk başlarda kripto paradan ziyade "Yeni Nesil Akıllı Sözleşme ve Merkezi Olmayan Uygulama Platformu" olarak ortaya atılmış bir fikirdir. İlk bakışta Ethereum, eşler arası bir ağ ve düğümlerin blokzincir üzerinde programlanabilen akıllı sözleşmelerin uygulanması için bilgi işlem kaynaklarını paylaşmalarına izin veren değiştirilebilir bir şifrelemeye sahip

bir para birimi olarak görülmektedir. Bununla birlikte, bakış açısına göre Ethereum için çok farklı tanımlamalar da yapılabilmektedir” [41].

“Resmi rehberlerde Ethereum, dünyadaki herkesin kullanabileceği tek bir bilgisayar platformu olarak görülebilecek şekilde Dünya Bilgisayarı olarak da tanımlanmaktadır. Bu dünya bilgisayarında herhangi bir sayıda program kodlanabilir ve yürütülebilir ve katılan herhangi bir kod etkileşime girebilir ve bu programların her birinin durumuna erişebilir. Başka bir deyişle, Ethereum ile herhangi bir kullanıcı, çok ilginç özellikler sağlayan ucuz, sıfır altyapılı, global bir platforma erişilebilir” [41].

Ethereum teknolojisi akıllı organizasyonların (Merkeziyetsiz Uygulamalar) (Decentralized Applications Dapps) oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda ortak bir hedef doğrultusunda beraber çalışma arzusunda olan ve bir dizi şartlar konusunda mutabık kalmak için aynı zamanda uygulama durumunda olan kişi ya da kurumlar olarak da algılanabilmektedir. “Basit bir kira sözleşmesiyle dahi yüzbinlerce vatandaşa hizmet çabasında olan bir devlet kurumunun tüm birimleri ile yönetilmesi arasında kalan her türlü iş için kullanılabilen bir araç olma amacıyla olan bu yapı için en orijinal ve kısa tanımlamalardan birini projenin öncülerinden Gavin Wood “yerelleştirilmemiş tekil programlanabilir veri yapılarının bir koleksiyonu” olarak yapmıştır” [42].

Bu algoritmik kod yapısında hesap kendisine gönderilmiş olan ve işlem olarak adlandırılan mesajı aldığı zaman çalışmaktadır. “Akıllı sözleşmeler ve bunlardan doğacak dağıtılmış uygulamalar geliştirmek için hesaplamalı evrensel bir dil sağlanacaktır. Temelde akıllı sözleşmelerin dili, düşük seviyeli bytecodedur ve Ethereum ağı, bu kodu çalıştırıp aynı zamanda yürüten sanal bir makine olarak sunulmaktadır” [43].

Akıllı sözleşmelerde düşük seviyeli bytecode dilini ve Ethereum ağını yürüten sanal makineye Ethereum Sanal Makinesi (Ethereum Virtual Machine - EVM) adı verilmektedir. Blokzincir içerisinde geliştirilen programın tüm bu dağınık yapı içerisinde yer alan bilgisayarlara gönderilerek çalıştırılması gerekmektedir. Akıllı sözleşmelerdeki en önemli husus Ethereum sisteminde bulunan tüm madencilerin (miners) de gerçekleştirdiği tüm işlemlerde çalışıyor olmasıdır.

Akıllı sözleşmelerin teknik altyapısı ve çalışma süreci özgün bir yapıya sahiptir. Ethereum sisteminde bulunan tüm akıllı sözleşmeler ve diğer veri transferi işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için bir ücretlendirme sistemi bulunmaktadır. Bu ücretlendirme

sistemi için gas adı verilen bir birim kullanılmaktadır. Gas yapı olarak bitcoinde bulunan işlem ücretine (transaction fee) benzemektedir. Akıllı sözleşmelerde kullanılan işlem gücü, veri erişimi, kullanılan kaynak ya da diğer belirlenen unsurlara göre ihtiyaç duyulan gas miktarı artmaktadır. Bahsi geçen kodun çalışması için gereken gas harcamaları, hesapta bulunan ether ile satın alınmaktadır. Programın çalışması için hesapta yeterli ether yoksa program iptal olmakta ve ödemeye kadar gelmiş olan tüm işlemler, işlemler öncesi duruma geri dönmektedir. Gas'ı, Ethereum'da bulunan karmaşık hesaplamaların ağ üzerinde çalışması için güvenli hale gelen kilit bir mekanizma olarak tanımlanmaktadır. Çünkü kontrolden çıkan programlar sadece programın çalışmasını isteyen insanlar tarafından sistem üzerinden sağlanan para kadar sürecektir. Para bittiğinde ise madenciler bu işlem üzerinde çalışmayı durduracaktır. Bu sayede de olası Dağıtık Hizmet Engelleme (Distributed Denial of Service Attack - DDoS) vb. hack saldırılarının yüksek bir maliyeti olacağından dolayı sistem için ekstra bir güvenlik sağlanmaktadır.

Bir işlemle ilgili olarak başlatılan akıllı sözleşme sonrasında tetikleme işleminde yer alan verilere göre ağda bulunan her düğüm bağımsız ve otomatik olacak şekilde çalışmaktadır. Blokzincir sisteminde bahsedilen akıllı sözleşmeler basit olarak blokzincir üzerinde saklanmış benzersiz adreslere sahip komut dosyaları olarak tanımlanmaktadır. Burada bulunan ana fikir bir kullanıcıdan diğerine sadece bazı şartlar yerine getirildiği takdirde otomatik olarak bir değer transfer edebilmesi olarak değerlendirilebilmektedir.

Akıllı sözleşme sistemleriyle ilgili durumu bir örnekle açıklamak gerekirse; bir emlak almak ya da satmak istediğimizde emlak danışmanları, avukatların da çoğunlukla yer aldığı pahalı ve yavaş bir sürecin içerisinde kendimi buluruz. Emlak satışı süreci normal şartlarda iki kişi arasında olması gerekirken işlemler kimi zaman üç kişiyle kimi zamanda daha fazla kişinin sürece dahil olmasıyla devam etmektedir. Ethereum'un algoritma kodları sayesinde, sürecin sadece alıcı ve satıcı arasında bitebileceği bir sistem oluşturulabilmektedir. Örnek vermek gerekirse gayrimenkul alacak bir kişi ve satacak kişi arasında notere dahi ihtiyaç olmadan gayrimenkulün alıcıya devri, para ya da fonların satıcıya otomatik devri mümkün olmaktadır. Bu durum birçok ezberi bozacak bir gelişmedir. Aracı kullanılmadan yapılan bu işlemler güncel teknolojilerle birlikte hayatımızın birçok noktasında kullandığımız ve halen insanları birbirine bağlama hususunda üçüncü taraf fonksiyonuna sahip uygulamaların gerekliliklerini sorgulatacak cinsten bir yenilik olarak nitelendirilmektedir.

Dünyada e-ticaret sitelerinin birçoğu özellikle günümüzde kiralama üzerine çalışan firmaların büyük çoğunluğu merkezileştirilmiş sistemler; Ethereum altyapısı üzerinden merkeziyetsiz şekle dönüşebilecektir. Bunların dışında günümüzde kullanılan sosyal medya platformlarında fotoğraf, telefon numarası, e-mail adresi, doğum tarihi gibi birçok veri yer almaktadır. Bu verilerin tek merkezde toplanması ve günümüzde büyük önem arz eden bilgiler olmasından dolayı insanlarda bu konuda ciddi bir kaygı oluşturmakta ve aynı zamanda ciddi bir güven sorunu yaşanmaktadır. Ethereum altyapısının kişisel verilerin kontrol edilmesine imkan veren uPort isiminde merkezi olmayan bir kimlik yönetim sistemi sayesinde bağımlı olunan sunuculara ihtiyaç ortadan kalkmaktadır.

Günümüzde Kişisel Verilerin Korunması Kanunu'nun önem kazanması nedeniyle Ethereum'un sağlamış olduğu avantajlar sayesinde geleceğin teknolojisi olarak kabul görmektedir. Ethereum altyapısı sayesinde bu özel bilgilere erişime sahip olabilen, başkası adına bu bilgileri düzenleyebilen ya da kişinin izni olmadan kapatabilen merkezi bir sunucuya bağımlı olmak zorunda bulunan sistemlerin tedavülden kalkması beklenmektedir.

Ethereum blokzincirinde bulunan otomatik tetikleme özelliği alım satım sürecinde güvenilecek üçüncü şahıs ihtiyacını ortadan kaldırmaya yeterlidir. Bu sayede de üçüncü taraflara ihtiyaç olmadan ödeme sistemi entegre edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Dağıtık Hizmet Engelleme (DDoS) dediğimiz dağıtılmış ağ saldırılarının başarılı olması için tek bir düğümden ziyade sistemdeki tüm düğümlere saldırı gerçekleşmelidir. Blokzincir koruyan tek bir düğüm olsa dahi uygulama çalışmaya devam etmekte ve herhangi bir birleştirme düğümüyle beraber arayüz imkanına ihtimal vermektedir.

Ethereum günümüzde teorik bir bilgiden ziyade bu altyapıya sahip çeşitli uygulamalarla hayatımıza girmiş durumdadır. Buna örnek gösterilebilecek uygulamalardan biri de Slock.it Projesidir. “Merkezi olmayan bir fiziksel kilite benzetilebilir. Bu yapı bir Ethereum mini bilgisayarın yanı sıra blokzincir kilitleyebilen bir elektronik kilit içermektedir. Buradaki kavram, birinin “Slock” un arkasındaki herhangi bir varlığı (örneğin, apartman, araba, bisiklet) kilitleyebilmesi ve dünyadaki herhangi birisinin bu ögeyi Ether üzerinde belirli bir ücret karşılığında kiralayabilmesidir. İşlem doğrulanırsa, kiralayan taraf, fiziksel varlığın kilidini özel anahtarıyla açabilir ve kiralama süresi boyunca kullanabilir. Bu proje Ethereum'un fiziksel dünyaya nasıl bağlanabileceğini çok iyi göstermektedir” [44].

7. ENERJİ SEKTÖRÜNDE BLOKZİNCİR

Enerji sektöründe blokzincir teknolojisinin anlaşılabilmesi için öncelikli olarak elektrik şebekesi konusunda bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Geleneksel şebeke dediğimiz şebeke tipinde blokzincir teknolojisinin avantajları sınırlı iken modern şebekelerde blokzincir teknolojisi olmazsa olmaz noktasına gelme ihtimali de göz önünde bulundurulmaktadır.

7.1. Elektrik Enerjisi ve Üretim, İletim ve Dağıtım

Elektrik artık günümüzün en önemli ihtiyaçlarından birisi halini almış durumdadır. Bundan çok değil, 60–70 yıl önce elektriksiz bir hayat yaşamak mümkünken günümüz teknolojisinde modern bir hayat sürmek ve teknolojik gelişmelerinden faydalanmak için elektrik olmazsa olmazdır. İnternetin hayatımızın hemen hemen her noktasına girmesiyle beraber elektrik enerjisine ihtiyaç her geçen gün daha da artacaktır.

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması, insanların tüketim odaklı yaşaması vb. durumlar nedeniyle enerji sektörü son 20 yılda hızlı bir büyüme sürecine girmiştir. Bu durum T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın her yıl yayınlamış olduğu raporlarda da kolaylıkla görülebilmektedir. Bu büyüme sürecinin planlı ve ileriye dönük tasarlanıp tasarlanmadığı da sorgulanmaya başlanmıştır.

Ülkemizde de dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi elektrik şebekesi enterkonnekte bir sisteme bağlanmıştır. Farklı bölgelerdeki çeşitli yollardan gerçekleştirilen elektrik üretimi öncelikli olarak enterkonnekte sisteme bağlanmaktadır. Enterkonnekte sisteme geçen elektrik enerjisi ise iletim ve dağıtım hatları üzerinden tüketiciye ulaştırılmaktadır. Ancak bu enterkonnekte sistem kaynaklı olan ve önüne geçilemeyen hat kayıpları ve sistemin işletmesi sürecinin zor olması, artan enerji ihtiyacının elektrik iletim ve dağıtım hatlarında köklü bir değişimi gerektirmesi gibi durumlar nedeniyle yeni çözüm arayışları sürmektedir.

Yıllar öncesinde sadece enerjinin iletiminin ve dağıtımının yapıp yapılmadığını kontrol eden sistemler yerini, enerji kalitesi kavramının da önem kazanmasıyla beraber birçok veriyi anlık olarak izleyen sistemlere bırakmıştır. Aynı zamanda gerekli görüldüğünde uzaktan da müdahaleye olanak veren sistemler şebekelerimizin altyapısını oluşturmaktadır. Bununla

beraber mikro grid, smart grid vb. uygulamaların artmasıyla beraber elektrik şebekesindeki enerji üretim noktalarının artması nedeniyle şebekelerin mevcut yöntemlerle yönetilmesi her geçen gün biraz daha zorlaşmaktadır. Elektrik enerjisi ve blokzincir sistemlerinin birbiriyle entegre olması ve bu durumun avantaj ve dezavantajlarını incelemeden önce enerji tedariki kavramını incelemek daha doğru olacaktır.

7.2. Elektrik Enerjisi Tedarik Zinciri

Elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaşması sürecinden önce çeşitli süreçlerden geçmektedir. Enerji üretimiyle başlayan süreç müşterilerin enerjiye ulaşmasıyla son bulmaktadır. Elektrik enerjisi, üretim yapılan yerden perakende satış noktasındaki müşterilere kadar 4 ana başlık altında sürmektedir.

Bunlar;

- Üretim
- İletim
- Dağıtım
- Perakende Satış

Elektrik üretimi: Günlük hayatta kullandığımız elektrik; primer kaynak olarak adlandırılan (kömür, doğalgaz, petrol, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar, med-cezir vb.) kaynakların sekonder (ikincil) kaynak olan elektriğe dönüştürülmesi sonucu elde edilmektedir. Doğada direkt olarak bir elektrik enerjisi bulunmamaktadır. Enerji ihtiyaçlarına göre elektrik üretimi artırılabilen veya azaltılabilmektedir.

Elektrik iletimi: Üretilen enerji genellikle tüketicilerden çok uzaktadır. Bu üretilen enerjinin öncelikle dağıtım bölgelerine ulaştırılmaları gerekmektedir.

İletim şirketlerinin genel görevleri aşağıdaki gibidir:

- Şebeke Yatırımı
- Bakım / Onarım
- Şebeke İşletmesi
- Frekans Kontrolü

Elektrik dağıtımı: Dağıtım birimlerine ulaşan elektrik buradan da dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketiciye ulaşmaktadır.

Dağıtım şirketlerinin genel görevleri aşağıdaki gibidir:

- Şebeke Yatırımı
- Bakım / Onarım
- Şebeke İşletmesi
- Güç Yönetimi



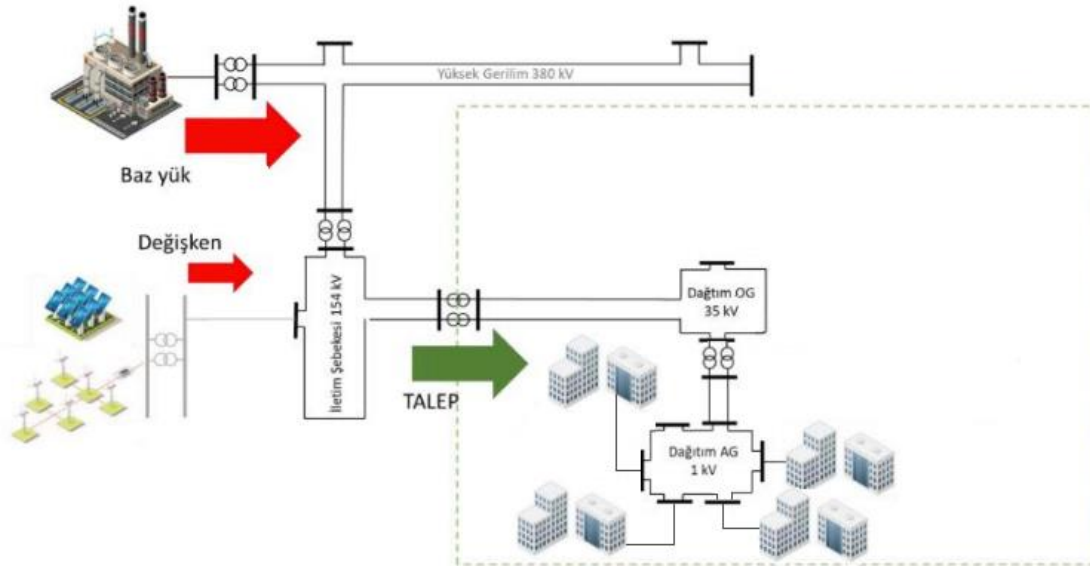
Şekil 7.1. Enerji tedarik zinciri süreci

7.3. Enerji Arz / Talep Süreci

Elektrik enerjisi üretimi, genellikle elektrik şebekesinin farklı noktalarında gerçekleşmektedir. Üretilen enerji, tüm üretim noktalarında senkron olarak üretilerek enterkonnekte sisteme entegre edilmektedir. Üretimin hangi gün, hangi saat hatta hangi dakikada ne kadar üretileceği daha önceden elde edilen istatistiki bilgiler dikkate alınarak planlanmaktadır. Geleneksel şebeke tipi olarak tabir edilen bu sistemin çalışma mantığının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 7.2.'nin incelenmesi üretim ve tüketim yönteminin anlaşılması yönünde fayda sağlayacaktır.

Bu arz talep süreci şu şekilde işlemektedir;

- Daha önceden elde bulunan istatistiki veriler dikkate alınarak talep edilecek güç miktarı belirlenir.
- Talep edilen güç miktarı üreticilerle paylaşılır.
- Talep edilen güçle ilgili ihaleye çıkılır ve üretim yapacak üreticiler tespit edilir.
- İletim operasyonları belirlenmiş olan üretici ve tüketim değerlerine göre gerekli hazırlıkları yapar.
- Enerjinin kalitesi ve şebekenin ek olarak sisteme yüklenecek enerjinin olası zararlarını engellemek için yük alma ve yük atma değerleri hesaplanır.



Şekil 7.2. Geleneksel üretim ve tüketim yönetimi

Ülkemizde ve dünyada enerji üretimi, iletim ve dağıtım süreci tek taraflı olarak tüketicinin ihtiyacı oranında sürmekteydi. Farklı tipteki üretim tesislerinde talebe göre üretilen enerji tüketicilere doğru yapılan üretim ve dağıtım süreçlerinden geçerek tüketiciye ulaşmaktaydı. Son yıllarda enerji talebinin artması ve alternatif enerji kaynaklı üretim imkanlarının artması nedeniyle elektrik şebekesinin kısmi olarak yapısı değişmeye başlamıştır. Önümüzdeki yıllarda bu değişimin hızlanması beklenmektedir.

Geleneksel şebekelerde üretim tek yönlü olduğu için elektrik üretimi, tüketimi ve dağıtımını farklı organizasyonlar üzerinden çözüme ulaştırılmaktadır. Bu süreçlerdeki veriler tek yönlü

Avustralya’da uygulanan ‘‘Güneş Enerjisi Teşvik Fonu’’ güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan yerlerin fazla olması nedeniyle güneşten elde edilen enerjinin depolanarak günlük enerji fiyatının arttığı saatlerde sisteme enerji satılmasına olanak vermektedir [36].

Bununla beraber akıllı şebeke (smart grid), mikro grid gibi kavramlarla beraber ortaya çıkacak olan modern şebeke tipinde ciddi bir veri transferi ve karar verme mekanizmasının gerekli olacaktır. Tüm bu verilerin toplanması, depolanması ve karar sürecinin oluşturulması dahi ciddi bir iş yükü doğuracaktır. Bu dinamik bir süreç olacağından dolayı ve birçok sektörde aktif kullanılan ya da kullanılması planlanan yapay zekâyla ve son teknolojilerle yönetilmesi çok daha kolaylaşacaktır.

7.4. Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtımında Veriler ve Veritabanları

Gelecekteki şebeke yapısı üzerine düşünülürken süreçte yer alan izleme ve kontrol noktalarının gerekliliklerinin, amaçlarının irdelenerek yeniliklere uygun teknolojilerin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Sayaç okuma, hava istasyonu, depolama sisteminin kapasitesi, toplam güneş enerjisi üretimi, toplam şebeke verilerin alınması, incelenmesi ve depolanması gibi konuların tamamı bu seçilen teknolojiler sayesinde izlenmekte ve yönetilmektedir. Çizelge 7.1.’de bu verilerin gereklilikleri ve özellikleriyle ilgili durumlar irdelenmiştir.

Çizelge 7.1. Akıllı elektrik şebekelerinde ihtiyaç duyulan veriler ve gereklilikleri

	Zaman Damgası	Sistem Dışında Veritabanları ile İletişim	Verinin Doğruluğunun Onaylanması	Verinin Gizliliğinin Sağlanması	Verinin Güvenliğinin Sağlanması	Verinin Maddi Değeri
Sayaç Okuma	Dakikalık	Gerek yok	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Yok
Hava İstasyonu	Dakikalık	Gerek yok	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Olabilir
Depolama Sistemi Kapasitesi	Dakikalık	Gerek yok	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Yok
Toplam Güneş Enerjisi Üretim	Saatlik	Gerek yok	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Olabilir
Toplam Şebekeye/den Alınan/Satılan Elektrik Miktarı	Saatlik	Gerek var	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Var

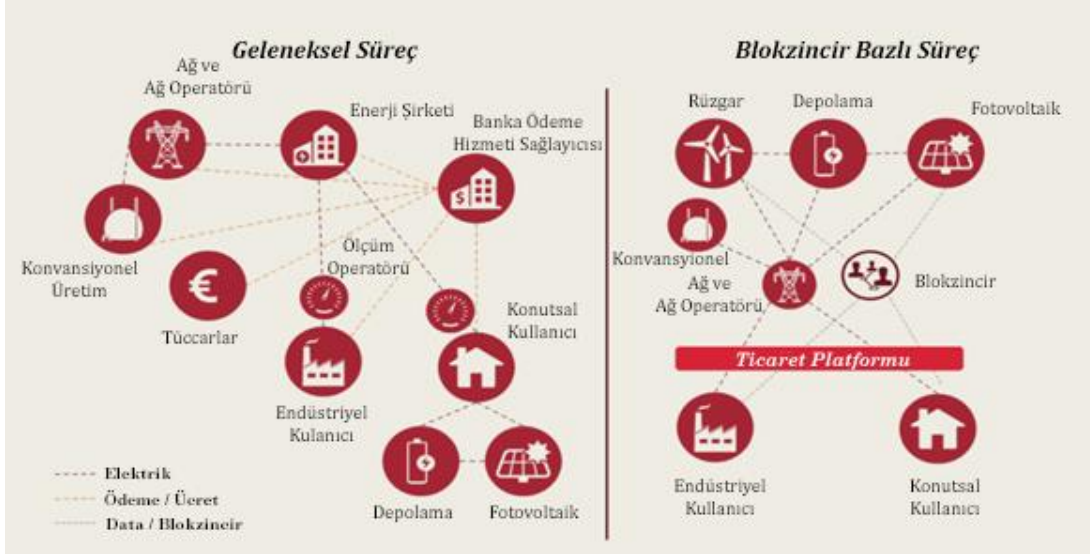
Akıllı elektrik şebekelerinde ihtiyaç duyulan verilerin doğruluğunun kontrolü de büyük önem arz etmektedir. Elde edilen veriler ticari bir sır niteliğinde olduğundan gerek verilerin gizliliğinin sağlanması için gerekse de verilerin güvenliğinin sağlanması olmazsa olmazlardandır. Bazı bilgilerin maddi değerinin olmadığı düşünülse de bir tüketim alışkanlığı verisi olduğu için stratejik bir öneme sahip bir veridir.

Geleneksel şebekenin hantal yapısından farklı olarak gelecekte planlanan elektrik şebekesi daha çok veriye ihtiyaç duyan, bu veriler neticesinde verilen kararlar sonucunda aksiyon alan, aktif bir üretim-tüketim verisinin yer aldığı bir sistem olacaktır. Bu yoğun veri trafiği ve sistemin özellikleri açısından en kolay çözüm yönteminin şu an için blokzincir sistemi olduğu anlaşılmaktadır.

7.5. Blokzincir Temelli Enerji Sistemlerinin Çalışma Süreci

Blokzincir sisteminin dünyada genelinde yapmış olduğu etkiler bir çok sektörde değişim olarak kendini göstermeye başlamıştır. Ancak enerji sektörünü tamamen değiştirmek yerine bazı süreçler üzerinde ciddi bir değişime neden olacağı düşünülmektedir.

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi geleneksel şebeke yapısında üretim ve tüketim süreci tek yönlüken, son gelişmelerle beraber tüketicilere üretici olma imkanının da verilmeye başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının (güneş, rüzgar vb.) artması ve enerji depolama sistemlerinin aktif olarak elektrik şebekesi içerisinde kullanımının başlamasıyla geleneksel şebekelerde bulunan sınırlı sayıda üretici sayısı yerine küçük boyutta ve çok sayıda üreticiye bırakacaktır. Şekil 7.4.'te de geleneksel süreçle, blokzincir temelli sistemlerdeki süreç arasındaki en önemli farklardan birisinin de artan veri trafiği olduğu kolayca görülmektedir [45].



Şekil 7.4. Geleneksel süreç ve blokzincir temelli sistemlerdeki süreçler

Geleneksel şebekede sadece harcanan elektrik enerjisi değerleri akıllı sayaçlarla enerji şirketleri tarafından ölçülerek faturalandırılmaktadır. Enerji şirketinin daha önceden belirlemiş olduğu tarifeler ve enerji birim fiyatlarına göre tüketicinin faturaları oluşturulmaktadır.

Blokzincir temelli sistemlerde ise elektrik enerji sistemleri çok daha kompleks bir hal almaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri ve depolama birimlerinin sisteme dahil olmasıyla beraber faturalarda sadece tüketim fiyatlarının yanında üretim fiyatlarının da yer alacaktır. Aynı zamanda blokzincir tabanlı oluşturulacak bir sistemle dağıtım şirketlerinin yaptığı faturalama süreçleri de otomatik olarak aracısız şekilde yapılabilmektedir. Aynı zamanda abonelik işlemlerinin de Ethereum gibi akıllı sözleşme tabanlı blokzincir altyapılarının kullanımıyla beraber abonelik, faturalandırma, fatura ödeme vb. işlemlerin otonom şekilde yapılmasına olanak vermektedir. Bu gelişmelerle beraber dağıtım şirketlerinin farklı bir misyonla sadece arıza, bakım, onarım ve yatırım işlerini yürütecek şekilde bir organizasyon şemasıyla çalışabilir hale gelme ihtimali de bulunmaktadır.

Blokzincir teknolojisi sayesinde bireysel tüketici ve üreticilerin pazarda daha güçlü olacağı öngörülmektedir. Profesyonel tüketiciler dediğimiz grubun hem üretici hem tüketici olabildiği bu teknolojiye enerjinin küçük üreticiler tarafından da kolaylıkla sağlanmasına imkan vermektedir. Ancak günümüzdeki mevcut mevzuat ve kanunlar bu duruma şu anda izin vermemektedir. Gelecekte sağlanacak gelişimle beraber kanunların da bu duruma uygun şekilde değişeceği öngörülmektedir.

7.6. Blokzincir Teknolojisinin Enerji Sektöründe Kullanılmasının Avantaj ve Dezavantajları

Blokzincir teknolojisinin enerji sektöründe kullanılmasının avantajları aşağıdaki gibidir:

- Blokzincir sisteminin kullanımına geçilmesiyle beraber yeni bir maddi teşvik ihtimalinin doğacağı kesindir.
- Blokzincir teknolojisiyle kompleks sistemler kolayca modellenebilecektir.
- Dağıtım şebekesinde eşten eş ticaretin yapılmasını sağlayacaktır.
- Finansal ödemelerin kolaylaşmasına olanak verecektir.
- Bulut teknolojisinin kullanımına da fırsat vereceği için depolama ve verilere erişim noktasında da büyük bir avantaj sağlayacaktır.
- Blokzincir sistemi üzerinden sözleşme yapılabilmesine imkan tanıyacaktır.
- Tüketici verilerinin tespiti ve kontrolü daha az hatayla yapılabilecektir.
- Faturalar blokzincir altyapısındaki para birimleriyle ödenebilecektir.
- Yenilenebilir enerji sistemlerin kullanımının artmasıyla beraber karbon salınım oranları düşecektir.
- Enerji verimliliği daha yüksek bir sisteme geçiş yapılmış olacaktır.
- Geleneksel şebekedeki tüketiciler, ürettikleri fazla enerjiyi satarak fatura bedellerini düşürebileceklerdir.
- Dağıtım şirketleriyle abone vb. durumlardaki bürokratik süreçte harcanan zaman azalacaktır.

Blokzincir teknolojisinin enerji sektöründe kullanılmasının bazı dezavantajları vardır.

Bunlar;

- Elektrik şebekesinde ciddi revizyonlar olması ihtimali dikkate alındığında, bu dizayna uygun şekilde gerekli revizyonların yapılması gerekmektedir.
- Dağıtım şirketlerinin çalışma tarzlarının değişmesine neden olacaktır.
- Dağıtım şirketlerindeki istihdam sayıları azalacaktır.
- Dağıtım şirketlerinde çalışan personellerin nitelikleri değişecektir.
- Sistemde yapılacak blokzincir tabanlı bir değişiklik için ciddi bir yatırım maliyeti gerekli olacaktır.

8. AKILLI ŞEBEKELERDE BLOKZİNCİR KULLANIMI

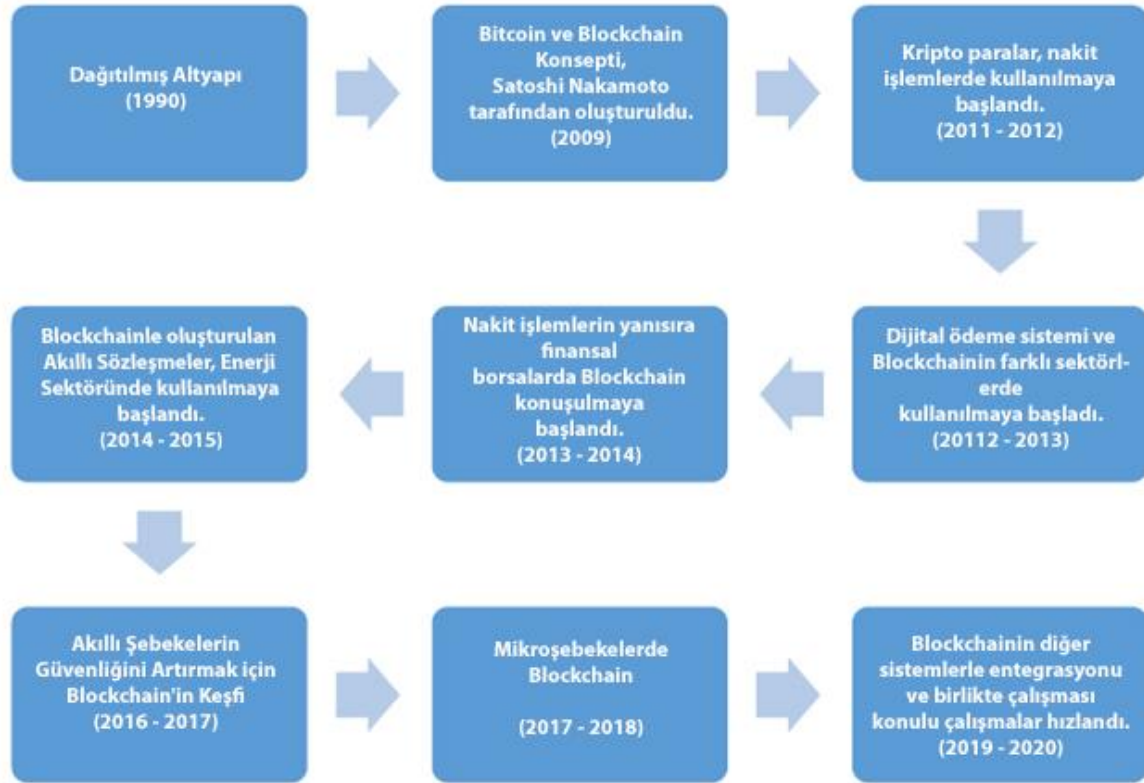
Özellikle Covid-19 pandemisi döneminde aşırı ilgi gören “Yeşil Anlaşma” kavramı, sürdürülebilirlik açısından dünyanın gündemine oturdu [46]. “Yeşil Anlaşma” kavramının genel yapısına bakıldığında birçok noktada iklim değişikliğine vurgu yapıldığı görülmektedir. Özellikle sürdürülebilir bir dünya için küresel bazda alınacak önlemler sonucunda dünyadaki karbon emisyonlarının azaltılması ve böylece küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi gündemde olan durumların önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

"Yeşil Anlaşma" kavramının ve hayata geçirilecek önlem planlarının büyük çoğunluğunun dünyada bugüne kadar herkes tarafından kabul görmüş birçok şeyi değiştirmeye başladığı görülmüştür. Atmosfere yüksek karbon salınımı yapan fosil yakıtların kullanıldığı elektrik santrallerinin yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması bu konuda büyük bir pozitif etki yaratmaktadır. Elektrik üretimi ve ulaşımda halen hakim olan fosil yakıtlar, dünya genelinde yerini yavaş yavaş yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaya başlamıştır. Örneğin son yıllarda enerji sektöründe kullanılmaya başlayan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artarak devam etmektedir. Aynı şekilde fosil yakıtlarla (benzin, dizel) çalışan araçların yerini elektrikle çalışan araçlar almaya başlamıştır. Bu değişimler sonucunda dünyada elektrik tüketiminin arttığı ve her geçen gün artmaya devam edeceği beklenmektedir. Avrupa, ABD ve diğer ülkelerde hazırlanan önlem planları incelendiğinde, artan enerji taleplerinin dünyada gerek ekonomik gerekse de siyasi bazı değişimlere neden olacağına dair bazı bilgiler de yer almaktadır.

Akıllı Şebeke kavramının yanı sıra son yıllarda gündeme gelen kavramlardan biri de enerji depolama sistemleridir. 2020 yılı itibari ile dünyada sadece ABD, Çin ve Suudi Arabistan'da aktif olarak kullanılan yüksek kapasiteli piller sayesinde, enerji üretiminin durması halinde bu depolama sistemlerinde biriken enerji sayesinde elektrik kesintisinin önüne geçilerek ihtiyacın bu depolama sistemleri üzerinden karşılanması hedeflenmektedir.

Enerji depolama sistemlerinden yapılan şebekeye destekler, tüketicilerin bireysel olarak kullandığı yenilenebilir enerji kaynaklarıyla aynı zamanda üretici olabilme durumları, elektrikli araçların G2V ve V2G durumları göz önüne alındığında elektrik faturalarının otomatik olarak mümkünse yapay destekli sistemler üzerinden hesaplanması hata oranının düşmesine neden olacaktır.

Blokszincir teknolojisinin bu konuda sağlayabileceği avantajların yıllara göre gelişimi aşağıdaki algoritmada şemada; şekil 8.1.'de görülmektedir. Ve görüldüğü gibi gelişim süreci içerisinde 2014 yılından beri dünyanın bazı ülkelerinde enerji sektöründe blokszincir teknolojisinin uygulandığı görülmektedir.



Şekil 8.1. Blokszincir'in tarihsel gelişimi

8.1. Enerji Sektöründe Blokszincir Uygulamaları

Söz konusu teknolojik gelişmelerin yanı sıra blokszincir teknolojisinin enerji sektöründe kullanımına ilişkin dünyanın çeşitli bölgelerinde pilot çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar proje niteliğinde olup sürdürülebilirliği sağlandıktan sonra kalıcı hale gelmesi beklenmektedir. Dünyada enerji sektörüne blokszincir sisteminin entegre edildiği bazı projeler aşağıda yer almaktadır:

Brooklyn Microgrid projesi: Bu proje 2016 yılından beri New York'ta aktif olarak çalışmaktadır. Bu proje ile komşular ürettikleri güneş enerjisini kendi aralarında satabilmektedir. Sistem Ethereum altyapısı ile tasarlanmış ve desteklenmiştir. Güneş

panelleri ile ihtiyacını karşılayan tüketiciler, ürettikleri enerjinin fazlasını hem anlık olarak satabilmekte hem de depoladıkları enerjii konvansiyonel ağlar üzerinden kendilerine yakın diğer tüketicilere satarak ödemelerini blokzincir sistemi üzerinden alabilmektedir. Başlangıçta 5 hane ile başlayan projede yer alan hane sayısı artarak devam etmektedir [47].

Solarcoin.org projesi: Amerika'da solarcoin.org web sitesinde bir güneş enerjisi üretim noktasıdır ve sistemlerine dahil olan her üreticiye 1 MWh başına 1 SolarCoin verir. Ve SolarCoin (SLR) birçok bitcoin borsasında alınıp satılabilir. ABD Enerji Enformasyon Ofisi tarafından yapılan çalışmalara göre 1 SolarCoin, 2017 verileri itibariyle 680 kg karbondioksit salınımını engellemektedir. Sadece Amerika'yı değil birçok ülkeyi de içine alan bu sisteme talep giderek artıyor [48].

Hive Power Projesi: İsviçre'de başlatılan bu projede blokzincirde yerel enerji topluluklarının oluşturulması ve yönetimi için anahtar teslim bir çözümlü geliştirildi. Projeye dahil olan katılımcıların fatura maliyetlerini azaltarak ve varlıklarına değer vererek optimizasyon sağlar [49].

Swytch projesi: Amerika'da uygulanan bir uygulamadır. Yenilenebilir enerji üretimini doğrulamak ve ödüllendirmek isteyen blokzincir tabanlıdır [50].

Bittwatt projesi: Singapur'da uygulanan bir projedir. Tüm piyasa oyuncularını birbirine bağlayan ve enerji tedariki, faturalandırma ve dengeleme için merkezi olmayan bir hizmet oluştururken ilgili iş bilgilerini paylaşmak için standart bir blokzincir protokolü sunan bir eşleştirme platformudur [51].

HydroCoin projesi: Almanya'da uygulanan bir projedir. Hidrojen endüstrisine güç veren blokzincir topluluğu için ilk kriptopara birimi olacaktır. Blokzincir topluluğunun hidrojen teknolojilerine katılmasını sağlar [52].

Grid+ project: ABD'de faaliyet gösteren bir projedir. Grid+, tümü basit bir mobil uygulamayla desteklenen, ev enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar elde etmek için teknoloji ve otomasyon sistemlerini kullanır [53].

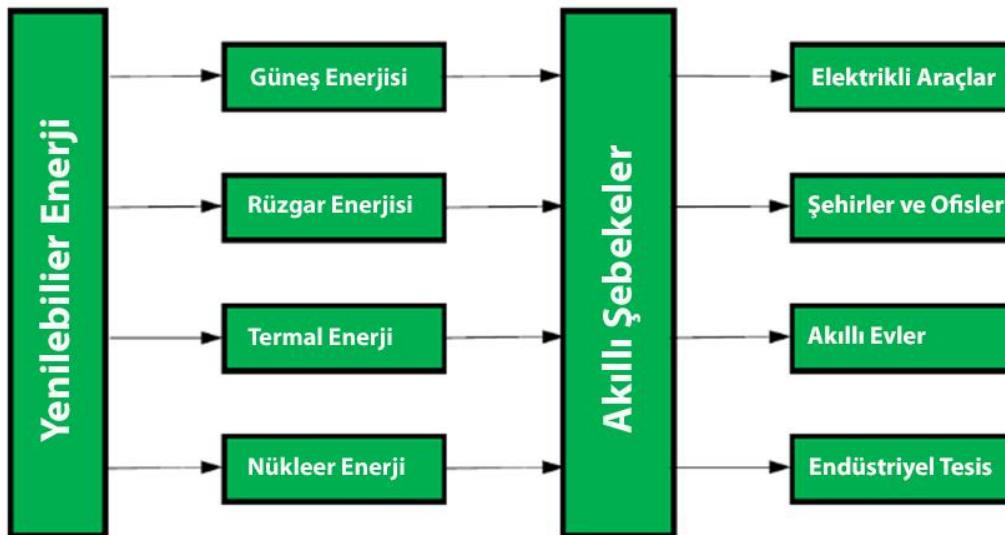
8.2. Akıllı Şebekelerde Blokzincir Kullanım Alanları

“ABD Enerji Bakanlığı'nın Akıllı Şebekeler için yaptığı tanım, durumu en iyi özetleyen tanım olarak nitelendiriliyor. Bu tanıma göre akıllı şebeke, her bir müşteriye ve düğümü kontrol eden ve izleyen, santral ile kullanıcı arasında iki yönlü elektrik enerjisi ve bilgi akışı sağlayan tam otomatik bir güç dağıtım ağıdır” [54]. “Akıllı şebeke konsepti, sürdürülebilirlik, ekonomi ve güvenlik konularına dayalı olarak hem üreticiler hem de tüketiciler için kaynakların verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. En büyük avantajı, hem üretim hem de tüketim tarafındaki eylemleri akıllıca entegre edebilmesidir” [55].

“Akıllı bir şebeke çözümü, etkin maliyetlerle çevresel ve ekonomik faydalar sağlar” [56].

“Akıllı şebeke, doğal yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırır ve geleneksel elektrik santrallerinin neden olduğu sorunlara çözüm sağlar” [57].

Yenilenebilir enerji kaynakları ve farklı sektörlerde akıllı şebeke kullanımı Şekil 8.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 8.2. Akıllı şebeke kullanım örnekleri

Akıllı şebekelerle elektrik kesintilerini azaltılabilmekte, voltaj düşüşleri ve aşırı yükler azaltılabilmekte ve hatta ortadan kaldırılabilmektedir. Tüm bunların da etkisiyle mevcut elektrik şebekesinden optimum fayda sağlanabilmektedir. Blokzincir teknolojisinin geliştirilmesinin akıllı şebekelerde enerji ticaretine geçişte sağlayacağı yararlar konusunda

ciddi ve yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Blokzincir teknolojisi sayesinde akıllı şebeke ağ ortamında hem enerji üretimi hem güç iletimi hem de güç tüketimi uyum içinde çalışmaktadır.

8.2.1. Enerji ticareti

Doğal kaynaklardan dağıtık enerji üretimi, evsel ve endüstriyel tüketim için mikro şebekelerin sayısı her geçen gün biraz daha artmakta ve enerji ticaretine yönelik artan mikro şebekelere yönelimde artış yaşanmaktadır. Blokzincir, enerji ticareti sürecinde yapılan hataların ve işlem davranışlarının çoğunu ortadan kaldırmak için enerji ticareti üzerinde büyük etki yapabilecek bir potansiyele sahiptir.

Enerji ticaretinde blokzincirin kullanılması, tüm üçüncü taraf yapılarını ortadan kaldıracak bir etki yapacak potansiyele sahiptir. Peer-to-Peer (P2P) altyapısı sayesinde üreticiler/tüketiciler zincirdeki diğer düğümlerden bağımsızdır ve P2P onların özgürce pazarlık yapmalarına olanak tanır.

8.2.2. Elektrikli araçlar

“Enerji alanında blokzincir uygulamanın bir başka ilgi alanı da elektrikli araç endüstrisidir” [58]. “Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte artacak olan enerji ihtiyacı, akıllı şebekelerde büyük önem taşıyor. Düşük şarjlı elektrikli araçların yakındaki şarj istasyonlarıyla etkileşime girmesi, uygun ve ucuz bir şarj istasyonu bulması blokzincir teknolojisi ile mümkündür. Elektrikli araçlar da akıllı şebekelerle bağlantılı bir parçadır ve yeni araştırmalarda daha fazla ilgi görmüştür” [59].

8.2.3. Mikroşebekeler

“Mikro şebekelerin kontrolü, özellikle çok sayıda dağıtılmış enerji kaynağının (DEK'ler) entegrasyonu ile önemli bir konu haline geliyor. Mikro şebekenin talebe dayalı kontrol ve

optimize edilmiş çalışmasına duyulan ihtiyaç, günümüzde araştırmacıların odak noktasıdır” [60].

Benzer şekilde, olası avantajları ve kârları için blokzincir teknolojisi bu alana dahil edilmiştir. [61] nolu çalışmada, bir DEK zamanlama mekanizması blokzincir teknolojisine dayalı olarak tasarlanmıştır. “Burada blokzincirin kullanılması, tüm DEK'lerin emniyetli olması için güvenilir bir platform sağlar. Ayrıca, blokzincirler, dağıtılmış hesaplama ve veri denetimi için bir platform olarak büyük ilgi görmektedir” [62].

Mikro şebekeler, dağıtılmış enerji kaynakları tarafından desteklenmektedir. Bu nedenle mikro şebekelerin kontrol işletim süreçleri günümüzde dikkat çeken konulardan biridir. Blokzincir altyapısı sayesinde güvenlik ve güvenli programlama mekanizmaları üst seviyelere çıkmaktadır. Blokzincir teknolojisi aynı zamanda daha temiz bir enerji ağı oluşumuna katkıda bulunurken yüksek karbon salınımı oranlarının düşmesine de neden olur.

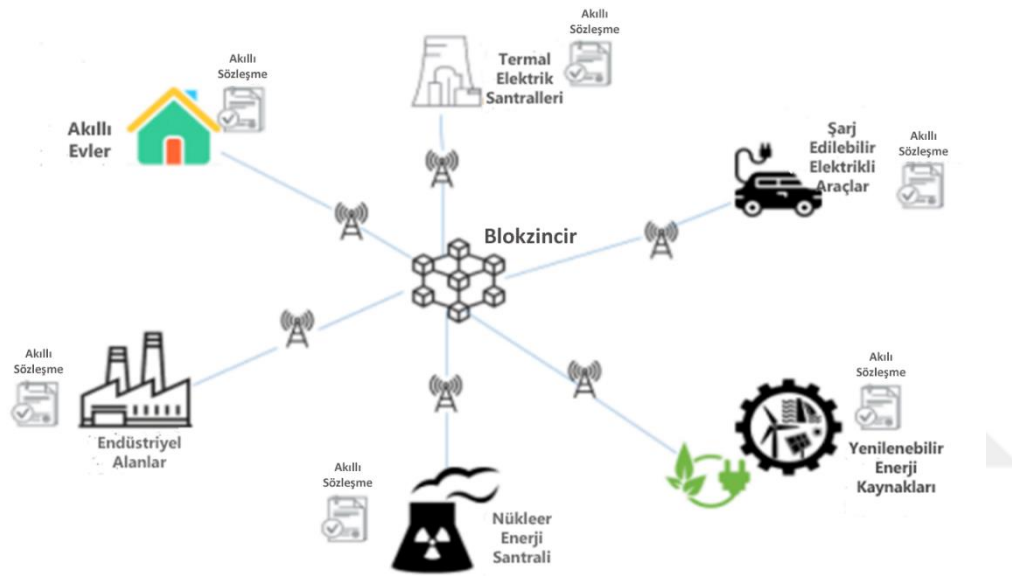
8.2.4. Siber – Fiziksel altyapı

Akıllı şebekenin tanıtılmasıyla beraber, siber-fiziksel akıllı şebekenin birçok bölümünün manipüle edilebileceği ya da saldırıya uğrayabileceği yönünde birçok güvenlik açığı tespit edilmiştir. Bu saldırıların etkileri, siber ve fiziksel saldırıların derinden bağlantılı olduğu ve tek bir varlık olarak ele alınması gerektiği sonucuna varılan [63]'de derinlemesine araştırılmıştır.

Akıllı şebekeler, blokzincir teknolojisinin entegrasyonu ile blokzincir teknolojisinin yaratmış olduğu altyapı sayesinde siber güvenlik sorunlarını ortadan kaldıracaktır. Bu konuda en büyük zararı verme potansiyeline sahip olan ve sıkça duyduğumuz Hizmet Reddi (Denial of Service Attack - DOS) saldırıları, diğer doğal saldırılardan farklı olan GPS saldırılarıdır. Blokzincir tabanlı akıllı şebeke altyapıları sayesinde neredeyse tüm siber saldırılar önlenilmekte ve daha az enerji tüketilmektedir.

8.2.5. Merkezi olmayan akıllı şebeke

Merkezi olmayan akıllı şebekelerin dijital iletişimi sayesinde bu teknolojiler, geleneksel güç sistemlerinin daha verimli ve daha az sorunla sürdürülmesini sağlayacaktır. Bu değişiklikler sayesinde fosil yakıt tabanlı sistemlerin neden olduğu iklim değişiklikleri önlenecek ve aynı zamanda etkin ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline gelecektir. Bahsi geçen bu değişiklikler Şekil 8.3'te detaylı olarak görülmektedir [63].



Şekil 8.3. Blokzincir destekli akıllı şebeke kullanım örneği

Enerji interneti (Internet of Energy - IoE) konsepti, gelişmiş akıllı şebeke olarak tanımlanmıştır. Enerji interneti (IoE) ağı bir enerji topluluğudur ve ekonomilerin gelişmesi için bir enerji, bilgi ve ekonomiler topluluğu olarak adlandırılmaktadır. Enerji internetinin temel amacı, akıllı şebeke ile yenilenebilir enerjisinin ana konusu olan yenilenebilir enerji kaynakları ve dağıtık enerji kaynakları arasındaki entegrasyonu sağlayarak ilgili süreçleri daha akıllı hale getirmektir. Enerji interneti tekniğinin temel prensibi, enerji ve bilgiyi internet üzerinden paylaşmaktır [64]. Bu farklı etkileşimli unsurlar, enerji, üretim birimleri, dağıtılmış enerji kaynakları, elektrik yüklü araçlar, tüketiciler ve araçtan şebekeye (Vehicle to Grid - V2G) bir ortamda üretilen enerji ticareti piyasaları olabilir.

Blokzincir teknolojileri ve genel kullanım alanları Şekil 8.3.'te görülmektedir. Blokzincir teknolojileri yakında enerji sektöründe de birçok alanda kullanılmaya başlanması beklenmektedir. Bunlara örnek olarak akıllı evler, termik santraller, ücretli elektrikli araçlar,

yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer santral, endüstriyel alanlar ve kesinlikle akıllı sözleşmeler verilebilmektedir.

Akıllı şebekelerin ve enerji internet sistemlerinin geleneksel elektrik şebekelerine göre daha fazla kaynak kullanmaktadır. Bahsettiğimiz bu sistemler birbirinden farklı olsa da yine de merkezi bir karar merkezine bağlı olmak zorundadır. Bu merkezler tüm bilgileri toplamakta ve analiz etmektedir. Bu sayede enerji, uzun mesafeli dağıtılmış bir ağ üzerinden tüketicilere kolaylıkla aktarılabilir. Bu durum sayesinde de geleneksel akıllı şebekeyi merkezi olmayan bir ağa aktararak, merkezi güç yetkililerini ortadan kaldıracak proaktif ve sağlam bir çözüm sunar [65].

8.3. Akıllı Şebekelerde Blokzincir Teknolojisi Kullanımının Avantajları

Kullanılan sistem ne olursa olsun; güvenlik, güvenilirlik ve gizlilik her zaman önceliklidir. Merkezi olmayan akıllı ağlarda yetkisiz kullanıcı erişimi, istenmeyen ve beklenmeyen değişiklikler, kanıt sorunu, saldırılarda hataya dayanıklı sorunlar, ağın etkin bir şekilde izlenememesi, gizlilik koruma tekniklerinin olmaması, düğümler arası şeffaflık gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Akıllı şebekelerdeki tüm zorluklar, kriptografik olarak güvenli veri yapıları, zaman damgaları ve dijital imzalar kullanılarak blokzincir teknolojisi ile çözülebilir.

Akıllı ağlarda blokzincir kullanmanın faydaları aşağıdaki gibidir:

- Blokzincir ağındaki tüm düğümler bağımsız olduğundan ve işlemler herhangi bir merkezi otorite olmadan kriptografik olarak güvence altına alındığından, merkezi bir ağa kıyasla daha iyi güvenlik sağlar.
- Blokzincir, bir hatanın veya kötü niyetli saldırının tanımlanıp kolayca kaldırılabilmesi, esnek ve hataya daha iyi toleranslı bir ağ sağlar. Tüm blokzincir herhangi bir tek düğümden başarısızlık noktası olmayan tesislerle düzenlenir ve yayınlanır.
- Akıllı şebekeler, düşük işletim maliyeti, hızlı tepki süresi, ekolojik sistemlere duyarlı, esnek kullanım ve gerçek zamanlı çalışma gibi nedenlerle tercih edilen bir sistemdir [66].

9. AKILLI ŞEBEKELERDE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ UYGULAMALARI

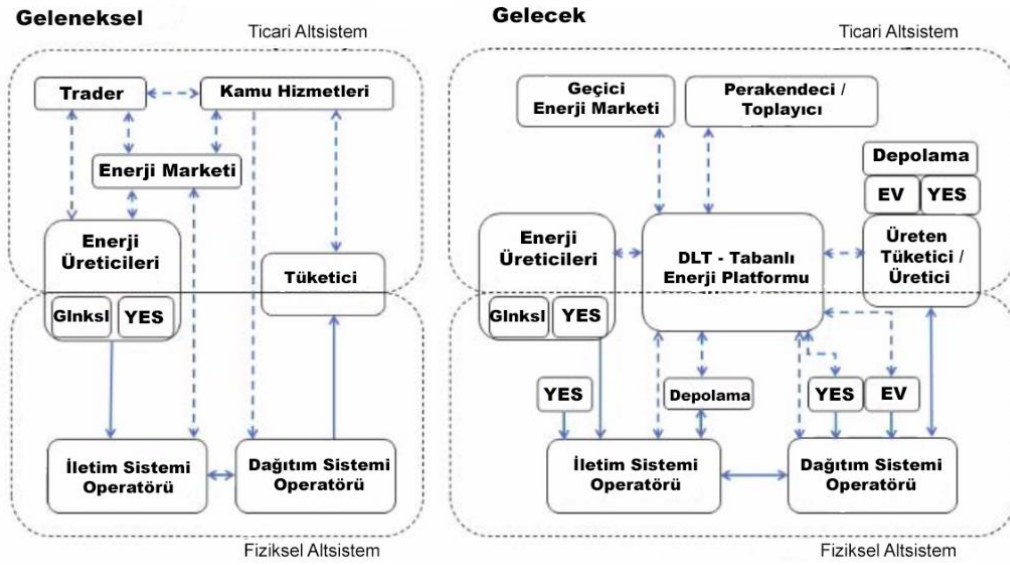
Akıllı şebekelerde bir çok durum için bir alternatif çözüm yaratan blokzincir teknolojisi üzerinden oluşturulan akıllı sözleşmelere baktığımızda dağıtık defter teknolojisinin (Distributed Ledger Technology - DLT) bir ürünü olduğu görülmektedir. Dağıtık defter teknolojisi sayesinde bir merkezi bir sistem olmadan sanal süreçler oluşturulabilmekte ve bu süreçler rahat şekilde işletilebilmektedir, tasarlanmış bir siber mutabakat ve güvenli kayıt tutma mekanizması oluşturulabilmektedir [67].

Dağıtık defter teknolojisi, dağıtık vaziyette bulunan ve merkezi olmayan değişmez veritabanlarına aynı zamanda da dijital depolama yapılmasına olanak vermektedir. Dağıtık defter teknolojisi işlem yapılan emtianın (yani enerji, veri veya para birimi) güven, güvenlik ve bütünlüğü sürdürmek için merkezi bir otoriteye sahip olmadan kaydedilmesine, paylaşılmasına, aktarılmasına; özel veya genel kripto ağında saklanmasına olanak tanır. Dağıtık defter teknolojisinde siber güvenlik özelliğini etkinleştiren bir kriptografi kullanılmaktadır [68]. Blokzincir teknolojisi, Dağıtık Defter Teknolojisi'nin bir alt kategorisidir. Ve literatürde birçok yerde yaygın olarak blokzincir teknolojisi ile eşanlamlı olarak kullanılabilmektedir.

9.1. Blokzincir Teknolojisinin Akıllı Şebekelere Uyarlanması

Dağıtık defter teknolojisi sayesinde gereksiz olarak görülen tüm üçüncü taraflar ortadan kaldırılmakta, işlem hızları artmakta ve sistemlerin genel verimliliğini arttırabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde mevcut sistemde büyük değişikliklere neden olma potansiyeline sahiptir.

Dağıtık defter teknolojisi enerji ticaretinin yanında, tedarik zinciri yönetimi, e-devlet ve sağlık en önemli uygulama alanları arasında yer almaktadır. Yenilenebilir ve merkezi olmayan enerji üretim sistemlerine artan yönelimin sonucunda, ortaya çıkan etkiyle beraber üretici tüketiciler ve yerel enerji piyasası toplayıcıları gibi daha önce konuşulmamış kavramları ortaya çıkarmıştır.



Şekil 9.1. Enerji sektörü genel görünüm: geleneksel ve gelecek

Şekil 9.1. incelendiğinde geleneksel ve gelecekteki enerji sistemlerinden enerji sektörünün genel durumunun genel haritası kolaylıkla görülmektedir [69]. İlgili şekil detaylı olarak incelendiğinde sol tarafta geleneksel şebekelerin olduğu bir modelleme görülmektedir. Fiziksel güç alt sistemi alanındaki nihai elektrik tüketicilerini beslemek için güç iletim ve dağıtım hatları üzerinden tüketiciye ulaştırılmaktadır. Bu sisteme bakıldığında enerji üretim birimlerinden tüketim birimlerine doğru tek yönlü bir enerji akışı olduğunu görmekteyiz.

Geleneksel sistemdeki ticari alt sisteme baktığımızda; parasal işlemler, enerji piyasaları, kamu hizmeti ya da perakendeci ve enerji komisyoncuları gibi çeşitli enerji sistemine ait maddi işlerin bulunduğu görmekteyiz. Geleneksel sistemde tek bir enerji marketi bulunmakta ve enerji üreticileri direkt olarak buraya bağlı olarak hareket etmek durumundadır ve tüketiciler sistem gereği enerji marketiyle direkt olarak herhangi bir ilişkiye sahip değildir.

Her ne kadar blokzincir destekli çözümleri akıllı şebekeler için konuşsak da geleneksel sistemde de blokzincir tabanlı platformların kullanılabilir olmasıyla beraber sistemdeki işlem ve ödeme hızları artacak olup blokzincir tabanlı platformların sistem içine dahil edilmesiyle artan ödeme işlem hızlarına ve güvenli izleme kaydı yapılmasına olanak vermektedir. Aynı zamanda blokzincir tabanlı enerji platformları sayesinde ticari mikro şebekeler içinde, mikro şebekeler arasında ve kamu hizmet alanı ile bunların yerel mikro

şebeke alanı arasında P2P enerji ticareti gibi çeşitli durumlar için yeni çözümler üretebilmektedir [70].

Yakın gelecekte tüketicilerin aynı anda üretici de olabildiği, enerji depolama sistemlerinin de sistem içerisinde ciddi bir yere sahip olduğu bir enerji sisteminde bu geleneksel sistemin istenen verimde çalışması mümkün değildir. Şekil 9.1.'e bakıldığında geleneksel şebeke ve gelecekteki akıllı şebekelerin enerji veri transfer yoğunlukları kolaylıkla anlaşılabilir.

Şekil 9.1'de gelecekteki şebekeyi temsil eden sağdaki bölüm detaylı olarak incelendiğinde geleneksel şebekede olmayan üreten tüketici, enerji depolama ve elektrikli araçlara ait birimleri görmekteyiz. Bu birimlerin herbiri ayrı bir enerji transferi potansiyeline sahiptir. Enerji transferiyle birlikte transferi sürecinin beraberinde oluşacak maddi karşılık sürecinin yönetilmesi için de ayrıca bir platform ihtiyacının ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bu platformun blokzincir tabanlı dağıtık defter teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT) kullanılarak oluşturulması bazı sorunların hızlı ve basit şekilde çözülmesine olanak vermektedir.

Üretilen ya da depolanan enerji, blokzincir özelliğine sahip akıllı sayaçlar kullanılarak direkt olarak yerinde ve tam zamanında kaydedilebilmektedir. Bu sayede, Yenilenebilir Enerji Sertifikası ticaret sistemleri, elektrikli araçların şarj ve ödeme mutabakat platformlarında blokzincir teknolojisinin kullanımının yanı sıra toptan ticaret ve takas platformları gibi diğer büyük ölçekli işlemler için blokzincir kullanımı da mümkündür.

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerini ele aldığımızda üretim kapasitesinin büyük çoğunun, enerji tüketim bölgelerine yakın lokasyonlarda kurulduğu bilinmektedir. Fotovoltaik güneş sisteminin oluşturduğu ekosistemi mikro şebeke statüsünde değerlendirilebilmekte ve şebekeye bağlı ya da şebekeye bağlı olmadan çalışabilme özelliği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Bu haliyle mikro şebekeler, bölgesel olarak üretilen elektrik enerjisinin yerel ya da bölgesel elektrik piyasalarında ticaret yapılmasına olanak vermektedir.

Mevcut eşler arası (P2P) enerji ticareti modellerinin çoğu, üretim ve talep tarafı birimlerinin farklı konumlarda bulunduğu yerlerde coğrafi olarak bağımsız şekilde işletilmektedir. Bölgesel mikro şebeke işlemlerinin kullanımının sağlanması için sanal elektrik santrali konsepti (Virtual Power Plant - VPP) sıklıkla kullanılmaktadır.

Sanal Elektrik Santrali konseptinde şebekedeki katılımcıların tamamı sanal topluluklar olarak kabul edilmektedir. Bu topluluk mikro şebekeleri, kendi enerji üretim varlıklarını kullanan

ve paylaşılan ekonomi için yeni fırsatlar sağlayarak yerel toplulukların elektrik ya da ısı taleplerini karşılamak üzere tasarlanmış bir sistemdir. Topluluk tabanlı bir mikro şebeke, güç sistemi bileşenlerinin çoğunun yerinde fiziksel olarak bağlandığı sanal enerji santralleri gibi benzer bilgi iletişim teknolojisi (Information Communication Technology - ICT) altyapısına sahiptir. Bu konsept, şebeke iletim ve dağıtım kayıplarını azaltma, bazı üçüncü taraf şirketleri elektrik üreticisi ile tüketiciler arasından uzaklaştırma potansiyeline sahiptir. Bu sayede, topluluk mikro şebekesi, güç sistemi kayıplarını azaltarak karbondioksit emisyonlarını azaltabilmektedir.

Mikro şebekeler aynı zamanda arıza ya da doğal afetlerden sonra elektrik kesintisi durumlarında, genel elektrik şebekesini destekleyerek dayanıklılığı artırma yeteneğine de sahiptir. Bu açıdan baktığımızda mikro şebekeler olağanüstü durumlarda mevcut sistemi destekleyici bir yapıya sahip olabilmektedir.

9.2. Blokzincir Teknolojisinin Akıllı Şebekelerde Kullanım Örnekleri

Dünya genelinde bazı enerji ve kamu hizmeti şirketlerinin birkaç mikro şebeke pilot projeleri olduğu bilinmektedir. Bunların bir kısmında da blokzincir teknolojisi kullanıldığını bilmektedir. Aşağıdaki bölümde bazı blokzincir tabanlı halka açık bilgilere sahip olan bazı mikro şebekeler yer almaktadır.

9.2.1. WePower projesi

WePower, 2017 yılında kurulmuş, Litvanya merkezli bir şirkettir. WePower, blokzincir tabanlı olarak dağıtık defter teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT) de enerji verilerinin muhasebesi ve depolanması için akıllı sözleşmeler sunmaktadır. WePower platformu, dijitalleştirilmiş bir enerji satın alma sözleşmesi (Power Purchase Agreement - PPA) olarak kolaylaştırılmış, güvenli ve dinamik bir yenilenebilir enerji proje için çözümler üretmekte ve bu sayede yenilenebilir enerji üretiminin tesis geliştiricilerinin, dijitalleştirilmiş enerji satın alma sözleşmesi sayesinde kar marjlarını arttırmalarına olanak vermektedir [71].

9.2.2. Power ledger platformu

Power Ledger platformu, enerji ticareti ve toptan ve dağıtılmış piyasalar dahil olmak üzere çok sayıda enerji ticareti uygulaması sunmaktadır. Power Ledger, iki ayrı blokzincir katmanında çalışan çift belirteçli bir Ekosistem (POWR ve Sparkz) geliştirmiştir. Sparkz belirteçleri yürütülür ve Sparkz belirteçleri üretmek için itibari para birimi olarak POWR belirteçleri gerekir [72].

9.2.3. LO3 projesi

LO3, büyük ölçüde akıllı şebeke üzerinde blokzincir uygulamaları konusundaki deneyiminin bir sonucu olarak ön plana çıkmaktadır. LO3, New York'ta TransActive Grid'i başlatmıştır. Ve kendi mikro şebekelerinde yerel enerji üretiminin gerçek zamanlı ölçümünü sağlayan ve buna Brooklyn Mikro Şebeke adını veren bir pilot proje başlattı. Dağıtık Defter Tabanlı işlemler, üretici müşteriler ve tüketiciler arasındaki mikro şebeke kablosu üzerinden gerçekleştirilmektedir [73].

9.2.4. Sonnen Community projesi

Sonnen Community; Sonnen GmbH, IBM ile işbirliğiyle Almanya'da 2015 yılında faaliyete geçirilmiştir. Platform, HyperLedger Fabric dağıtık defter teknolojisini kullanmaktadır. Sonnen Community, dünyanın en büyük P2P platformlarından biri olarak bilinmektedir. Sonnen, batarya sayaçlarını blokzincir teknolojisi kullanarak birbirine bağlamaktadır. Sunulan enerji blokzincir çözümünün büyük ölçekli uygulaması, enerji depolama birimlerinin verimli bir şekilde optimum kullanımıyla rüzgar ve güneş enerjisi ile ilgili zorlukların entegrasyonunun çözülmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır [74].

9.2.5. Piclo projesi

Piclo, 2014 yılında faaliyete başlayan İngiltere merkezli bir enerji blokzincir şirkettir. Piclo, Good Energy, Essent ve ERG ile işbirliği yapmaktadır. Piclo'nun geliştirdiği iş modeli, tüketiciler, üretici tüketiciler ve yerel yenilenebilir enerji sağlayıcıları arasındaki yerel enerji piyasası işlemlerini blokzinciri aracılığıyla yapılmasını sağlamaktır [75].

9.2.6. Sun Exchange projesi

Sun Exchange, Güney Afrika merkezli bir güneş enerjisi projesi şirkettir. Sun Exchange, güneş enerjisi üretimi için en uygun yeri bulmakta ve onu inşa etmek için gerekli fizibilite çalışmalarını yapmaktadır. Bu süreç tamamlandıktan sonra ön çalışmalarını yapmış olduğu güneş enerjisi projesi internet üzerinden satışa çıkarılmaktadır. Dünyanın her yerindeki alıcılara açık olan bu projeden herkes bir parça güneş pili satın alabilmektedir. Projenin tamamlanmasından sonra güneş enerjisiyle üretilen elektrik satılmakta ve yatırımcılar ödemelerini güneş pillerinin kira bedeli olarak almaktadır [76].

9.2.7. Bankymoon projesi

Bankymoon, blokzincir özellikli ön ödemeli elektrik sayaçları üzerinde çalışan Güney Afrika merkezli bir girişimdir. Ön ödemeli sayaçlar, dünyanın her yerinden ulaşılabilen dijital para cüzdanına sahiptir. Tüketiciler banka aracılığına gerek kalmadan elektrik, gaz ve suyu kolayca satın alabilmektedir. Ayrıca, uluslararası bağışçılardan bağış alarak elektrik, gaz ve su tedarigi için okul ve ihtiyaç sahibi kişilere blokzincir uyumlu akıllı sayaçlar kullanılarak destek verilmesine yönelik çalışmalar yönetmektedir [77].

10. AKILLI ŞEBEKELERDE AKILLI SÖZLEŞME KULLANIMI

Akıllı sözleşmeler, tanımlı kullanıcılar tarafından izlenebilen, değiştirilebilen ve kendi kendine yürütebilen programlardır. Belirli şartlar sağlandığı takdirde tetiklenebilmekte, enerji ticareti olaylarını otomatik olarak yürütebilmekte ve kontrol edebilmektedir. Verileri işlemek, koşulları kontrol etmek, müzakereleri yapmak ve bir sözleşmeyi doğrulamak için bilgisayar donanımını kullanırlar. Kayıtlar yalnızca eklenebilir (yani geri alınamaz) ve şeffaftır. Böylece aracı veya sistem operatörü ihtiyacı ortadan kalkar. Sonuç olarak, taraflar arasındaki müzakereleri ve sözleşmeleri otomatikleştirme aynı zamanda hızlandırma potansiyeline sahiptir [78]. Akıllı sözleşmeler, güvenilir bir anlaşma ve/veya işlemin uygulanmasına yönelik sanal bir araç sunar [79].

Buna karşılık, bu, enerji alanında Merkezi Olmayan Sosyal Organizasyon (Decentralized Autonomous Organisation - DAO) lar, kendi kendini organize eden enerji toplulukları ya da mikro şebekeler gibi yeni sosyal organizasyon biçimlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Birleşik Krallık hükümeti baş bilimsel danışmanı [80] tarafından yayınlanan dağıtılmış defter teknolojileri raporunda, akıllı sözleşmeler blokzincir teknolojisinin tam potansiyelini ortaya çıkarabilecek önemli bir faktör olarak tanımlanmaktadır.

10.1. Akıllı Sözleşmelerin Genel Özellikleri

Akıllı sözleşmelerin özellikleri her ne kadar farklılıklar gösterse de ana hatlar 9 alt başlık altında toplanabilmektedir.

10.1.1. Kendini uygulama ve otomatiklik

Akıllı sözleşmeler, belirli girdilere dayalı olarak kararlar alan kodlardan oluşmaktadır. Bu kod paylaşılan bir sanal ortamda otomatik olarak yürütülmekte ve belirtilen koşullar sağlandığında blokzincirin düğümleri arasında kayıt altına alınmaktadır. Özetle, akıllı sözleşmeleri oluşturan özel kod otomatik olarak kendi kendini uygular ve yürütür.

10.1.2. Tamper-proof yapı

Akıllı sözleşmeler, blokzincirde depolanan yazılım bileşenleridir. Gerçekten de bir bilginin bir blokzincirde saklanması durumunda yapısı gereği akıllı sözleşme kodunun değişmesi ve değiştirilmesi mümkün değildir. Çünkü bu değişim için tüm blokzincirin değişmesi gerekmektedir.

10.1.3. Güvenilirlik

Karışıklık durumuna karşı korumalı bir yapıya sahip olan akıllı sözleşme, blokzincirin herhangi bir başka düğümü tarafından değiştirilemez. Bu nedenle, akıllı sözleşme kodunun orijinal olduğundan ve tasarımcının hazırlamış olduğu kodlarla eşleştiğinden emin olunmalıdır.

10.1.4. Şeffaflık ve erişilebilirlik

Bir blokzincirin parçası olan akıllı sözleşmeler şeffaftır ve blokzincir içindeki tüm üyeler tarafından erişilebilmektedir. Bu nedenle, izinsiz (permissionless) defterler söz konusu olduğunda, akıllı sözleşme içeriğine herkes tarafından erişilebilir bazı durumlarda da örneğin izinli (permissioned) blokzincirin de bu erişim belirlenmiş kullanıcılarla sınırlıdır.

10.1.5. Güvenlik

Yüksek düzeyde kriptografi ve blokzincirin özellikleri (örn. Tamper-proof), göz önüne alındığında akıllı sözleşmeler, içerikleri hiç kimse tarafından değiştirilemeyeceği ve yürütmeleri otomatik olduğu için yüksek düzeyde güvenliğe sahiptir.

10.1.6. Hız ve güvenilirlik

Hız ve güvenlik kavramları akıllı sözleşmelerin önemli bir yönüdür. Blokzincir düğümleri arasında paylaşılan sanal bir ortamda yürütüldüğü için, bu sanal ortam belirli bir koşulu tanımladığı anda kodla çalıştırılır. Bu, blokzincirde düğümler olduğu sürece korunacak yüksek bir yanıt hızı sağlamaktadır. Ayrıca, kod yürütme merkezi bir mimari şemasında olduğu gibi tek bir sunucuya bağlı olmadığında, yürütmede yüksek güvenilirlik sağlar.

10.1.7. Kendini doğrulama

Resmi doğrulama devam eden bir araştırma alanı olmasına rağmen, çoğu akıllı sözleşme dili ve blokzincir, sözleşmenin uygulanabilirliğini sağlamak için bir akıllı sözleşmeye gömülü kodu doğrulamaktadır. Örneğin, bir akıllı sözleşmeyi bir blokzincire yerleştirmek için kendi kendini doğrulama adımları, akıllı sözleşmenin sonsuz bir döngüye yol açmadığı gerçeğini içerebilir.

10.1.8. Hesaplama performansı ve masraf

Akıllı sözleşmeler sanal bir ortamda çalışmakta ve blokzincir üzerindeki düğümler üzerinde eş zamanlanmalı olarak çalışmaktadır. Akıllı sözleşmenin çalışması için blokzincir üzerinde yapılan işlemler nedeniyle belirli bir miktarda işlem ücreti ortaya çıkmaktadır. Ethereum'da Gas, işlemleri sanal ortamda yürütmek için ölçüm birimi Ethereum Sanal Makinesi (EVM) olarak adlandırılan ortamda yapılmaktadır. Gas gereksinimleri yapılan işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Karmaşıklık arttıkça, akıllı sözleşmedeki işlem sayısında artmaktadır. Buda aynı zamanda gas miktarına olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Örneğin, başka bir acenteye yaptırılan bir ethereum (ETH) işlemi 26.000 gasa mal olurken, yeni bir sözleşmenin konuşlandırılması bir sözleşme hesabı oluşturmak en az 38.000 gasa mal olur. Bytecode yürütmenin geçerli maliyeti 200 gas ve bir işlemi başlatmak için kullanılan her byte başına 68 gastır. Ayrıca, sözleşmenin ilk uygulaması bir ek maliyettir. [81]'te yapılan bir incelemede olduğu gibi bir akıllı sözleşmenin toplam dağıtım maliyetinin 200.000 gas dan daha yüksek olabileceği ve yürütme maliyetinin de yaklaşık 50.000 gas mertebesine

gelebildiğine dair bilgiler yer almaktadır. Gas kavramı akıllı sözleşmenin yürütülmesi sürecindeki en önemli kavramdandır. Ethereum blokzincirindeki işlemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan, hesaplama çabasını ölçen birime “gas” denmektedir. Gas kavramıyla birlikte çoğu zaman Gwei kavramı da kullanılmaktadır. “Gwei” kavramı ise “Gas Fiyatı” olarak adlandırılmaktadır. 1 Gwei ise 0,000000001 ETH olarak belirlenmiştir.

Halka açık ağlarda, gas maliyeti talep ve arz tarafından belirlenmektedir. Bu tip ağlarda sınırlı sayıda madenci (miner), hesaplama güçlerini çok sayıda aracıya sunabilir ve 10 Gwei ile 100 Gwei arasında gas fiyatı dalgalanmaları oluşabilmektedir. ETHGasStation verilerine göre bir yıl içinde ve yüksek tıkanıklık durumlarında bu rakam 400 Gwei'nin üzerine çıkabilmektedir [81].

Özel ağlarda, blokzincir düğümlerinin sanal ortamda yer almak için belirli bir finansal teşvike ihtiyacı olmadığından maliyetler genellikle ihmal edilir. Özel blokzincir düğümleri genellikle yerel yeşil ve ucuz enerji tedariki gibi diğer avantajlardan yararlanmak için kullanılır.

10.1.9. Yazılım dili seçimi

Akıllı sözleşme dediğimiz kavram blokzincir düğümleri arasında sanal bir ortamda yürütülen bir yazılımdır [82]. Yazılımlar aynı zamanda yazılım diline ait özelliklere sahiptir. Akıllı sözleşmelerde hangi dilin kullanılacağına karar verilmesi sürecinde sözleşmenin çalışma maliyeti ve oluşturulacak sözleşmenin boyutları genellikle büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla akıllı sözleşmenin oluşturulması sürecinde dil seçimi yapılırken bu kavramlar (çalışma maliyeti, sözleşmenin boyutları) önemli kıstaslar olarak değerlendirilmekle beraber ana ihtiyaca cevap verebilir nitelikte olması büyük önem arz etmektedir.

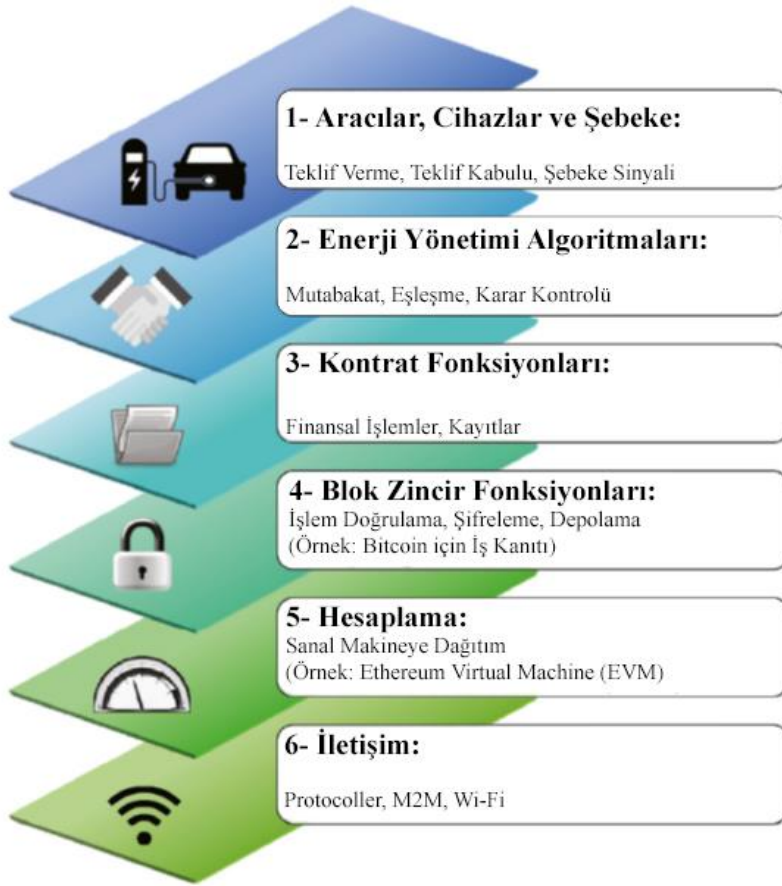
10.2. Akıllı Sözleşmelerin Altı Katmanı

Temsilciler için yerleşim mekanizmalarından siber güvenliğe kadar çeşitli alanlarda yayınlanan bilgilerin sentezlenmesi, gelen girdilerle başlayan bilgi akışının açıklanması için

çok katmanlı bir mimari önerilmiştir. Enerji uygulamaları için kullanılacak bir akıllı sözleşme Şekil 10.1.'de de görüldüğü gibi, kullanıcı girdisinden fiziksel varlıkların yanıtına kadarki süreçlerin dahil olduğu 6 katmandan oluşmaktadır [83]. Bu katmanlar;

- Aracılar, Cihazlar ve Şebeke
- Enerji Yönetimi Algoritmaları (Mutabakat, Kontrol)
- Kontrat Fonksiyonları (Finansal ve Gas İşlemleri)
- Blokzincir Fonksiyonları (Şifreleme vb.)
- Hesaplama (Farklı iş paraçacıkları sanal ortam (EVM) tarafından çalıştırılır)
- İletişim (Düğümmler arasındaki bilginin fiziksel transferini içeren katman)

Enerji Sistemlerinde 6 Katmanlı Akıllı Sözleşme



Şekil 10.1. Enerji sistemlerinde 6 katmanlı akıllı sözleşme

Birinci katman, bir aracıya, cihaz ve/veya şebekeden veriye ihtiyaç duyar. Örnek olarak P2P ticareti yapan araçlardan gelen teklifleri ve teklif kabullerini, akıllı şarjlı bir EV'den gelen

kullanabilirlik sinyalini ve otomatik bir talep tarafını tetiklemek için şebekeden gelen enerji verilebilir.

İkinci katmanda ise elde edilen bu bilgiler enerji araştırmacıları tarafından tasarlanan enerji yönetim algoritmalarına iletilir. Bu katman özgündür ve optimizasyon tekniklerini içermektedir. Örnek olarak, taahhüt edilen ve teslim edilen enerji miktarı arasındaki uyumsuzluğu çözmek için geliştirilmiş bir algoritmalar olabilir. Kontrol algoritmaları gibi herhangi bir karmaşık karar verme biçimi, müzakereler vb. işlemler bu katman üzerinde gerçekleşmektedir.

Üçüncü katmanda genellikle belirlenmiş olan akıllı sözleşme dilinde; sözleşmenin programlanmasını içermektedir. Katman 2 ve Katman 3'te ki bilgiler farklı dillerde kodlandığı bir çok örnek yer almaktadır. Bu nedenle, ayrı katmanlar olarak ifade edilmektedir. Temsilcilerin kaydı ve cihazlar, her türlü finansal işlem vb. bu katmanda gerçekleşir, yanı sıra gas kullanımının hesaplanması. Çıktı dijital bir sözleşmedir koddan (ve nesirden) oluşur. Cihazların kayıtları, her türlü finansal işlem vb. gas kullanımının hesaplanmasının yanı sıra bu katmanda yer almaktadır. Bu katmanın çıtısı koddan (ve nesirden) oluşan dijital bir sözleşmedir.

Dördüncü katman, akıllı sözleşmenin blokzincirdeki bir bloğa entegrasyonunu içermektedir. Bu, doğrulama, şifreleme vb. şekilde sağlanmaktadır. Bu konuda verilebilecek en iyi örnek Bitcoin için kullanılan Proof of Work (PoW)'dur.

Beşinci katman, uygulama ve hesaplamaların gerçekleştiği bölümdür. Aynı zamanda Ethereum Sanal Makine (Ethereum Virtual Machine - EVM) leriyle etkileşimde bu katmanda gerçekleşmektedir.

Altıncı katman, bu katmanda iletişim süreci yürütülmektedir. Bu iletişim süreci bilgi iletişim protokolleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu iletişim kablolu ya da kablosuz şekilde makineden makineye (machine-to-machine – M2M) gerçekleşebilmektedir. Bu örnek olarak akıllı bir sayaç/analizörün sonuç olarak akıllı sözleşmeye bilgi göndermesi verilebilir.

10.3. Akıllı Sözleşmenin Maliyetinin Hesaplanması

Enerji sistemlerinde geleneksel şebekeden akıllı şebekelere doğru bir yönelim olduğu sürece enerji hesaplama maliyetleri de artacaktır. Akıllı sözleşmelerle ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde sözleşmelerin maliyeti çok irdelenmese de [82] ihmal edilebilir seviyede olmadığına dair çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

[84] yapılan çalışmada; Ethereum tabanlı akıllı sözleşmeler için sözleşmenin çalışma maliyeti, performans ve veri gereksinimlerini tahmin etmenin farklı bir yolunu önermektedir. Bu akıllı sözleşme tasarımına katkı sağlaması ve akıllı sözleşmelerin performansının karşılaştırılması için iyi bir örnek olmaktadır. Bilindiği gibi akıllı sözleşmenin çalışması için çeşitli sensör ya da sayaçlardan belirli miktarda veri gerekmektedir. Akıllı sözleşmelerin blokzincire geçişi sürecinde gerekli verilerin aktarılması ve işlenmesi noktasındaki sınırlayıcı faktörler bant genişliği ve hesaplama gücüdür. Sis bilişim (fog computing) diğer bir adıyla edge computing, bulut tabanlı sunuculara aktarmadan önce verilerin yerel düzeyde işlenmesi sayesinde bu soruna bir çözüm sunmaktadır. Bu sayede de bant genişliği ve bulut tabanlı depolama gereksinimlerinde azalma söz konusu olmaktadır. [84] çalışmada, akıllı şebeke uygulamalarında bir işlem için fog computing ya da edge computing işlem kullanımına izin veren bir blokzincir sisteminin örneği yer almaktadır.

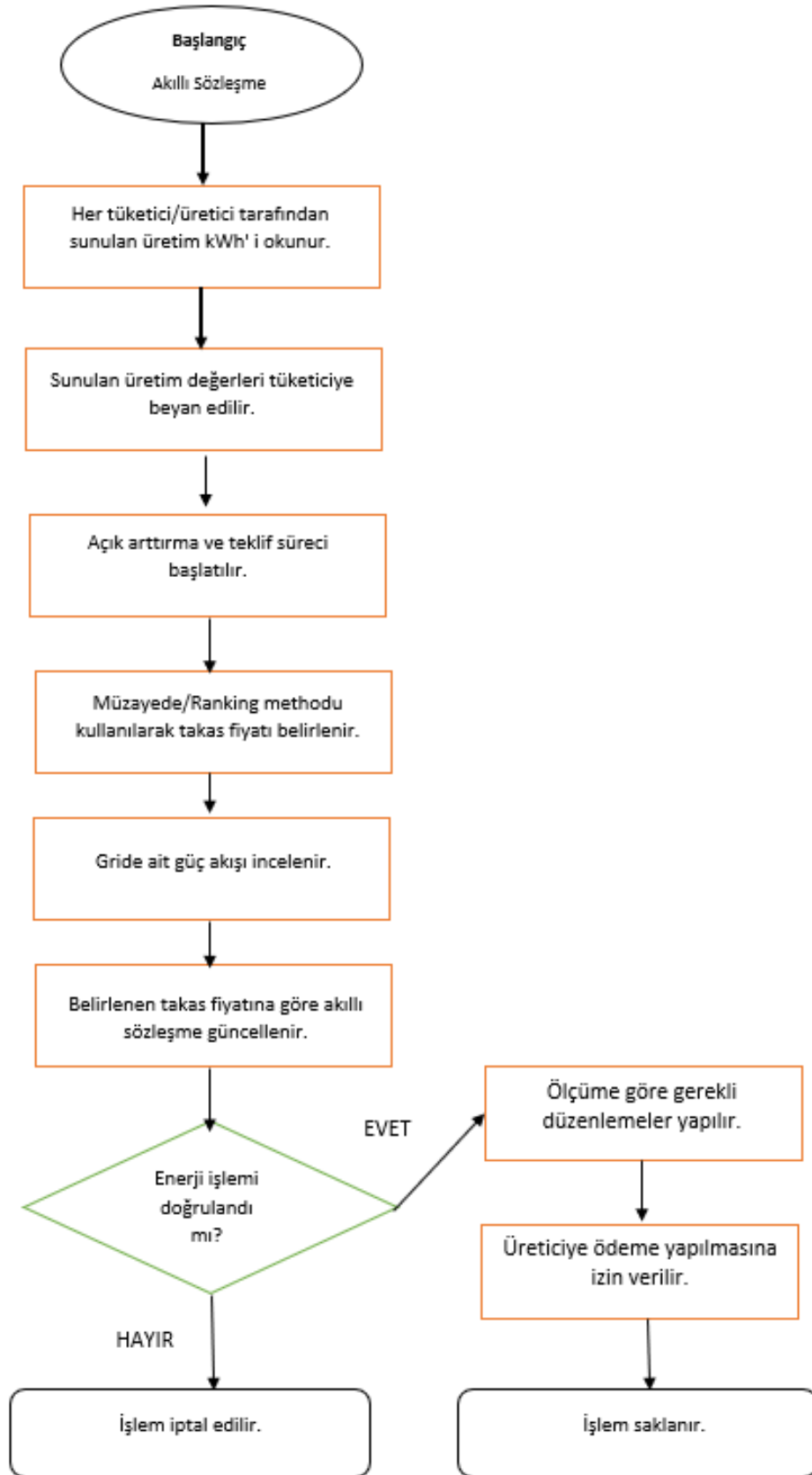
Enerji piyasası operasyonları ile ilgili olarak, akıllı sözleşmelerde yürütülen piyasa temizleme hesaplamaları, bilinmeyenlerin sayısını ve teklifler ile teklifler arasındaki tutarsızlık seviyesini azaltan katılımcılar arasında daha fazla bilgi paylaşımına izin vererek daha verimli hale getirilebilmektedir. Örnek olarak Encourage-Real-Quotation (ERQ) kuralı [85] sayesinde üreticilerin tüketicilerin teklif vermesi sürecinden sonra teklif yapmasına izin verir. Bu sayede de teklifler ve teklifler arasındaki farkı azaltarak, takas sürecini hızlandırıcı bir etki yapmaktadır.

Akıllı sözleşmelerle ilgili ana sorunlardan birisi de kripto varlıklardaki anlık fiyat artışlarıdır. Kripto varlıklardaki hızlı artışlar sözleşmenin kaydedilmesi ve çalıştırılması sürecinde ciddi fiyat dalgalanması olma ihtimali bulunmaktadır. Bundan dolayı akıllı sözleşmenin gerek oluşturulması gerekse de imza sürecinin seçimine dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak çalışan akıllı bir sözleşmenin maliyeti sadece finansal olarak düşünülmemelidir. Akıllı sözleşmelerin ve ilgili dağıtılmış defter teknolojisinin yürütülmesi önemli miktarda elektrik tüketimi gerektirdiğinden, akıllı sözleşmelerin çevresel bir maliyeti de bulunmaktadır. Bu nedenle, akıllı sözleşmelerin çevresel etkisi büyük ölçüde elektrik üretiminin kaynağına bağlıdır. Eşler arası ticaret gibi yenilikler nedeniyle enerji işlemlerinin sayısının artması beklendiğinden, ölçeği büyütmek için akıllı sözleşmeleri dağıtmak ve yürütmek için kullanılan mevcut blokzincir mutabakat protokollerinin enerji tüketimini en aza indirilmesi için yeniden tasarlanması gerekebilmektedir.

10.4. Enerji Ticaretinde Kullanılanacak P2P Akıllı Sözleşmenin Akış Şemasının oluşturulması

Akıllı sözleşmelerde enerji ticaretinde kullanılacak P2P tabanlı bir akıllı sözleşme oluşturulmak istendiğinde tüm yazılımlarda olduğu gibi öncelikli olarak bir algoritmanın oluşturulması gerekmektedir. Bu algorithmada Şekil 10.2’de detaylı olarak incelendiğinde problemin çözümü ve belirli bir amaca ulaşmak için tasarlanan yol net şekilde anlaşılacaktır [86].



Şekil 10.2. P2P enerji ticareti için örnek bir akıllı sözleşmenin akış şeması

10.5. Enerji Ticareti Akıllı Sözleşmesi

Şekil 10.2.'de enerji ticareti için P2P altyapısını kullanan akıllı sözleşmenin çalışma mantığı gösterilmektedir. Akış şeması, üreticiler tarafından sunulan kapasitenin ve fiyatın okunmasını isteyen sözleşme komutuyla başlamaktadır. Piyasa değerinin belirlenmesi ve fiyat seçimi üretici tarafından belirlenmekte ve sonrasında teklif alıcılara (tüketicilere) iletilmektedir. Bu sayede de teklif verme süreci başlamaktadır. Fiyatı belirlemek için çeşitli olası teknikler vardır. Bu konuda en sık kullanılan tekniklerden birisi de teklifleri artan ve azalan düzende sıralayan ve bir takas fiyatı belirleyen “Double Auction (İkili Müzayede)” dir. Bir sonraki adım, şebeke güç akışlarının incelenerek tahsislerin fizibilitesini değerlendirmektir. Ardından da akıllı sözleşme dikkate alınarak güncellenir ve üreticilerin akıllı sayaç ya da analizör kaydı alınarak doğrulanır. Doğrulandıktan sonra, toplam birimler ve üretim süresi kontrol edilir ve gerekirse ölçeklendirme ve cezalar uygulanır. Bu adımdan sonra da üreticilere ödeme yetkisi verilir ve işlem saklanır. Bu aşamadan sonra işlemin geri döndürülemez olduğu bilinerek işlemler yapılmalıdır [86].

Şekil 10.2.'deki akış şemasını biraz daha somutlaştırmak istediğimizde ülkemizde Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) tarafından gün bazlı olarak enerji alımı ihale süreçlerinin yönetimi için daha uygun bir yapıya sahip olduğunu görmekteyiz. Daha önceki bölümlerde de vurgulandığı gibi enerji ticareti başta olmak üzere enerji sektöründe bir çok işlemde akıllı sözleşme kullanabilme potansiyeline sahiptir. Ve genel ihtiyaca göre de bu akıllı sözleşmeler düzenlenebilmektedir. Bunlara daha somut örnek vermek istenirse;

- Dağıtım şirketleri ile özel tüketiciler arasındaki sabit fiyatlı anlaşmalar
- Dağıtım şirketleri ile aboneler arasındaki enerji kullanımının faturulandırılması
- Tüketici/üretici statüsündeki abonelerin kendi aralarındaki yapmış olduğu birim fiyatlı anlaşmalar
- Mikrogridler arasındaki büyük ya da küçük ölçüdeki enerji transferi sözleşmeleri
- Enerji depolama ünitelerinden tüketicilere direkt satış yapılması durumundaki sözleşmeler
- Elektrikli araçların sarj edilmesi(G2V) için yapılan sözleşmeler
- Elektrikli araçların depolamış olduğu enerjinin satışı (V2G) için yapılan sözleşmeler

Yukarıda yer alan tüm durumlar dışında da transferin yapılacağı sistemlerin yazılımsal ve donanımsal özellikleri de dikkate alınarak akıllı sözleşmeler oluşturulması istenen amaca hizmet etmesi açısından bir gerekliliktir. Burada önemli olan standart bir sözleşmeyle bu işlerin tamamının yapılmasına çalışılmak yerine transferin gerçekleşeceği birimlerin iyi şekilde analiz edilerek gereklilikleri karşılayacak şekilde bir akıllı sözleşmenin oluşturulması ya da oluşturulmasıdır.



11. AKILLI ŞEBEKE SİSTEMİ İÇERİSİNDE KULLANILABİLECEK BİR AKILLI SÖZLEŞMENİN OLUŞTURULMASI

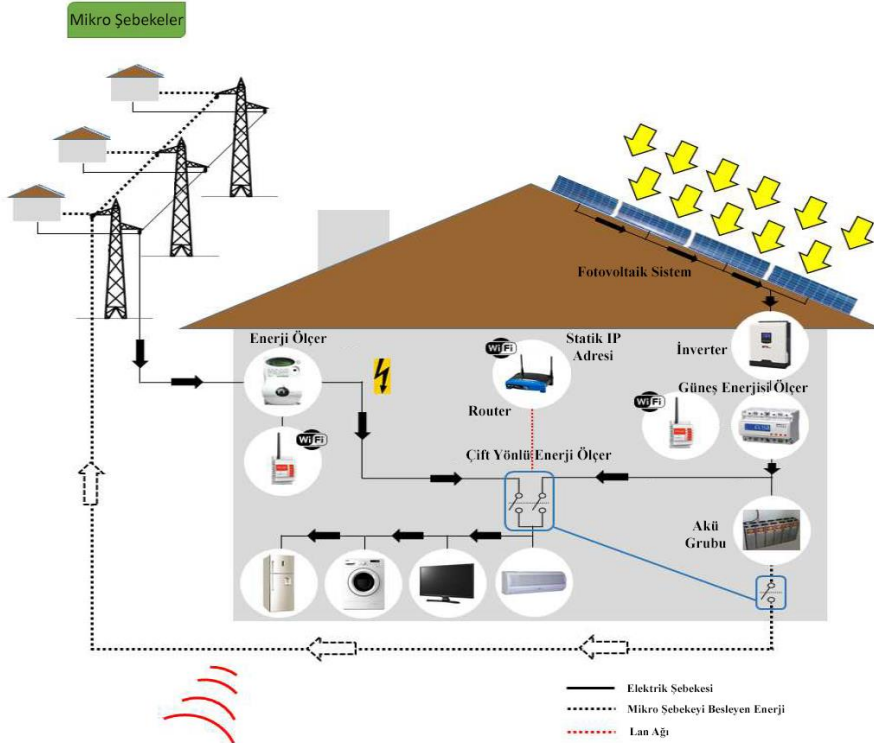
Tezimin bu kısmında sabit fiyatlı bir enerji transfer işlemi gerçekleşme sürecinde tüketici ve üretici arasında gerçekleşecek olan sabit fiyatlı bir transfer için kullanılabilir bir durum dikkate alınarak bir akıllı sözleşme hazırlanmıştır. Akıllı kontratın çalışmaya başlamasıyla beraber gerçekleşecek transfer işlemi için enerji tedarikini sağlayan tarafta işlemi başlatacak ve sonlandıracak anahtarlama elemanları bu sözleşmenin çalışması noktasında herhangi bir etki yapmamaktadır. Hazırlanan sözleşme 1/0 mantığıyla çalışacak olup istenen şartların sağlanması durumunda enerji tedarikini sağlayan (üretici, elektrikli araç, mikro şebeke, enerji depolama sistemi, şarj istasyonu gibi) birimden tüketici birime doğru akışı başlatacak bir yapıya sahiptir. Enerji tedariki sağlayacak birimin satacağı enerjinin birim fiyatı farklılık gösterebileceği için hazırlanan sözleşmenin donanımsal yapıya bağlı olarak birim fiyat bazlı ya da direkt olarak birim bazlı olarak hazırlanması mümkündür.

Akıllı sözleşmeler enerji transferinin başlaması için gerekli olan şartların sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmektedir. İstenen şartların sağlanması durumunda da enerji transferinin başlaması için gerekli bilgi verildikten sonra işlem elektrik anahtarlama birimi üzerinden devam etmektedir. Kullanılacak olan anahtarlama ve kontrol ekipmanları enerji transferinin gerçekleşme ihtimalinin olabileceği elektrik üretim birimi, elektrikli araçlar, mikro şebeke, enerji depolama sistemi, şarj istasyonu gibi birimlerin tamamında farklı tipte kullanılması ihtimal dahilindedir. Bu durum bireysel tüketiciler içinde geçerlidir, akıllı sözleşmelerin entegre edildiği bir ön ödemeli elektrik sisteminde apartmandaki bir daire ile büyük çapta bir elektrik tesisinin kullanacağı anahtarlama biriminin aynı olması mümkün olmasa da kullanacağı akıllı sözleşme aynı olabilir durumdadır.

Anahtarlama ekipmanları seçilirken bilindiği gibi üzerinde anahtarlama yapılacak yük miktarı, işlem süresi, ortam sıcaklığı gibi birçok etken dikkate alınmaktadır. Çoğu zamanda sadece o amaca hizmet eden özel anahtarlama elemanları bir takım ar-ge çalışmalarının sonucu ortaya çıkmaktadır. Akıllı sözleşmelerin anahtarlama ekipmanlarına entegre edilmesiyle beraber üretilecek anahtarlama birimlerinin oluşturulması da mümkündür. Bu durumun tam tersi olarak akıllı sözleşmelerle entegre çalışan bir anahtarlama biriminin de oluşturulabilir durumdadır. Mevcutta bulunan anahtarlama birimi internet tabanlı olarak Wi-Fi ya da 5G üzerinden akıllı sözleşmeyle kontrol edilebilir şekilde dizayn edilebilmeye müsait durumdadır.

Şimdiye kadar genellikle sabit şekilde dizayn edilen anahtarlama ekipmanlarının maliyet vb. durumları göz önüne alındığında enerji transferini gerçekleştirmek için portatif şekilde de dizayn edilmesi durumu da günümüz trendlerine bakıldığında ihtimal dahilinde olabileceği farkedilmektedir.

Şekil 11.1'e bakıldığında oluşturulacak sistemin nasıl çalışacağı konusunda fikir vermesi için yapılmış bir çalışma yer almaktadır [87]. Görüldüğü gibi modellenen konutsal bir kullanıcıdır. Çatısındaki güneş panelleriyle oluşturduğu fotovoltaik sistem sayesinde aynı zamanda üretici statusüne geçebilecek bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda üretmiş olduğu enerjiyi de depolayabilir durumdadır. Fotovoltaik sistem direkt olarak invertere bağlıdır. Fotovoltaik panellerden üretilen enerji bir Wi-Fi router aracılığıyla uzaktan da izlenebilen bir ölçüm cihazına bağlıdır. Binanın ortasına baktığımızda da görüldüğü gibi bir çift yönlü enerji ölçen bir ekipman bulunmaktadır. Bu ekipman aynı zamanda depolanan enerjinin istenildiği takdirde, elektrik şebekesiyle bağlantısının kesip iç ihtiyaç için kullanılmasına olanak vermektedir. Bu işlem uzaktan da kontrol edilebilen bir anahtarlama ekipmanı aracılığıyla yapılmaktadır.



Şekil 11.1. Blok zincir ve akıllı şebekeler için yapı örneği

İlgili şekil biraz daha detaylı incelendiğinde akü grubunda depolanan enerjinin mikro şebekeye satışında da gerçekleşebileceği görülmektedir. Aynı şekilde bu satışın yakındaki başka bir tüketiciye de yapılabilmesi de mümkündür. Bu işlemin gerçekleşmesi için de akü grubuyla mikro şebeke ya da diğer tüketici hattı arasında bulunan bir hatta bir anahtarlama ekipmanı bulunmaktadır. Bu anahtarlama ekipmanı da uzaktan kontrol edilebilen bir yapıya sahiptir.

Normal şartlarda dışarıdan beslenen bir konut kullanıcısının üretilen enerjinin iç ihtiyaç için kullanması da dışarıya satılması durumlarında tamamen uzaktan ve akıllı sözleşmeler aracılığıyla yapılabilmektedir. Benzer durumlar tüm enerji transferleri için de mümkün olabilmektedir.

11.1. Akıllı Sözleşme (Smart Contract)'nin Oluşturulması

Akıllı şebeke sistemlerinde blokzincir teknolojisinin kullanılabilmesi için en önemli gereksinimlerden birisi akıllı sözleşmelerdir. Kurulacak olan ekosistemde ihtiyaç duyulan gereksinimlere uygun bir akıllı sözleşme oluşturulması sistemin düzgün çalışması için en önemli koşullardan biridir.

Akıllı sözleşmeler yazılım tabanlı sistemlerdir. Tüm yazılımların oluşturulması sürecinde olduğu gibi öncelikli amaç ihtiyacın karşılanmasıdır ve bu ihtiyaç için akıllı şebeke sistemi içerisinde akıllı sözleşmenin kullanıldığı yer göre farklılık gösterebilmektedir. Bölüm 2'de yer alan problem tanımı ve amaç bölümünde de belirtildiği gibi mevcut elektrik şebeke sistemin içerisinde; abonelik talebi, abonelik iptali, abonelik taşıma, fatura işlemleri, fatura ödeme, sözleşmeler, arıza kaydı, enerji ticareti süreçlerinin tamamı birbirinden farklı yapıdaki akıllı sözleşmelerle yapılabilme ihtimali bulunmaktadır.

Bu bölümde; ihtiyaca yönelik bir akıllı sözleşme oluşturulacak ve kullanılan kodların hangi anlamları ifade ettiği açıklanacaktır. Aynı zamanda oluşturulacak olan akıllı sözleşmenin blokzincir ağına nasıl girişinin yapılacağına dair bilgiler yer almaktadır.

Öncelikle akıllı sözleşmeyi oluşturmak için bir Tümüleşik Geliştirme Ortamına (Integrated Development Environment - IDE) ihtiyaç duymaktayız. Tümüleşik Geliştirme Ortamı olarak adlandırılan yazılımı bilgisayar programcılarının hızlı ve rahat bir şekilde yazılım

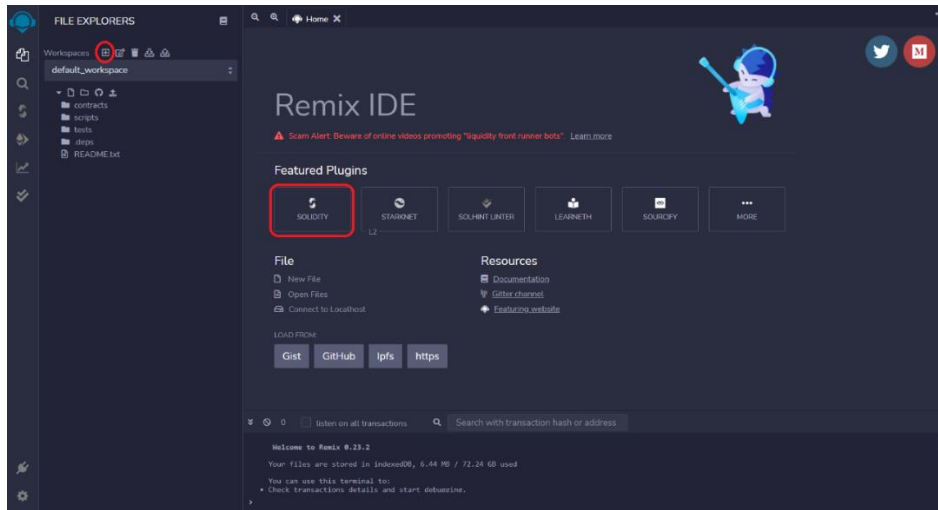
geliştirilmesini amaçlayan, programın geliştirme sürecini organize edebilen birçok araç ile birlikte bu sürecin verimli kullanılmasına katkıda bulunan araçların tamamını kapsamaktadır. IDE birden fazla geliştirme yardımcı programını bir araya getirmek için gereken yapılandırmayı azaltmayı amaçlamaktadır.

Geliştirecek akıllı sözleşme için web tabanlı bir IDE kullanılacaktır. Bunun için “remix.ethereum.org” adresine giriş yapılmıştır. Burada yer alan IDE, web tabanı üzerinde çalışmakta ve bu adres üzerinde kod yazma ve derleme gibi işlemlerin yapılmasına olanak vermektedir.

Çevre bilimlerinde farklı çalışma dillerinde kontratlar geliştirebilmektedir. Bu diller;

- Solidity
- Starknet
- Solhint
- Linter
- Learneth
- Sourcify

Dünya genelinde Ethereum tabanında Akıllı Sözleşme yazılması için genellikle Solidity dili seçilmektedir.



Şekil 11.2. remix.ethereum.org arayüzü

Şekil 11.2’de remix.ethereum.org un arayüzü görülmektedir. Bu arayüz üzerinden “File Explorers” ekranı açıldığında; Browser bölümünden “Create New File”a tıklanarak “ERC20.sol” kontratı seçilmektedir.

Bu bölümde akıllı sözleşmeler için önem arz eden yeni bir kavramla karşılaşılacaktır. ERC-20 kavramı akıllı sözleşmelerin aynı zamanda standart özelliğini taşımaktadır.

11.2. ERC-20 Kavramı

ERC kavramının açılımına baktığımızda Ehererum Request for Comment öncelikli olarak görülmektedir. Adından da anlaşılacağı gibi request for commentler yazılımdaki standartları temsil etmektedir.

Kripto paralarla beraber duyulan tokenlar (jetons) kendi bağımsız blokzincir ya da ağları üzerine inşa edilmemiş olan kripto para birimleridir. Yerleşik mevcut blokzincirler üzerinde çalışmaktadır. Bu durumun bir avantajı olarak da token oluşturmak son derece kolay ve hızlıdır. Kriptopara piyasasına baktığımızda da bunun bir sonucu olarak piyasada yer alan çok sayıda jeton; Ethereum blokzincir altyapısı üzerine inşa edilmiştir ve yoğunlukla da ERC-20 standardı tercih edilmiştir.

ERC-20 standardının geçmişine baktığımızda ilk karşımıza çıkan şey 2015’te Vitalik Buterin ve Fabian Vogelsteller isimleridir. Buterin ve Vogelsteller ERC-20 standardını, Ethereum blokzincir üzerinden geliştirilecek olan jetonları standardize etmek için geliştirmiştir [88]. Bu konuda en dikkat edilmesi gereken husus ERC-20 standardının sadece Ethereum ağında çalıştığıdır.

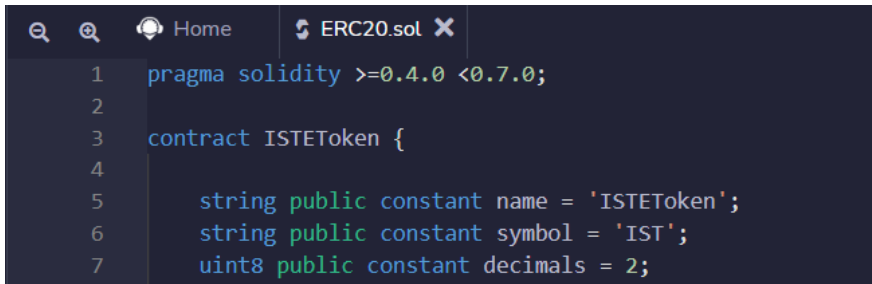
Standart olarak yapılan işlemlerde kendi kontratını oluşturmak için çoğu zaman hazır kontratlar tercih edilmektedir. Blokzincir tabanında benzer bir işlem yapılmışsa ve bu çok sayıda kullanıcı tarafından kullanılıyorsa standart kontratları tercih etmek büyük avantaj sağlamaktadır. Bunun nedeni kontratın kullanıldıkça açıklarının kapatılarak daha güvenli bir hale getirilmesidir.

Bu çalışmada ERC-20 kontratının seçimi için “docs.openzeppelin.com” adresinde bulunan kontratlardan biri tercih edilmiştir. Seçilen sözleşme tezin yazılmış olduğu tarih itibariyle güncel ve gelişmiş bir kontrat olma özelliğine sahiptir. Bu sözleşme karmaşıklığın

giderilmesi adına ilgili kontratın olabildiği kadar sadeleşmiş olması nedeniyle genellikle tercih edilmektedir.

11.3. ERC-20 kontratı kullanılarak akıllı kontratın oluşturulması

ERC-20 kontratını derlemeye başlarken öncelikle kontratın ismi “ISTEToken” olarak belirlenmiştir.



```
1 pragma solidity >=0.4.0 <0.7.0;
2
3 contract ISTEToken {
4
5     string public constant name = 'ISTEToken';
6     string public constant symbol = 'IST';
7     uint8 public constant decimals = 2;
```

Şekil 11.3. ERC-20 kontratı üzerinden oluşturulacak token'ların tanımlanması

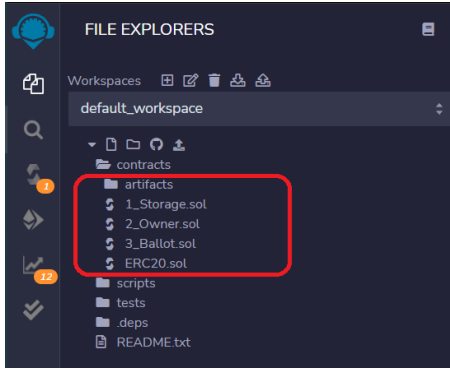
3. satırda yer alan komuta; kontratımızın ismi “ISTEToken” olarak tanımlanmıştır.

5. satırdaki “string public constant name” komutunda akıllı kontratın adı. “ISTEToken” olarak adlandırılmıştır.

6. satırda yer alan “string public constant symbol” komutuna ise “IST” kısaltması girilmektedir.

7. satırda yer alan “uint8 public constant decimal” komutuna ise sıfırdan sonra kaç hanenin değerlendirileceğini düşünerek o kadar rakam girilmektedir. Bu çalışma için 2 olarak belirlenmiştir.

ERC-20 kontratı üzerinden oluşturulacak Token için girilen kodlar arayüz üzerinde Şekil 11.3.'de görülmektedir.



Şekil 11.4. ERC-20 kontratı dışında tanımlanmış kontratlar

File Explorers alanında Contracts bölümünün alt başlığı olarak “ERC20.sol” dışında 3 adet örnek kontrat bulunmaktadır.

Bunlar Şekil 11.4.’te görüldüğü gibi

- Storage.sol
- Owner.sol
- Ballot.sol
- ERC20.sol

Burada yer alan Ballot.sol fonksiyonu seçimler içindir. Owner.sol fonksiyonuyla kimin kullanacağı belirlenmektedir. Bu fonksiyonu kullanan kişi belirlendikten sonra bu kontratı sadece o kişi yani sahibi (owner) kullanabilmektedir.

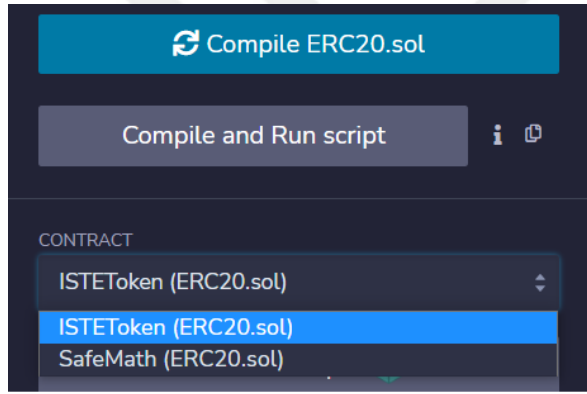


Şekil 11.5. remix.ethereum.org arayüzünde yer alan simgeler

remix.ethereum.org menüsüne baktığımızda Şekil 11.5.'te de görüldüğü gibi arayüzde yer alan simgelerin anlamlarını görülmektedir.

Oluşturduğumuz kontratın çalışıp çalışmadığını incelemek için Solidity Compiler bölümü kullanılmaktadır. Bu bölümde Compile ERC20.sol butonuna tıklanarak kontrat kontrol edilmektedir. Bu butona bastıktan sonra derlemede eğer bir hata alınmazsa kontrat düzgün çalışıyor demektir. COMPILER alanında bazı seçimler yapılması gerekmektedir. Bunlardan birisi “0.6.6+commit.6c089d02”dir.

Sonrasında da “Compile ERC20.sol” butonuna tıklanmaktadır. Derlemede herhangi bir hata çıkmaz ise bunun anlamı hazırlamış olduğumuz kontratımızda herhangi bir sorun yok demektir.



Şekil 11.6. kontrat tipinin seçilmesi

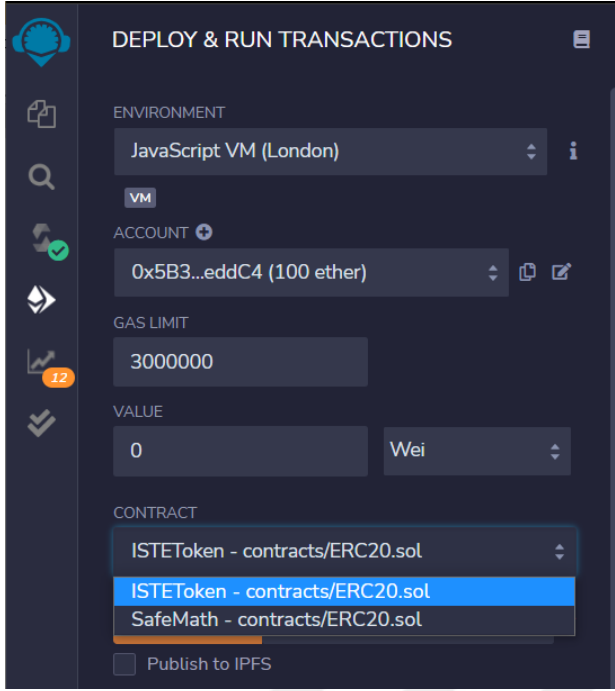
Compile butonunun altında bulunan “Contract” bölümünde “Compilation Details” bölümü görülmektedir. Açılan pencerede hem “ISTEToken” kütüphanesini hem de “SafeMath” kütüphanesinde yazdığımız kontratlar yer almaktadır. Yapılan bu işlemlerin arayüzdeki görünümü Şekil 11.6.’daki gibidir.

Burada ilgili sözleşmeyi seçip “Compilation Details”i tıkladığımızda seçilen kontrata ait “Assembly Kodları”, “ABI Bilgileri” ve “web3” bilgileri görülmektedir.

Sonrasında soldaki araç çubuğu bölümünden “Deploy & Run Transactions” bölümü tıklanarak, environment bölümünden “JavaScript VM (London)” seçilmiştir.

Eğer “Injected Web3” Environment’ını seçilirse buradan direkt olarak MetaMask” hesabınının seçildiği anlamına gelmektedir.

Account bölümünde de “MetaMask”taki ya da daha önceden belirlemiş olduğumuz “Account” adresinin seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 11.7. Deploy & Run transactions bölgesi

“Contract” bölümüne bakıldığında derlediğimiz kontratlar bu alanda görülmektedir.

“Contract” sekmesinde aşağıdaki kontratları görülmektedir:

- ISTEToken – browser/ERC20.sol
- SafeMath – browser/ERC20.sol

Bu bölümde “ISTEToken – browser/ERC20.sol” seçilmelidir. Contract seçiminin nasıl yapıldığı Şekil 11.7.’de yer almaktadır.

Altında bulunan Deploy’a basıldığı takdirde yazılan akıllı sözleşme blokzincir sistemine aktarılmaktadır.

Account bölümünden de 100 etherli bir hesap seçilmiştir.

Deploy’un yanında Total Supply kavramı bulunmaktadır.

Total Supply değerine giriş yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu belirlenmiş olan total supply değeridir. Bu bölüme girilen değer öncede belirtildiği gibi buradaki total

supply değeri ne kadar azsa o kadar değerli olmaktadır. Burada bu değer 1 milyon (1000000) olarak belirlenerek işlem başlatılmıştır.

```

20     constructor( uint256 _totalSupply) public{
21         totalSupply=_totalSupply;
22         balances[msg.sender] = totalSupply_;
23     }

```

Şekil 11.8. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan constructor komutunun kullanımı

20. satırdaki koda baktığımızda; constructor komutunu görülmektedir. Bu komut normalde yazılım dillerinde sınıfın adıyla yazılmaktadır. Şekil 11.8’de 20., 21., 22. ve 23. satırda yazılan komutlar yer almaktadır.

Constructor fonksiyonu diğer yazılım dilleriyle bir akıllı sözleşme hazırlanmak istendiğinde ISTEToken (){ } olarak yazılır. Eğer sınıfın adıyla hangisinde bir fonksiyon varsa bu yapıcı bir fonksiyondur. O sınıfı çağırdığımızda otomatik olarak çağrılacak olan fonksiyon anlamına gelmektedir. Ancak solidity dilinde bu komut constructor olarak kullanılmaktadır. Komutun bu şekilde kullanılmasının nedeni sistemin güvenliğidir. 20. satırdaki “constructor” komutu önemli konuların ilk kez ayarlandığı ve kontratla ilgili ilk komutların ayarlandığı bir fonksiyondur. Sahibinin ve kaç para olacağını belirlediği bir fonksiyondur.

20. satırda; “constrcutor” fonksiyonunda u256’yı bir sayı alınmaktadır ve bu sayı “constructor” fonksiyonunda yer almaktadır. Bu fonksiyon sayesinde tokenın sahibi ve değeri belirlenmektedir. Yani ilk Deploy edilirken bu sayının girilmesi gerekmektedir. Daha sonra bu sayı alınmakta ve “TotalSupply” denen değişkene atanmaktadır. Daha sonra bu değişken asıl paranın miktarını belirlemektedir.

21. satırdaki komut toplam sayının belirlenmesi içindir.

22. satırda balances komutu bulunmaktadır. Burada yer alan totalSupply değerini 1000000 (1 milyon) olarak belirlenmişti.

```

12     mapping(address => uint256) balances;

```

Şekil 11.9. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan mapping komutunun kullanımı

22. satırdaki balances komutu döngüyü 12. satıra yönlendirmektedir. 12. satırda yazmış olduğumuz kod; Şekil 11.9.’da görülmektedir. Bu satırda bulunan komutta kimin ne kadar

para tuttuğu da görülebilmektedir. (Balances = cüzdanlar) Burada hashmap dediğimiz yapı birçok yazılım dilinde olduğu gibi solidityde de bulunmaktadır. Bunu haritalandırma olarak adlandırmaktayız.

22. satırdaki en önemli komut “msg.sender” komutudur. Bu komut bu kontratı/fonksiyonu çağıran adres anlamına gelmektedir. Bu fonksiyonu çağıran adres kontratın sahibidir. Bu satırda yer alan “msg.sender”; “Deploy & Run Transaction”da yer alan “Account” olmaktadır. Dolayısıyla “Account” ta seçilen hesaptır. Burada bütün parayı bu adresin bakiyesine aktar seçilmek istendiğinde yani “msg.sender” komutu kullanılmaktadır.

```
16      uint256 totalSupply_;
```

Şekil 11.10. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “uint256 totalSupply” komutunun kullanımı

25. satırdaki komut Total Supply’ı görmek için yazılmıştır. Bu komutla kaç para üretilmiş vs. gibi bilgiler bu komutla alınabilmektedir.

26. satırdaki komut 16. satırdaki komutu okutmaktadır. Burada komutla herkes kaç para üretildiğini görebilmektedir. Bu durumda 16. satırdan tam sayı olarak dönüş gelmektedir. 16. satırda girilen kod Şekil 11.10.’da görülmektedir.

25. ve 26. satırlara girilen kodlar Şekil 11.11.’de görülmektedir.

```
25      function totalSupply() public view returns (uint256) {
26          return totalSupply_;
27      }
```

Şekil 11.11. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function totalSupply” komutunun kullanımı

29. satırda yazılan komuttaki adresin kaç parası olduğunu görmekteyiz. Şekil 11.12.’de bunun için yazılan kod görülmektedir.

```
29      function balanceOf(address tokenOwner) public view returns (uint) {
30          return balances[tokenOwner];
```

Şekil 11.12. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function balanceOf” komutunun kullanımı

Şekil 11.13.’te yer alan 33. satırdaki komut para transferi işleminin gerçekleşmesi için yazılmaktadır.


```

33     function transfer(address receiver, uint numTokens) public returns (bool) {
34         require(numTokens <= balances[msg.sender]);
35         balances[msg.sender] = balances[msg.sender].sub(numTokens);
36         balances[receiver] = balances[receiver].add(numTokens);
37         emit Transfer(msg.sender, receiver, numTokens);
38         return true;
39     }

```

Şekil 11.13. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function transfer” komutunun kullanımı

34. satırdaki require kısmı akıllı sözleşmede içerisindeki yer alan en önemli kodlardandır. Require komutu blokzincire özgü bir yapıdır. 33. Satırdaki komut sayesinde tanımlanmış olan transfer işleminin nasıl ve ne kadar gönderildiği görülebilmektedir. Require komutunda gönderilmek istenen token, hesaptaki mevcut bakiyeden fazla değilse işlem devam etmektedir.

35. satırdaki komutta; eğer 34. satırdaki komut sağlanıyorsa bakiyeden gönderilen miktarın çıkarılması işlemi tanımlanmıştır.

36. satırdaki komutta gönderilen bakiyenin gönderdiğin hesaba eklenmesi işlemi gerçekleşmektedir. Aynı zamanda bu kodla son rakamı bu rakamla güncelle komutu verilmiştir.

37. satırdaki emit komutuyla da event tetiklenmektedir. Bu komutla transfer işleminin gerçekleştiği tüm blokzincire duyurulmaktadır.

38. satırda ise bu işlem doğrulanması yapılmaktadır.

33., 34., 35., 36., 37. ve 38. satırlarda yazılan kodlar Şekil 11.13.’te görülmektedir.

41. satırda yazılı olan kodun amacı onaylama, kişilere yetki vermek için kullanılmıştır. Bu yetkilerde para arttırma vb. durumlar söz konusu olabilmektedir. Bunun için yazılması gereken kodlar Şekil 11.14.’te görülmektedir.

```

41     function approve(address delegate, uint numTokens) public returns (bool) {
42         allowed[msg.sender][delegate] = numTokens;
43         emit Approval(msg.sender, delegate, numTokens);
44         return true;
45     }

```

Şekil 11.14. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function approve” komutunun kullanımı

47. satırda yer alan kodda ise sanal kart özelliği tanımlanmıştır. Bu sayede Daha önceden belirlenmiş olan miktarda para gönderilip alınmasına olanak tanımaktadır. Bu işlem için yazılması gereken kodlar Şekil 11.15.'te görülmektedir.

```
47     function allowance(address owner, address delegate) public view returns (uint) {
48         return allowed [owner][delegate];
49     }
```

Şekil 11.15. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function allowance” komutunun kullanımı

51. satırdaki kodda ise eğer daha önceden yetkilendirilmiş ise şu kişiden şu kişiye para transferi işlemi yapabilme olanağı tanımlanmıştır. Bu tanımlamanın yapılması için gereken kodlar Şekil 11.16.’da görülmektedir.

```
51     function transferForm(address owner, address buyer, uint numTokens) public returns (bool) {
52         require(numTokens <= balances[owner]);
53         require(numTokens <= allowed[owner][msg.sender]);
```

Şekil 11.16. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “function transferform” komutunun kullanımı

Şekil 11.17.’deki kodlar incelendiği takdirde; 63. satırda “SafeMath” komutu, 64. Satırda ise “pure” komutu yer almaktadır.

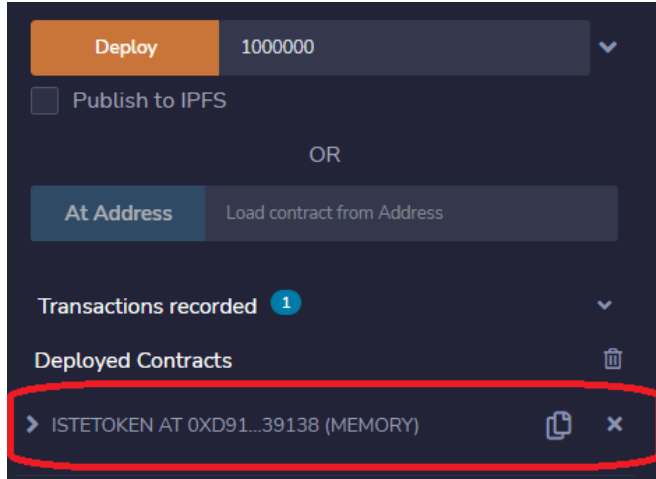
```
63     library SafeMath {
64         function sub(uint256 a, uint256 b) internal pure returns (uint256) {
65             assert (b <= a);
66             return a - b;
67         }
```

Şekil 11.17. Akıllı sözleşme içerisinde kullanılan “SafeMath” komutunun kullanımı

63. satırda ve 64. satırdaki kodlar herhangi bir değişkenin okunamaması durumu dikkate alınarak eklenmiştir. Eğer çıkarma işlemi yapıldığında da assert komutu işlevi yapılan kontrol sonucunda burada bu durumun sağlanmaması durumunda hata vermesi amacıyla eklenmiştir.

Blokszincir sisteminde dikkat edilmesi gereken en önemli durum alt satırlardaki komutlardan herhangi biri fail olması durumunda işlemin throwback olmasıdır. Yani üstte yapılmış işlemler geri alınmaktadır. Bu nedenle işlem sırasına göre işlemlerin yapılması gerekmektedir.

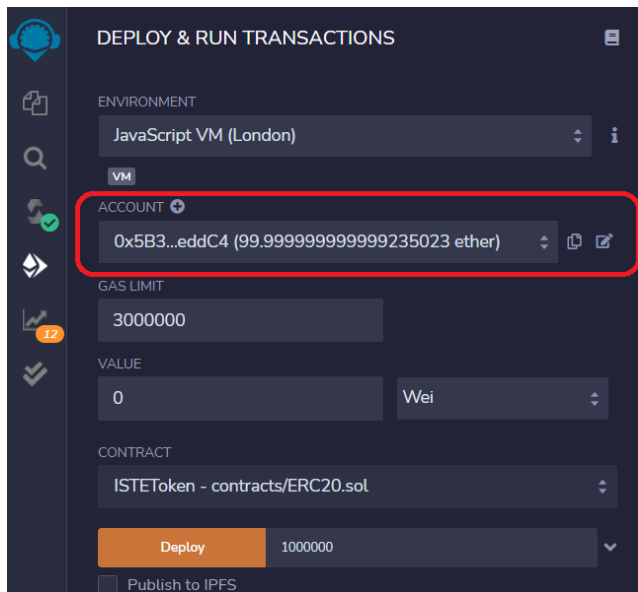
Home sekmesinden (sol en üst) Deploy'un yanına 1000000 (1 milyon) yazılarak ve "Deploy" seçilmektedir. Bu işlemin arayüzden yapılacağı bölüm Şekil 11.18.'de görülmektedir.



Şekil 11.18. Deployed Contract'ın seçimi

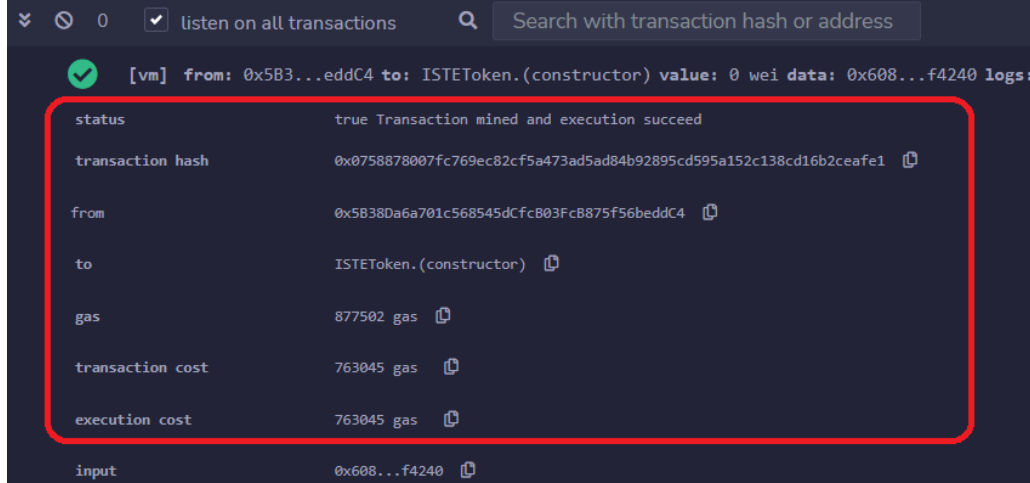
Aynı zamanda yapılacak olan kontrat seçiminin hangi bölümde yapılacağı Şekil 11.18.'de "ISTEToken (Memory)" seçeneğini görülmektedir.

Akıllı sözleşmenin çalışacağı environment olarak JavaScript VM'nin seçildiği Şekil 11.19.'da yer almaktadır.



Şekil 11.19. Deploy & Run Transactions bölümünden account seçimi

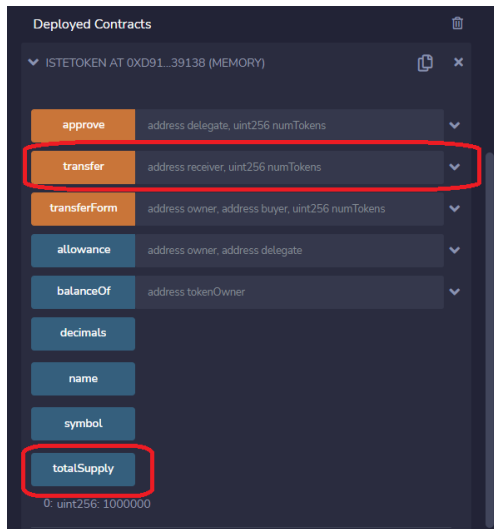
Account bölümüne baktığımızda önceden 100 olan ether değerinin azaldığını görülebilmektir. Bu azalma miktarı sayesinde işlemin gerçekleşmesi için ne kadar Ether kullanıldığını da aynı zamanda tespit edebilmekteyiz. Arayüzde yapılan işlemlerin detayları Şekil 11.20.'de görülmektedir.



Şekil 11.20. Kontratın çalışması sonrasında yer alan detaylar

Yapılan işlemlerin detayları (hangi hesaptan hangi hesaba transfer yapıldığı, yapılan işlemin ücreti, transfer değeri) Şekil 11.20'de yer almaktadır.

Deployed Contracts bölümünün altında yer alan “ISTETOKEN AT...” bölümünün solundaki oka tıkladığında alt menü açılmaktadır. Bu bölümden “totalSupply”a tıkladığı takdirde açılan pencerede işlemle ilgili tüm detaylar kod olarak yer almaktadır. İlgili işlemin yapılacağı arayüz Şekil 11.21.'deki gibidir.



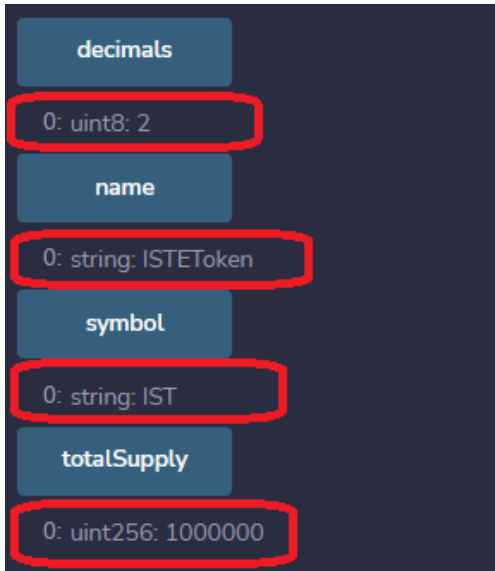
Şekil 11.21. Kontratın çalışmasıyla transfer işleminin gerçekleşmesi

Call to ISTEToken.totalSupply aşağıdaki detay bölümüne geldi. Debuga tıklandığında altındaki output değerinin 1000000 (1 milyon) olduğu görülmektedir. Bu değer arayüzdeki değeri Şekil 11.22.'de görülmektedir.



Şekil 11.22. Kontratın çalışması sonrasında süreçle ilgili bilgiler

Şekil 11.23. incelendiği takdirde bölümde yer alan decimals, name, symbol, totalsupply butonlarına bastığımızda da daha önceden kod olarak girişi yapılan değerler görülmektedir.

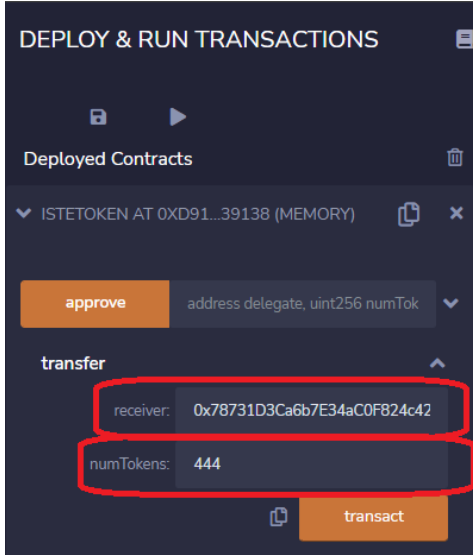


Şekil 11.23. Kontrat için “Decimals”, “Name”, “Symbol”, “Totalsupply” değerlerinin girilmesi

Transfer bölümüne tıklandığında receiver ve numTokens bilgileri görülmektedir. Receiver bölümüne transfer edilecek adres girilmelidir. numTokens bölümüne de ne kadar token transfer edileceğini girilerek transact işlemi başlatılmalıdır. Tokenlar account bölümünde

yer alan adresten alınmaktadır. Tüm işlem detayları ilgili kodun altında yer bilgi ekranından kolaylıkla takip edilebilmektedir.

Şekil 11.24.'de ilgili bilgiler girilerek tranact e basılmaktadır.



Şekil 11.24. Kontrat için “Decimals”, “Name”, “Symbol”, “Totalsupply” bölümlerine değer atanması

Transaction işleminin gerçekleşmesi ve maden işlemi (mine) yapılarak işleminin başarılı şekilde tamamlanması durumunda ilgili detaylar rapor bölümünden kontrol edilebilmektedir. Detaylar loguna ait bilgiler Şekil 11.25.’teki gibidir.



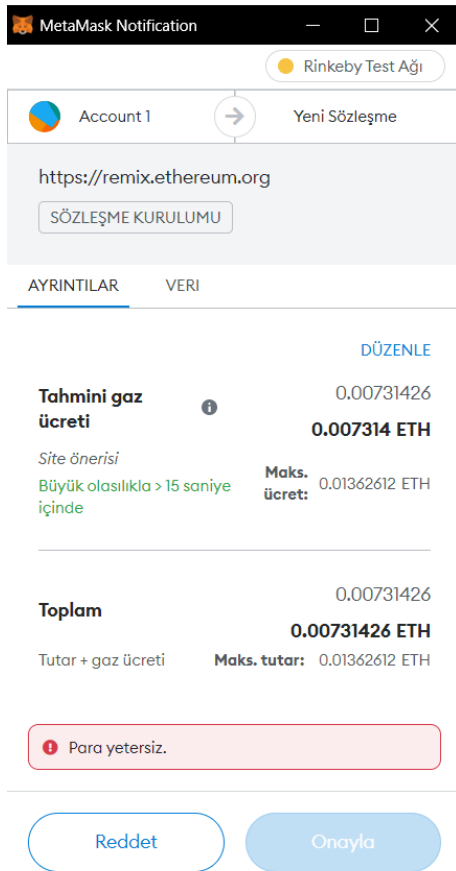
Şekil 11.25. Kontratın çalışması sonucu yapılan token transferine ait bilgiler

Şekil 11.25. incelendiğin takdirde de yapılan işlemin; “0” olarak tanımlanmış adresten; “1” olarak tanımlanmış adrese; “2” olarak tanımlanmış 444 adet ISTEToken transfer edildiği kolaylıkla görülmektedir. Tüm gönderme işlemlerinde; işlemin yapılması için gerekli gas işlemi yapan tarafından karşılanmaktadır.

11.4. Akıllı Sözleşmelerde MetaMask'ın Kullanımı

Akıllı sözleşmelerle ilgili olarak işlemlerin; Injected Web3 ortamına geçişte Ethereum'un kendi ağı(network) kullanılmaktadır.

Oluşturduğumuz akıllı sözleşmeyi için Rinkeby(4) ağı seçilmiştir. Bu seçimle beraber otomatik olarak daha önceden aktif olarak kullandığımız Metamask hesabımızda geçiş yapmaktadır.



Şekil 11.26. “MetaMask” cüzdanında yapılan işlem ve bu işleme ait tahmini Gas ücreti

Şekil 11.26.'da de görülen açılan pencere “MetaMask”ın ödeme penceresidir. Akıllı sözleşmeyle etkileşim kuran kişi ürünü aldığı anda ya da ürün için bir ödeme yaptığı anda bu ekranla karşılaşacaktır. Diğer bir adıyla da bu pencerede bir nevi dijital imzalama işlemi gerçekleşmektedir. MetaMask arayüzünü incelediğimizde görmüş olduğumuz tahmini gas ücreti değeri oluşturduğumuz akıllı sözleşmenin seçilen ağ üzerinde çalışması için gerekli olan gas bilgisini göstermektedir.

Akıllı sözleşme için belirlenmiş olan gas bedeli ödendiği takdirde sistem test ağına gitmektedir. Test ağına madenciler gerekli işlemleri yapılarak kontrat sisteme aktarılmaktadır. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi bu işlem test ağı üzerinde gerçekleştirilmektedir. Test ağı üzerinde gerçek verilerin madenciliği yapılarak onaylanmıştır. İşlem test ağı üzerinde yapıldığı için yetki belgesi (proof of authority) madenciliği otoriteler tarafından yapılmaktadır.

11.5. Akıllı Sözleşmelerin Belirlenmiş Olan Ağda Çalışması

Akıllı sözleşmenin oluşturulması, gerekli kontrollerin yapılması ve akıllı sözleşmenin belirlenmiş olan ağda çalışması için gerekli olan gas işlemi ödendiği takdirde akıllı sözleşme çalışır duruma geçmektedir. Üzerinde çalıştığımız akıllı sözleşme blokzincir tabanında yazılmıştır ve üzerinde çalıştığımız blokzincir açık(umumi) tiptedir. Bundan dolayı yapılan tüm işlemler istenildiği takdirde kolayla görülebilmektedir.

İlgili işlem detaylarına ait bilgiler etherscan.io adresi üzerinden görülmektedir. Bizim sözleşmemiz Rinkeby ağı üzerinde çalıştığı için işlem detaylarını görmek için <https://rinkeby.etherscan.io> adresinin kullanılması gerekmektedir.

MetaMask'taki hesap bilgileri <https://rinkeby.etherscan.io> adresinde arattıktan sonra Şekil 11.26.'da görülen ekranda bilgiler yer almaktadır. Hazırladığımız akıllı sözleşme MetaMask hesabımızda yeterli miktarda ethereum bulunmadığı için rinkeby ağına atılamadı. Bu durum Şekil 11.27.'de ki işlemler(transactions) bölümünde yer alan alan "there are no matching entities" yani "eşleşen varlık yok" ibaresinden de kolaylıkla anlaşılabilir.

Eğer işlemin yapıldığı MetaMask hesabında yeterli miktarda Ethereum diğer bir adıyla gas olsaydı sözleşme rinkeby ağına geçecekti ve MetaMask hesabı üzerinden yapılan bir işlemlerin kaydı olarak <https://rinkeby.etherscan.io> adresinden kolaylıkla görülebilecekti. Ve bu işlemlerin detaylarına tıkladığında oluşturulan akıllı sözleşmeye ait byte kodları, assembly kodları, sözleşmenin kaç adreste bulunduğu, kaç kişi tarafından kullanıldığı, ne kadar miktarda işlem gerçekleştirildiğiyle gibi bilgilere erişilmeye olanak sağlamaktadır.

The screenshot displays the Etherscan interface for the Rinkeby Testnet Network. At the top, the Etherscan logo and network name are visible. A search bar is present with the text "Search by Address / Txn Hash / Block / Token / Ens". Below the search bar, the address "0x7C3Aa8359E2581642fd05b8cdBa78f2E103c33f0" is highlighted with a red box. The "Overview" section shows a balance of "0 Ether" and "Ether Değeri". The "More Info" section shows "My Name Tag: Not Available". The "Transactions" section is empty, with a message "There are no matching entries" highlighted in a yellow box. A footer note explains that a wallet address is publicly available and requires a private key for access.

Etherscan
Rinkeby Testnet Network
Ethereum Adresi
Home Blockchain Tokens Misc
Address 0x7C3Aa8359E2581642fd05b8cdBa78f2E103c33f0
Overview
Balance: 0 Ether Ether Değeri
More Info
My Name Tag: Not Available
Transactions
Txn Hash Method Block Age From To Value Txn Fee
There are no matching entries
Yapılan İşlemleri Listesi
A wallet address is a publicly available address that allows its owner to receive funds from another party. To access the funds in an address, you must have its private key. Learn more about addresses in our Knowledge Base.

Şekil 11.27. rinkeby.etherscan.io adresi üzerinden “MetaMask” a tanımlanan adresin incelenmesi

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda artan dijitalleşme trendleri tüm sektörlerde olduğu gibi enerji sektöründe de etkisini göstermektedir. Yakın gelecekte “Sürdürülebilirlik”, “Karbon Ayak İzinin Azaltılması”, “Daha Yeşil Bir Dünya”, “İklim Değişikliği” gibi kavramların hemen hemen tüm sektörlerde büyük değişiklikler yapılmasına mecbur bırakılmaktadır. Bu kavramlarında etkisiyle dünya genelinde her geçen gün artan enerji ihtiyaçlarının fosil yakıtlardan ziyade yenilebilir enerji kaynakları tarafından karşılanması amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarındaki artışın bir sonucu olarak da geleneksel şebekenin akıllı şebekelere dönüşümü hızlanarak devam etmektedir.

Gerek Türkiye de gerekse de dünya genelinde kağıt kullanımının azaltılması yönünde atılan adımlarla ıslak imzalı belgeler yerini e-imzalı belgelere, kağıt faturalarda yerini e-faturalara bırakmaya başlamıştır. Bu gelişmelerin enerji sektöründe de çeşitli değişimlere neden olması beklenmektedir.

Ülkemizde henüz yaygın şekilde kullanılmaya başlanmamış olsa da elektrikli araçların gerek G2V gerekse V2G durumları gerekse de enerji depolama sistemleri üzerinden yapılacak enerji transferleri ve fiyatlandırması için yeni çözülmesi gereken sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Küçük kapasitedeki üreticilerin aynı zamanda tüketici pozisyonuna geçerek gerek şebekeye gerekse de şebekeden bağımsız şekilde enerji satışı yapma durumunda bu transferlerde oluşacak satış işlemine süreçlerinin gerçekleşmesi için de yeni çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Aynı zamanda mevcut elektrik sistemimizde dağıtım şirketleri üzerinden tüketicilerin çözüm için kağıt kullanmak ve bazı işlemler için uzun süre beklemek zorunda kaldıkları; abonelik talebi, abonelik iptali, abonelik taşıma, fatura işlemleri, fatura ödeme, sözleşmeler, arıza kaydı, enerji ticareti işlemlerinin hızlandırılması için çeşitli çözümler üzerine çalışılmaktadır.

Bu tezde yapılan çalışma ve araştırmalar neticesinde akıllı şebekelere olan dönüşümle ortaya çıkan ve bahsi geçen tüm sorunların çözümü yaratılacak çözümler için blokzincir tabanlı teknolojilerin tüm ihtiyaçları karşılar bir yapıda olduğu anlaşılmıştır.

Enerji ticaretinin yapıldığı bir elektrik sisteminde yapılacak her işlemin karşısındaki blokzincir teknolojisi için aşağıdaki tabloda dikkate alındığı takdirde amaçlanan tüm hedeflere kolaylıkla ulaşılabilecektir.

Çizelge 12.1. Akıllı şebekelerle yapılacak işlemler ve kullanılacak blokzincir teknolojisi

İşlem	Kullanılacak Blokzincir Teknolojisi
Abonelik Talebi	E-İmza, Akıllı Sözleşme
Abonelik İptali	E-İmza, Akıllı Sözleşme
Abonelik Taşıma	E-İmza
Fatura İşlemleri	Akıllı Sözleşme Üzerinden Token'la Ödeme
Sözleşmeler	Akıllı Sözleşme
Arıza Kaydı	E-İmza
Enerji Ticareti	E-İmza, Akıllı Sözleşme, Token

Enerji sektöründe ticaretin arttığı ve çok yönlü olduğu bir sistemde veri trafiğinin gerek yönetilmesi gerekse de ilgili verilerin saklanması açısından blokzincir teknolojisinin çalışma mantığının üzerine kurulduğu peer-to-peer(P2P) altyapısının kullanımının verilerin gerek depolanmasında gerekse de işlenmesi süreçlerinde gerek veri kaybı riskini ortadan kaldırılması, verilerin değiştirilmesi, çalınması ve siber saldırılarda zarar görmemesinin amaçlandığı tüm durumlarda P2P altyapısı ve blokzincir kullanımının en doğru tercihlerden biri olduğu tespit edilmiştir.

Genellikle dünya genelinde yeni teknolojilerin kullanımına geçişte; özellikle son dönemlerde karbon ayak izinin azaltılması ve yeşil mutabakata uygun teknolojilere sağlanan teşvik ve destek kredileri konusunda sağlanan kolaylık açısından da baktığımızda yakın gelecekte akıllı şebeke sistemlerine yönelimin hızlandığını gözlemlemek mümkündür. Aynı zamanda bahsi geçen teşvik ve destek kredilerinin yeni bir teknoloji olan blokzincir teknolojisi çalışmaları için desteklenme ihtimali göz önüne alındığında da gerek akıllı şebekeler için gerekse de akıllı şebekelerde blokzincir teknolojisinin kullanımını açısından gelişime açıktır.

Covid-19 pandemisi gibi insanların sokağa dahi çıkma zorluğu yaşadığı, virüsün kağıtlar ve fiziksel temasla yayılabildiği durumlarda çalışan tüm sistemlerde süreçlerin aksamaması için

kritik işlemlerin uzaktan ya da kendi kendine işleyebilen şekilde dizayn edilmesinin bir ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır. Pandemi sürecinde dağıtım şirketlerinin de belirli bir süre kapalı kaldığını dikkate alındığı takdirde özellikle abone işlemleri süreci dahilinde olan tüm işlemlerin uzaktan yapılabilmesi akıllı sözleşmelerle mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda ilerleyen süreçte bireysel küçük güçteki tüketicilerin de aynı zamanda üretici olabileceği durumları da göz önüne aldığımız takdirde; olası bir Covid-19 pandemisi gibi durumlarda insanların evlerinden çıkmadan tüm işlemleri sorunsuz şekilde yapılabilmesine olanak sağlanmaktadır.

Enerji transferi sürecinde akıllı sözleşmelerin kullanılması durumu göz önüne alındığında enerji transferinin başlaması için ön koşul olarak her ne kadar akıllı sözleşme kullanımı yeterli gibi işlemin düzgün tamamlanması için enerji ölçüm cihazı (akıllı sayaç, analizör) ve uygun bir anahtarlama elemanının olduğu bir üniteye ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı sözleşme, anahtarlama ekipmanı ve ölçüm ekipmanının bir arada olduğu kompakt bir birimin yazılım ve belki de yapay zekayla desteklenmesi durumunda yapılacak olan tüm enerji transfer süreçleri kolay ve doğru şekilde tamamlanabilecektir.

Hazırlanmış akıllı sözleşmeler değiştirilemez bir yapıya sahip olduğu için kullanıcıların kendi sözleşmelerini oluşturarak kullanmak istemeleri yazılım ve programlama geçmiş olmayan kişiler için her zaman risk teşkil etmektedir. Çalışmayan ya da ihtiyaçları tam olarak karşılamayan bir akıllı sözleşmenin oluşturulması hem zaman kaybına hem de maddi bir kayıplara neden olmaktadır.

Akıllı sözleşmelerin oluşturulması ve çalışması süreci için ihtiyaç duyulan maliyetlerle ilgili bazı çalışmalar tespit edilse de özellikle sözleşmenin oluşturulma maliyetleri konusunda günümüz piyasasında net bir bedel belirlemek mümkün değildir. Daha önceden belirlenmiş koşullarda oluşturulacak akıllı sözleşmelerin oluşturma maliyetleri için farklı şirketlerden aralarında çok farklı fiyatlar alınabilmektedir. Sözleşmenin çalışma maliyetlerinde ise böyle büyük fiyatsal uçurumların olması söz konusu değildir.

Özet olarak; elektrik ticaretinin gerçekleştiği tüm durumlarda blokzincir teknolojisi tabanlı çözümlerle “Sürdürülebilirlik”, “Karbon Ayak İzinin Azaltılması”, “Daha Yeşil ve Yaşanabilir Bir Dünya” kavramlarına pozitif yönde katkı sağlanabilmektedir. Aynı zamanda oluşabilecek teşvik ve destek ödemeleri noktasında yeni bir teknoloji olduğu için bir takım avantajlar sağlanması da beklenmektedir. Tüm bunların yanında elektrik enerjisi ihtiyacındaki artış ve bununla beraber elektrik şebeke sistemindeki değişim sonucu ortaya

ıkan yeni ihtiyaçları karşılama noktasında en büyük avantaj sağlayan teknoloji blokzincir teknolojisidir. Mevcutta bir elektrik abonesinin abonelik başlangıcından abonelik sonlandırma sürecine kadar yapacağı işlerin tamamı blokzincir tabanlı olarak e-imza ve akıllı sözleşmeler aracılığıyla hızlı, güvenli, sürdürülebilir şekilde yapılabilir.



KAYNAKLAR

1. Mollah M. B., Zhao J., Niyato D., Lam K., Zhang X., Ghias A. M.Y.M., Koh L.H., and Yang L. (2021). Blockchain for Future Smart Grid: A Comprehensive Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(1), 18-43.
2. Kırmızıoğlu, E. (2014). Ülkemizin 2023 Stratejik Vizyonu Doğrultusunda Akıllı Şebekeye Geçilmesi İçin Öneriler. *Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı*, 143-147.
3. İnternet: Electric Power Research Institute Smart Grid Resource Center, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsmartgrid.epri.com%2Fdat e=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi:10.05.2021.
4. Shahinzadeh H., Moradi J., Gharehpetian G. B., Nafisi H., Abedi M. (2019). Internet of Energy (IoE) in Smart Power Systems. *5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI)*, 627-636.
5. EPDK, ELDER (2022). Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Raporu, 18-19.
6. Fang X., Misra S., Xue G. ve Yang D. (2012). Smart grid - The new and improved power grid: A survey. *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 14(4), 944– 980.
7. Vagoun T. (2020). Grand Challenges for Embedded Security Research In A Connected World – Computing Community Consortium (CCC) Visioning Workshop Report. *NIST Computer Security Resource Center(CSRC) - Information Security And Privacy Advisory Board Meeting Report*, 85(181), 4-14.
8. National Institute of Standards and Technology (2014). Smart Grid Cybersecurity Strategy, Architecture, and High-Level Requirements Guidelines for Smart Grid Cybersecurity. *Guidelines for Smart Grid Cybersecutriy*, 1, 15-16.
9. National Institute of Standards and Technology – The Smart Gird Interoperability Panel – Cyber Securitiy Working Group(2010). Smart Grid Cybersecurity Strategy, Architecture, and High-Level RequirementsGuidelines for Smart Grid Cybersecurity, *Guidelines for Smart Grid Cybersecutriy*, 1, 230-231.
10. Yu W. (2013). False Data Injection Attacks in Smart Grid: Challenges and Solutions. *NIST Cyber Security for CPS Workshop*, 1-51.
11. Xu G., Yu W., Griffith D., Golmie N., Moulema P. (2017). Towards Integrating Distributed Energy Resources and Storage Devices in Smart Grid. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 192-204.
12. Momoh J. (2021). Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis (First Edition). USA: Wiley-IEEE Press, 38.
13. Santos G., Pina J. M., Belem R. (2022). B2G (Buggy-to-Grid): Vehicle-to-Grid (V2G) concept in microgrids with strong penetration of electric vehicles. *International Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, 106-111.

14. Karaman B., Taşkın S., Tokay M. (2021). Gerçek Zamanlı Enerji İzleme ve Tüketici Farkındalığı için LabVIEW™ Programı ile Otomatik Sayaç Okuma. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(2), 225 – 232.
15. Ata O., Uçar E., Hasan B. (2016). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kullanılan Teknoloji Ve Protokoller Üzerine Bir İnceleme. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi (İAÜD)*, 3(12), 51 – 68.
16. Al-Anbagi I., Rezaeimoghaddam P. (2023). Trust-Aware Virtual Network Embedding in Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, 23(6), 6326-6337.
17. Phadke A.G. (1993). Synchronized phasor measurements in power systems. *IEEE Computer Applications in Power*. 6(2), 10–15.
18. İnternet: Nakamoto S. (2019). Bitcoin: A Peer-To-Peer Electronic Cash System, URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, Son Erişim Tarihi: 11.01.2022.
19. Turhan G. (2021). Güncel Akademik Araştırmalar: Sosyal Bilimlere Yönelik Stratejik Bakış Açısı. *Blockchain ve Seçim Güvenliği*, Türkiye: Hiperyayın: 231, 75.
20. Şahin, E. Ensari (2019). Kripto Para Bitcoin: Arıma ve Yapay Sinir Ağları ile Fiyat Tahmini,. *Fiscaoeconomia 2018*, 2(2), 74-92.
21. Haber S., Stornetta Scott W. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3, 99–111.
22. İnternet: Finney H. (2004). Reusable proofs of work (rpow), URL: <https://nakamotoinstitute.org/finney/rpow/index.html>, Son Erişim Tarihi: 13.09.2021
23. Rivest R.L., Shamir A., & Adleman L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 21(2), 120-126.
24. Rahmadika S., Rhee K. (2018). Blockchain technology for providing an architecture model of decentralized personal health information. *International Journal of Engineering Business Management*, 10, 1-12.
25. İnternet: Concept of Blockchain, URL: <https://blockgen.co.za/blockchain/>, Son Erişim Tarihi: 14.09.2021.
26. İnternet: Peer-to-peer nedir?, URL: <https://tr.cointelegraph.com/news/what-is-peer-to-peer-p2p-and-how-does-bitcoin-p2p-network-protocol-work>, Son Erişim Tarihi: 11.01.2022.
27. Zhuyum Q., Zhang Y., Wang Y., Wu Y. (2018). Cascade Structure for Blockchain; Proceedings of 2018, *1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*, 252-253.
28. Hamouda M. R., Nassar M. E., Salama M. M. A. (2020). A Novel Energy Trading Framework Using Adapted Blockchain Technology. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(3), 2165 – 2175.

29. Usta A., Doğantekin S. (2019). Blockchain 101 (Versiyon 2). Türkiye: Bankalar Arası Kart Merkezi Yayınevi, 121.
30. İnternet: E. Ünal, (2018). Bitcoin ve Blockchain nedir? Nasıl Çalışır?, URL: <https://Medium.Com/@Enginunal/Bitcoin-Ve-Blockchain-Nedir-Nasıl-Çalışır-78d5c9e28095>, Son Erişim Tarihi: 05.11.2021.
31. Dener, C. Watkins, J. A. William Leslie Dorotinsky (2011). Financial Management Information Systems: 25 Years of World Bank Experience on What Works and What Dosen't (World Bank Study); USA: World Bank, 110.
32. İnternet: Digital Signature Cybersecurity, URL: <https://www.acquireforensics.com/blog/digital-signature-cybersecurity.html>, Son Erişim Tarihi: 07.05.2022
33. İnternet: Altılı E. (2019). Cryptography, Encryption, Hash Functions and Digital Signature. URL:<https://medium.datadriveninvestor.com/cryptography-encryption-hash-functions-and-digital-signature-101-298a03eb9462>, Son Erişim Tarihi: 06.02.2022
34. Zibin Z., Shaoan X., Hongning D., Xiangping C., And Huaim W. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. *2017 International Congress On Big Data* (Big Data Coongress), 557-564.
35. İnternet: The Worldwide Blockchain Supply Chain Industry is Expected to Reach \$3+ Billion by 2026, URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20210316005759/en/TheWorldwide-Blockchain-Supply-Chain-Industry-is-Expected-to-Reach-3-Billion-by-2026---ResearchAndMarkets.com>, Son Erişim Tarihi: 10.09.2022
36. Wegrzyn K. E., Wang E. (2021). Types of Blockchain: Public, Private, or Something in Between. *Innovative Technology Insights*. URL: <https://www.foley.com/en/insights/publications/2021/08/types-of-blockchain-public-private-between>, Son Erişim Tarihi: 11.09.2022
37. Turhan G. (2019). Blockchain ve Seçim Güvenliği. *Güncel Akademik Araştırmalar: Sosyal Bilimlere Yönelik Stratejik Bakış Açısı*. Türkiye: Hiper Yayınevi, 73-75.
38. İnternet: <http://www.forbes.com/sites/investopedia/2013/08/01/How-BitcoinWorks>, Son Erişim Tarihi: 05.09.2021
39. Andreas M., Antonopoulos M. (2017). Mastering Bitcoin: Programming The Open Blockchain. USA: O'Reilly Media.
40. Triantafyllidis N. P. (2016). Developing An Ethereum Blockchain Application Research Project 2. *University of Amsterdam System & Network Engineering*, 128-135.
41. İnternet: Ethereum.Gitbooks.io(2019). What is Ethereum? Ethereum Frontier Guide,URL:<https://ethereum.gitbooks.io/frontier-guide/content/ethereum.html>, Son Erişim Tarihi: 09.09.2021.
42. Pustişeka M., Kos A. (2018). Approaches to Front-End IOT Application Development for the Ethereum Blockchain. *International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things*, 129, 410-419.

43. İnternet: Slock It, URL: <http://slock.it>, Son Erişim Tarihi: 23.02.2021 .
44. Macintosh A, Wilkinson D. (2021). The Australian Government’s solar PV rebate program; An evaluation of its cost-effectiveness and fairness. *Energy Policy*, 39, 6.
45. PwC (2016). Blockchain-An Opportunity for Energy Producers and Consumers?, USA: *PwC global power & utilities*, 1-3.
46. İnternet: European Commission, Strategy and Policy, Green Deal, URL: <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019>, Son Erişim Tarihi: 14.02.2022.
47. İnternet: Brookly Enerji Projesi, URL: <https://www.brooklyn.energy>, Son Erişim Tarihi: 16.11.2021.
48. İnternet: Solarcoin Projesi, URL: <https://solarcoin.org/>, Son Erişim Tarihi: 16.11.2021
49. İnternet: HivePower Projesi, URL: <https://www.hivepower.tech/>, Son Erişim Tarihi: 16.11.2021.
50. İnternet: Postive Blockchain Projesi, URL: <https://postiveblockchain.io/database/swytch>, Son Erişim Tarihi: 16.11.2021.
51. İnternet: Bittwatt Projesi, URL: <https://bittwatt.com/>, Son Erişim Tarihi: 18.11.2021.
52. İnternet: Hydrocoin Projesi, URL: <https://hydrocoin.org/>, Son Erişim Tarihi: 17.11.2021.
53. İnternet: Grid Plus, URL: <https://gridplus.io/>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2021.
54. U.S. Department of Energy (2003). Grid 2030: A national vision for electricity’s second 100 years. USA: Department of Energy Technical Report, 5.
55. Wissner M. (2011). The Smart Grid – A Saucerful of Secrets. *Applied Energy*, 88(7), 2509–2518.
56. Moretti M., Njakou Djomo S., Azadi H., May K., Vos K. De, Van Passel S., Witters N. (2018). A systematic review of environmental and economic impacts of smart grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(2), 888-898.
57. Dragan S., Markovic, Zivkovic D., Branovic I., Popovic R., Cvetkovic D. (2020). Smart Power Grid and Cloud Computing, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 566-577.
58. Shen C., Pena-Mora F. (2019). Blockchain for Cities - A Systematic Literature Review, *IEEE Access*, 6, 76787-76819.
59. Garg S., Kaur K., Kaddoum G., Gagnon F., Rodrigues J. J. P. C (2019). An Efficient Blockchain-based Hierarchical Authentication Mechanism for Energy Trading in V2G Environment. *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, 1-6.

60. Samad T., Annaswamy A. M. (2017). Controls for smart grids: Architectures and applications, *Proceedings of the IEEE*, 105(11), 2244-2261.
61. Danzi P., Angelichinoski M., Stefanović Č., and Popovski P. (2017). Distributed proportional-fairness control in microgrids via blockchain smart contracts. *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 45–51.
62. Münsing E., Mather J., Moura S. (2018). Blockchains for decentralized optimization of energy resources in microgrid networks. *IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, 2164-2171.
63. Mo Y., Kim T. H.-J., Brancik K., Dickinson D., Lee H., Perrig A., and Sinopoli B. (2011). Cyber-physical security of a smart grid infrastructure. *Proceedings of the IEEE*, 100(1), 195-209.
64. Zhou Y., Fu X., Sun H., Guo Q., Li G., Zhang X. (2020). Prospects for Energy Internet of-Agricultural Engineering in China. *IEEE 3rd Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 1807-1811.
65. Wang J., Wang Q., Zhou N., and Chi Y. (2017). A Novel Electricity Transaction Mode of Microgrids Based on Blockchain and Continuous Double Auction. *Energies* 2017, 1-5.
66. Arjomand N., Sami Ullah H., Aslam S. (2020). A Review of Blockchain-based Smart Grid: Applications, Opportunities, and Future Directions, *Arvix*, 2, 1-12.
67. Makhdoom I., Zhou I., Abolhasan M., Lipman J.,W. Privysharing Ni (2020). PrivySharing: A blockchainbased framework for privacy-preserving and secure data sharing in smart cities. *Computers & Security*, 88, 1-33.
68. Kuzlu M. & Sarp S., Pipattanasomporn M., Cali U. (2020). Realizing the Potential of Blockchain Technology in Smart Grip Applications. *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 1-5.
69. Benos E., Garratt R., Perez P.G. (2017). The economics of distributed ledger technology for securities settlement. *Bank of England Working Papers*, 4(2019), 121-156.
70. Cali U., Çakir O. (2019). Energy Policy Instruments for Distributed Ledger, Technology Empowered Peer-to-Peer Local Energy Markets. *IEEE, Access*, 7, 82888-82900.
71. İnternet: Wepower Projesi. URL: <https://wepower.network>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2023
72. Power L. (2023). Whitepaper. USA: Power Ledger, 16-17.

73. İnternet: LO3 Enerji Projesi, Proje Detayları. URL: <https://lo3energy.com/>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2023
74. İnternet: Sonnen's virtual battery takes part in DA/RE digital platform provided by Transnet BW and Netze BW. URL: <https://sonnengroup.com/sonnenbatterie-baden-wuerttemberg-scheme-transnetbw-and-netze-bw>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2023.
75. İnternet: Piclo Trial Report, Proje Detayları. URL: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ou-publications/piclo-trial-report.pdf>., Son Erişim Tarihi: 01.02.2023.
76. İnternet: Sun Exchange, Proje Detayları. URL: <https://thesunexchange.com/>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2023.
77. İnternet: Bankymoon Projesi, Proje Detayları. URL: <http://bankymoon.co.za>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2023.
78. Yang X., Wang G., He H., Lu J., Zhang Y. (2020). Automated demand response framework in ELNs: Decentralized scheduling and smart contract. *IEEE Trans Syst, Man, Cybern: Syst*, 50(1), 58–72.
79. Walport M. (2016). Distributed ledger technology: Beyond blockchain, Vol. 1. United Kingdom: Government Office for Science, 56.
80. Jabbar A., Dani S. (2020). Investigating the link between transaction and computational costs in a blockchain environment. *International Journal of Production Research*, 58(11), 3423–3436.
81. İnternet: Ethereum Gas Station. URL: <https://ethgasstation.info/>, Son Erişim Tarihi: 11.09.2021
82. Danielius P., Stolarski P., Masteika S. (2021). Vulnerabilities and excess gas consumption analysis within ethereum-based smart contracts for electricity market. *Lecture Notes In Business Information Processing*, 394, 99–110.
83. Kirli D., Couraud B., Robu V., Salgado-Bravo M., Norbu S., Andoni M., Antonopoulos I., Negrete-Pincetic M., Flynn D., Kiprakis A. (2022). Smart contracts in energy systems: A systematic review of fundamental approaches and implementations. *Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158(1), 112013.
84. Zhang H., Jin C., Cui H. (2019). A Method to Predict The Performance And Storage of Executing Contract for Ethereum Consortium-Blockchain. *Blockchain – ICBC 2018: First International Conference*, 63–74.

85. Gai K., Wu Y., Zhu L., Xu L., Zhang Y. (2019). Permissioned blockchain and edge computing empowered privacy-preserving smart grid networks. *IEEE Internet Things*, 6(5), 7992–8004.
86. Miglani A., Kumar N., Chamola V., Zeadally S. (2020). Blockchain for Internet of Energy Management: Review, solutions, and challenges. *Computer Communications*, 151, 395–418.
87. Pieroni A., Scarpato N., Nunzio L. D., Fallucchi F., Raso M. (2020). Smarter City: Smart Energy Grid based on Blockchain Technology. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 8(1), 298.
88. Vogelsteller F., Buterin V. (2015). Eip 20: ERC-20 Token Standardi *Ethereum Improvement*, URL: <https://github.com/ethereum/EIPs/blob/master/EIPS/eip-20.md>,
Son Erişim Tarihi: 28.07.2018

DİZİN

A

Ağ Yapısı · 25
Altyapı · 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11,
66, 67, 73, 85, 88, 104

B

Bağlantı · 25, 27, 29, 66, 67
Buterin · 88

D

DDOS · 50, 51
DOS · 67
Dosya · 28, 50
DRM · 19
Dijital İmza · 38, 39, 48, 69, 101

E

Enerji İnterneti · 68
Emniyet · 67
Ethereum · 1, 2, 45, 48, 49, 50,
51, 59, 63, 78, 79, 81, 82, 83,
87, 88, 90, 101, 102, 105

F

Fayda · 13, 18, 19, 20, 26, 44, 52,
61, 62, 65

G

Gaz · 49, 50, 78, 80, 81, 83, 100,
101, 102
Geleneksel · 1, 3, 7, 12, 13, 14,
74, 83

H

Hash · 28, 29, 34, 35, 42, 49

I-İ

IEEE · 6
IoT · 7

K

Karbon · 1, 3, 19, 60, 62, 67, 73
Kablosuz · 15, 16, 17, 81
Kripto · 1, 22, 48, 70, 82, 86, 88,
105

M

MetaMask · 91, 101, 102, 103
Merkezi · 8, 13, 15, 17, 23, 25,
26, 27, 31, 39, 41, 44, 46, 48,
51, 64, 68, 69, 70, 76
Müdahale · 7, 23, 29, 52

N

Nakamoto · 22, 45

O

Otomatik · 7, 9, 15, 50, 51, 59,
65, 76, 77, 81, 93, 101

P

Peer-to-peer · 31, 66,
Proje · 1, 7, 49, 51, 62, 74, 75,
101
Program · 48, 49, 50, ,87

R

Referans · 29, 35, 36, 37, 38, 41

S

Sabit · 12, 14, 28, 40
Satoshi · 22,
Siber · 21, 67, 70, 80

T

Tedarik · 12, 53, 54, 64, 70, 79
Token · 5, 24, 88, 89, 93, 95, 99,
100
Tüketici · 1, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13,
14, 15, 19, 52, 53, 54, 55, 56,
58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66,
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75,
82

U

Uygun · 11, 19, 22, 33, 47, 48, 49,
68, 71, 72, 79, 83, 101

V

Vehicle · 68
Vitalik · 88

Y

Yenilenebilir · 1, 7, 9, 12, 13, 14,
58, 59, 60, 62, 64, 65, 68, 69,
70, 72, 73, 75, 104



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

