

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI EV CİHAZLARININ DİJİTAL İKİZLERİ ÜZERİNDEN SOSYAL VE
BİLİŞSEL BECERİLER KAZANARAK LİBERALLEŞMESİ İÇİN SİS BİLİŞİM
VE DAĞITIK HESAP DEFTERİ TEKNOLOJİSİ TABANLI BİR MİMARİ
TASARIM**

DOKTORA TEZİ

Cankal ALTUN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

TEMMUZ 2020

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 121217708 numaralı Doktora Öğrencisi **Cankal ALTUN**'un ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AKILLI EV CİHAZLARININ DİJİTAL İKİZLERİ ÜZERİNDEN SOSYAL VE BİLİŞSEL BECERİLER KAZANARAK LİBERALLEŞMESİ İÇİN SİS BİLİŞİM VE DAĞITIK HESAP DEFTERİ TEKNOLOJİSİ TABANLI BİR MİMARİ TASARIM**” başlıklı tezi **20, Temmuz, 2020** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Bülent TAVLI**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Tolga GİRİCİ (Başkan)**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Tansel ÖZYER
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan DAĞDEVİREN
Ege Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayhan AKBAŞ
Çankırı Karatekin Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Cankal ALTUN

ÖZET

Doktora Tezi

AKILLI EV CİHAZLARININ DİJİTAL İKİZLERİ ÜZERİNDEN SOSYAL VE
BİLİŞSEL BECERİLER KAZANARAK LİBERALLEŞMESİ İÇİN SİS BİLİŞİM
VE DAĞITIK HESAP DEFTERİ TEKNOLOJİSİ TABANLI BİR MİMARİ

TASARIM

Cankal Altun

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent Tavlı

Tarih: Temmuz 2020

Nesnelerin İnterneti (IoT) ekosisteminin belki de insan hayatının en içindeki uygulama alanı olan Akıllı Ev ve akıllı ev tipi cihazları, tüketiciler nezdinde, tüketicilerin bütün iyimser beklentilerine rağmen hayatlarına uyarlamakta tereddüt ettikleri teknolojiler olarak buldukları emekleme dönemi içinde bocalamasını sürdürmektedir. Bu bocalamanın nedenlerini anlamak üzere derlenen araştırmalar, özel hayatın gizliliğine dair duyulan kaygıları, insan-merkezli yaklaşımın yoksunluğunu, Bilgi'nin özgürlüğünün kısıtlanması ile gerçek değerinin altında kullanılmasını, siber güvenlik ile ilgili endişeleri ve de IoT ve beraber çalıştığı teknolojilerin henüz gerçek potansiyeline ulaşamamış olmasını, tüketicilerin evlerinde IoT çözümlerini kullanmakta yaşadıkları tereddütlerin altında yatan temel sebepler olarak ortaya koymaktadır. Bunların yanında, IoT'nin hali hazırda başa çıkmaya çalıştığı kaynak fakirliği, ölçeklenebilirlik, servis kalitesi, mobilite, heterojenlik, beraber-çalışabilirlik, siber güvenlik, gizlilik ve yenilikçilik gibi zorluklar da hem bu tereddütleri körüklemekte hem de bu tereddütlerin giderilmesini daha mücadeleci bir noktaya

taşımaktadır. Akıllı Ev teknolojilerini tüketiciler için çekici hâle getirmek, bahsi geçen zorlukların belirli bir seviyede de olsa hafifletilmesi ve bahsi geçen tereddütlerin giderilmesi yanında, Akıllı Cihazların, insanların İnternet'e olan yaklaşımında ve ilişkilerinde çığır açan Sosyal Medya uygulamalarındaki ilişkilerine benzer sosyal ilişkiler kurarak ve de öğrenme, kavrama, gerektiğinde karar verme gibi bilişsel yeteneklerle donatılarak, insanların ev ortamındaki konforlarını ve yaşam kalitelerini yükseltmek üzere hayatlarına ve karar süreçlerine sezgisel ve pürüzsüz bir biçimde dahil olup, gerçek anlamda katma değer katabilen uygulamaları desteklemeleri ile mümkün görünmektedir. İşte bu tez çalışması, son dönemde stratejik önem arz eden Dijital İkiz (DT), Dağıtık Hesap Defteri Teknolojileri (DLT) ve Sis Bilişim paradigmasının IoT'nin zorluklarına getirdikleri çözüm potansiyelini kullanmak adına, Akıllı Ev ortamındaki akıllı ev tipi cihazlarının dijital ikizlerini, Sis Bilişim'in bir elemanı olan Akıllı Ev ağ geçidine yerleştiren ve bu Dijital İkizlerin Dağıtık Hesap Defteri Teknolojilerine katılımıyla Sosyal ve Bilişsel Nesnelerin İnterneti uygulamalarına imkân veren özgün bir model önermektedir. Önerilen model, kendisi için belirlenen çift yönlü ve güvenli Akıllı Cihaz – Dijital İkiz bağlaşımı, Dijital Kuklaların engellenmesi, Akıllı Cihaz sahibinin mutlak mülkiyet haklarını kullanması ve Dijital İkizlerin liberalleşmesi gereksinimlerini karşılamanın yanında oluşturduğu teknoloji sentezi ile IoT'nin zorluklarını hafifletmiş ve böylece tüketicilerin tereddütlerini giderebilecek Bilgi'nin serbestliğini ve ekonomik özgürlüğünü destekleyen ve bunu yaparken de güvenlik ve gizlilikten ödün vermeyen, açık bir ekosistemin mümkün ve de faydalı olabileceğini göstermiştir. Son olarak, referans model üzerinde öngörücü bakım, Akıllı Cihaz verisi satışı, kullanım eniyilemesi, Hizmet-olarak-Akıllı-Cihaz ve kullanım/kalite bazlı ücretlendirme gibi dağıtık uygulamaların kullanım senaryolarının incelenmesi ile, Akıllı Cihazların bağlantılı olma, sosyal ve bilişsel yeteneklerinin sadece akıllı olarak addedilmek için değil de tüketicilerin beklentilerini gözeterek, onların yararına çalışmak için akıllı olması durumunda tüketiciler için kullanılabilirlik ve benimsenebilirlik potansiyeline sahip oldukları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin interneti, Akıllı ev, Ev tipi cihazlar, Sis bilişim, Dijital ikiz, Dağıtık hesap defteri teknolojileri, Sosyal nesnelerin interneti, Bilişsel nesnelerin interneti, Öngörücü bakım.

ABSTRACT

Doctor of Philosophy

AN ARCHITECTURAL DESIGN BASED ON FOG COMPUTING AND
DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGIES TO LIBERALIZE SMART HOME
APPLIANCES BY ENABLING SOCIAL AND COGNITIVE UPSKILLING VIA
THEIR DIGITAL TWINS

Cankal Altun

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Science Program

Supervisor: Prof. Dr. Bülent Tavlı

Date: July 2020

Since the beginning of this century, the Internet of Things (IoT) has been paving the way for a variety of smart home applications based mostly on human-to-things interactions and increasingly on things-to-things interactions. Despite the benefits and initiatives brought by such applications, consumers still show hesitation in adopting IoT-enabled home appliances, mainly due to privacy concerns, lack of support for people-centric approach, IoT ecosystems undervaluing the information by restricting its freedom of circulation, cyber security considerations and the technical immaturity of IoT and its coexisting technologies. As people's attitude toward the Internet has taken on a new dimension with the penetration of social media applications, it is also crucial to give a social structure to IoT in order to bring out the true value of IoT for appliance owners. Therefore, equipping Smart Homes with cognitive tasks, that can benefit from things-to-things social collaboration, will enable further business cases which have the potential to bring a breakthrough in customer perception in IoT-enabled consumer electronics. IoT designs has been facing several challenges, such as

resource constraints of the edge nodes, scalability, quality of service, mobility, heterogeneity, interoperability, cyber security, privacy, and innovativeness. Moreover, Smart Homes with social and cognitive capabilities will face even more complexity due to extra requirements, such as ease of use, customer satisfaction management, incentive mechanisms, extensive interoperability, and ownership management. Today's IoT applications on consumer electronics seem to bring more value to their manufacturers than they do to their customers, making them more corporate-centric than human-centric. To break the ice between consumers and IoT, business models arising from the integration of social and cognitive capabilities shall be in consumers' favor. To address the aforementioned issues in IoT applications on consumer electronics, the following three strategic enablers are proposed as solution building blocks: Digital twins (DTs), Fog computing and Distributed Ledger Technologies (DLTs). The main contribution of this thesis work is the creation of a reference model that places the DTs of consumer electronics on a Smart Home gateway as the member of fog; assigns absolute ownership of these DTs to the appliance owners; liberalizes their usage on fog systems via DLTs and DLT-enabled clouds; and enables secure and privacy-aware Social and Cognitive IoT applications. Finally, the study has been completed by analyzing the applicability and operation of use case scenarios such as predictive maintenance, selling appliance data, usage optimization, Appliance-as-a-Service, and usage-based or quality-based pricing.

Keywords: Internet of things, Smart home, Home appliances, Fog computing, Digital twin, Distributed ledger technologies, Social internet of things, Cognitive internet of things, Predictive maintenance.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca en başından beri bana inanan, sabrına, vizyonuna ve bilgisine hayran olduğum, her sohbetimizde farklı bir şeyler öğrendiğim başta değerli hocam Bülent TAVLI'ya; değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Halim YANIKÖMEROĞLU'na; akademik yaklaşımı ve araştırma yöntemlerini öğrenmemde çok büyük katkıları olan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi (TOBB-ETÜ) Akıllı Şebekeler Çalışma Grubu arkadaşlarım Arif Önder IŞIKMAN, Seçkin Anıl YILDIRIM ve hocam Süleyman ULUDAĞ'a; kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB-ETÜ Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine; sağladıkları teknik altyapı ve burs imkânlarından ötürü TOBB-ETÜ'ye; öğrenimimi Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı ile desteklemeye değer bulan ve başarıma isteğimi körükleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK); gösterdikleri samimi destek ve sonsuz anlayış için Otonom Teknoloji'den yöneticilerim Işıl KOLAĞASIOĞLU ve Ahmet Nezir ERTÜRK'e; ilham verdiği fikirler ve bakış açıları için Robert Bosch Power Tools GmbH'dan yöneticim Sebastian BERNING'e; destekleriyle her zaman yanımda olan bütün arkadaşlarıma ve özellikle bu süreçte yükümü hafifleten Eren'e; "Doktora ne zaman bitiyor?" diye sorarak motivasyonumu daim kılan bütün aile fertlerine; beni olduğumdan daha özel hissettirmekten hiç vazgeçmeyen canım Annem ve canım Babam'a; ve de her yorulduğumda enerjisiyle beni ayağa kaldıran, tükendiğimde bana umut veren, bazen motive edici bir mürebbiye sopası ama çoğunlukla masamda şefkatli bir kupa çay olan biricik karım Tuğçe'ye çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR	xiv
RESİM LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	6
1.2.1 Tüketicinin akıllı ev tereddüdünün altında yatan temel sebepler	6
1.2.1.1 Özel hayatın gizliliği ve kişisel verilerin korunmasında firmalara ve teknolojik altyapılara duyulan güvensizlik	6
1.2.1.2 İnsan-merkezli yaklaşımın yoksunluğu.....	10
1.2.1.3 Bilgi'nin değerinin ve özgürlüğünün kısıtlanması.....	12
1.2.1.4 Güvenlik, emniyet ve müsaitlik endişeleri.....	16
1.2.1.5 IoT'nin gerçek potansiyeline henüz ulaşmamış olması	18
1.2.2 Benzer modelleme çalışmaları	22
1.3 Teorik Çalışmalar	24
1.3.1 Teknoloji sentezi	24
1.3.2 Dijital ikizlerin liberalleşmesi	24
1.3.3 Bilgi hiyerarşisi (DIKW Piramidi).....	26
2. TEKNOLOJİ SENTEZİNİN MANTIKSAL ÖRGÜSÜ	29
2.1 Nesnelerin İnterneti (IoT).....	29
2.1.1 Bir IoT uygulama alanı olarak akıllı ev	31
2.1.1.1 Ev tipi ve akıllı cihazlar	31
2.1.2 IoT'de karşılaşılan güncel zorluklar	32
2.2 Dijital İkiz (DT)	37
2.3 Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (DLT)	43
2.3.1 DLT ve IoT	48
2.3.2 DLT uygulamaları.....	50
2.4 Sis Bilişim (Fog Computing)	52
2.4.1 Sis bilişimin tanımı	52
2.4.2 Sis bilişimin IoT ekosistemindeki yeri ve önemi.....	53
2.5 Sosyal ve Bilişsel Nesnelerin İnterneti (SIoT ve CIoT).....	59
2.5.1 Sosyal Nesnelerin İnterneti (SIoT)	59
2.5.2 Bilişsel Nesnelerin İnterneti (CIoT).....	63
2.6 Öngörücü Bakım (PdM).....	64
2.6.1 Akıllı evlerde öngörücü bakım uygulamasının akıllı cihaz kullanıcılarına ve üreticilerine faydaları	66

3. SİSTEM MODELİ	69
3.1 Temel Gereksinimler	69
3.1.1 Cihaz ve dijital ikizinin bağlaşımı	70
3.1.2 Dijital kuklaların engellenmesi	73
3.1.3 Dijital ikizlerin mutlak mülkiyeti	74
3.1.4 Dijital ikizlerin liberalleşmesi	75
3.2 Referans Model	76
3.2.1 Kenar katmanı	77
3.2.2 Sis katmanı	79
3.2.2.1 Akıllı ev ağ geçidi	79
3.2.2.2 Dijital ikiz yapısı	82
Dijital ikiz çekirdeği	82
Kabuk-A: Cihaz – dijital ikiz bağlaşımı	84
Kabuk-B: Mikro-ödeme kontrolü	84
Kabuk-C: Mülkiyet kontrolü	85
Kabuk-D: Birlikte-çalışabilirlik kontrolü	86
Merkezi Olmayan Uygulamalar (DApps)	87
3.2.3 Bulut katmanı	88
3.2.3.1 Referans Dijital İkiz (RDT)	89
3.2.3.2 Bileşik Dijital İkiz (CDT)	89
3.2.4 Dağıtık hesap defteri teknolojileri	91
4. UYGULAMA VE KULLANIM SENARYOLARI	93
4.1 Cihaz Verisinin Dijital İkiz Aracılığıyla Satışa Sunulması	93
4.2 Dijital İkizlere Çeşitli Uygulamaların ve Hizmetlerin Satın Alınması	95
4.2.1 Öngörücü Bakım (PdM) uygulaması	95
4.2.2 Kullanım eniyilemesi hizmeti	99
4.3 Hizmet-Olarak-Cihaz (Home-Appliance-as-a-Service)	99
4.3.1 Kullanım veya kalite bazlı ücretlendirme	99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
5.1 Modelin ve Kullanım Senaryolarının Değerlendirmesi	102
5.2 Gelecekteki Çalışmalar	104
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	121

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Gartner, insan-merkezli akıllı alanları son yılların en önemli stratejik teknoloji trendleri arasında görmektedir.....	12
Şekil 1.2 : IoT ekosistemindeki bilgi sağlayıcı aktörler ve aralarındaki ilgi akışı.....	13
Şekil 1.3 : Verinin gerçek potansiyelinin ortaya çıkmasını engelleyen kısır döngü senaryolarından biri.....	14
Şekil 1.4 : IoT’de en sık karşılaşılan tehditlerin dağılımı.....	19
Şekil 1.5 : IoT’nin ve IoT’ye destek teknolojilerin benimsenme oranlarının değişimi.....	20
Şekil 1.6 : Trend teknolojilerin 2018 yılındaki beklenti döngüsü (Hype Cycle) görünümü.....	21
Şekil 1.7 : Tüketicinin tereddüdünün giderilmesi ve IoT’deki zorlukların çözümü için bu tezin temel aldığı teknoloji sentezine genel bir bakış.....	25
Şekil 1.8 : Bulut’tan Sis sistemlerine taşınan dijital ikizlerin, oluşturulan dağıtık yapı ve bilgiye sağlanan paylaşım özgürlüğü ile liberalleştirilmesi.....	26
Şekil 1.9 : Bilgi Hiyerarşisi’nin (DIKW Piramidi) geleneksel ve önerilen yaklaşımla gösterimi.....	27
Şekil 1.10 : Veri, Enformasyon, Bilgi, Bilgelik kavramlarının ve birbirleriyle ilişkilerinin görsel anlatımı.....	28
Şekil 2.1 : IoT’nin tanımı.....	29
Şekil 2.2 : IoT’nin uygulama alanlarına ve bu alanların ekosistem içindeki dikey ve yatay etkileşimlerine genel bir bakış.....	30
Şekil 2.3 : Kişi başına düşen bağlantılı cihaz sayısının 2025 yılına kadarki tahmini yükselişi.....	33
Şekil 2.4 : Beraber-çalışabilirlik dereceleri ve her derecenin gerektirdiği beceriler..	35
Şekil 2.5 : Dijital ikiz olgusunun karakteristik bileşenleri ve bu bileşenlerin aralarındaki ilişkiler.....	38
Şekil 2.6 : Dijital ikizin kurduğu bağlantı ve iletişim şekilleri.....	39
Şekil 2.7 : Dijital ikizin fiziksel ikizi ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan servis alternatiflerine genel bir bakış.....	42
Şekil 2.8 : Blok Zinciri (BC) mimarisi.....	45
Şekil 2.9 : Blok Zinciri (BC) ve Yönlendirilmiş Döngüsüz Çizge (DAG).....	46
Şekil 2.10 : Kenar, Sis ve Bulut bilişim sistemlerinin oluşturduğu hiyerarşik mimari.....	53
Şekil 2.11 : Kenar, Sis ve Bulut bilişim sistemlerinin kaynak nitelikleri.....	54
Şekil 2.12 : Sis bilişimin Bulut’a ulaşacak veri trafiğini düşürebilme potansiyeli. ...	56
Şekil 2.13 : Sis bilişim konum farkındalığı ve Kenar sistemlerine yakınlığı ile servis kalitesini ve ağ verimliliğini artırmaktadır.....	57
Şekil 2.14 : İnsanların kurduğu (sol tarafta) ve nesnelerin kurduğu (sağ tarafta) sosyal ağları oluşturan bileşenler.....	61
Şekil 2.15 : Cihazlar için bakım stratejileri.....	65
Şekil 2.16 : Öngörücü Bakım’da eylem kritikliği.....	66

Şekil 2.17 : Bakım maliyetlerinin müsaitlik ile değişimi.....	66
Şekil 2.18 : Bakım yapmak için en iyi zamanın belirlenmesi.....	67
Şekil 3.1 : Cihaz ve dijital ikizi arasındaki çift-yönlü bağlantı ve Cihaz'ın dijital ikizin diğer ilişkileri.....	71
Şekil 3.2 : Önerilen sistem modeline genel bir bakış.....	77
Şekil 3.3 : Önerilen sistem modelinin daha detaylı gösterimi.....	78
Şekil 3.4 : Akıllı ev ağ geçidi donanımının genişletilebilir bir şekilde nasıl tasarlanabileceğine dair örnek bir yaklaşım.....	81
Şekil 3.5 : Dijital ikizin detaylı mimarisi.....	83
Şekil 3.6 : Merkezi olmayan uygulamaların detaylı yapısı.....	87
Şekil 4.1 : Cihaz verisinin dijital ikizi üzerinden satışına imkân veren örnek bir uygulamanın çalışmasını gösteren sıralama diyagramı.....	94
Şekil 4.2 : Öngörücü bakım uygulamasının model üzerindeki yerleşimi.....	97
Şekil 4.3 : Öngörücü bakım uygulamasının sistem üzerinde nasıl çalışacağını gösteren sıralama diyagramı.....	98



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Tüketicilerin IoT teknolojilerine özellikle mahremiyet konusunda güvenini ele alan bazı araştırmaların bulguları.....	9
Çizelge 1.2 : Bir malvarlığı olarak bilgiyi, değerinin belirlenmesinde diğer malvarlıklarından farklı kılan yedi kural – The Seven Laws of Information..	15
Çizelge 1.3 : Akıllı cihazların güvenlik zafiyetleri sonucunda oluşması muhtemel atak ve tehdit örnek senaryoları.....	17
Çizelge 1.4 : Tüketicilerin IoT teknolojileri ile ilgili özellikle güvenlik ve emniyet konusunda endişelerini ele alan bazı araştırmaların bulguları.....	17
Çizelge 1.5 : Benzer modelleme çalışmaları üzerine literatür taraması.....	23
Çizelge 1.6 : Bilgi hiyerarşisinin geleneksel ve önerilen yaklaşımlar üzerinde örneklerle açıklanması.....	28
Çizelge 2.1 : DLT nesilleri, ortaya çıkış amaçları, karşılaştıkları zorluklar ve öncü uygulamalar.....	44
Çizelge 2.2 : DLT ekosisteminde bu tez çalışmasının ilgilendiği uygulama alanlarında çözüm üretmeyi hedefleyen proje örnekleri.....	51
Çizelge 2.3 : Sis bilişimin özellikleri ve ilgili yetenekleri.....	55
Çizelge 2.4 : SIoT ilişkilerinin servis kalitesi (QoS) gereksinimleri.....	63
Çizelge 4.1 :Cihaz verisi satışı uygulamasının kurulumu ve çalışması sırasında kabukların ifa ettiği görevler.....	93
Çizelge 4.2 : PdM uygulamasının kurulumu ve çalışması sırasında kabukların ifa ettiği görevler.....	96

KISALTMALAR

BC	: Blok Zinciri (Blockchain)
CAGR	: Yıllık Bileşik Büyüme Oranı (Compound Annual Growth Rate)
C-CDT	: Bulut – Bileşik Dijital İkiz (Cloud – Composite Digital Twin)
CCPA	: Kaliforniya Tüketici Gizlilik Yasası (California Consumer Privacy Act)
CDT	: Bileşik Dijital İkiz (Composite Digital Twin)
CIoT	: Bilişsel Nesnelerin İnterneti (Cognitive IoT)
C-LOR	: Eş-Ortamlı Nesne İlişkileri (Co-location Object Relationship)
C-WOR	: Eş-İşlevli Nesne İlişkileri (Co-work Object Relationship)
DAG	: Yönlendirilmiş Döngüsüz Çizge (Directed Acyclic Graph)
DApp	: Merkezi Olmayan Uygulama (Decentralized Applications)
DDoS	: Dağıtık Servis Reddetme (Distributed Denial of Service)
DIKW	: Veri – Enformasyon – Bilgi – Bilgelik (Data – Information – Knowledge – Wisdom)
DLT	: Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (Distributed Ledger Technology)
DT	: Dijital İkiz (Digital Twin)
eSIM	: gömülü Abone Kimlik Modülü (embedded-SIM)
F-CDT	: Sis – Bileşik Dijital İkiz (Fog – Composite Digital Twin)
GDPR	: Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (European Union General Data Protection Regulation)
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
OOD	: Eş-Sahipli Nesne İlişkileri (Ownership Object Relationship)
PBFT	: Pratik Bizans Hata Toleransı (Practical Byzantine Fault Tolerance)
PdM	: Öngörücü Bakım (Predictive Maintenance)
PoET	: Geçen Zaman Kanıtı (Proof of Elapsed Time)
POR	: Eş-Aileli Nesne İlişkileri (Parental Object Relationship)
PoW	: İş Kanıtı (Proof of Work)
QoE	: Kullanıcı Deneyimi Kalitesi (Quality of Experience)
QoS	: Servis Kalitesi (Quality of Service)
RAM	: Rastgele Erişimli Bellek (Random Access Memory)
RDT	: Referans Dijital İkiz (Reference Digital Twin)
SDR	: Yazılım Tanımlı Radyo (Software Defined Radio)
SH	: Akıllı Ev (Smart Home)
SIM	: Abone Kimlik Modülü (Subscriber Identification Module)
SIoT	: Sosyal Nesnelerin İnterneti (Social IoT)
SOR	: Sosyal Nesne İlişkileri (Social Object Relationship)
USB	: Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
ZB	: Zettabayt (2^{70} Bayt)

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 1.1 : Apple'ın CES 2019 için Las Vegas'ta kullandığı "iPhone'da olan iPhone kalır." kampanyası.	10
--	----



1. GİRİŞ

Geride bıraktığı yirmi senenin sonunda, 21. Yüzyıl, özellikle İnternet'in gösterdiği çok katmanlı gelişim, akıllı telefonların ve uygulamalarının insan hayatına getirdiği devrimsel değişim, dijital ve Sosyal Medya ağlarının ortaya çıkışı, Bulut teknolojilerinin edindiği yer ve Bilgi'nin kazandığı değer ile kendine atfedilen Bilgi Çağı (Bilişim Çağı veya Dijital Çağ olarak da bilinmekte) yakıştırmalarını hak eder şekilde yıllanmaya devam etmektedir. Bu dönemde, Bilgi'yi üretme, iletme, işleme, saklama ve değerlendirme süreçlerinin, tekniklerinin ve platformlarının geçirdikleri köklü değişim, Bilgi'yi; insanın günlük hayatını, bireylerin davranışlarını, kültürel ve sosyal algılarını, toplum yapılarını, değer yargılarını, etik anlayışlarını, işletmelerin stratejilerini, devletlerin ve kurumların işleyişlerini ve en önemlisi de bu insanların, işletmelerin, toplumların ve dahası nesnelere birbirleriyle olan etkileşimini; sosyo-kültürel, ekonomik ve hatta politik olarak hızlı, radikal ve derin bir şekilde etkileyen bir hazine, güçlü bir koz, sihirli bir değnek haline getirmiştir (Yamin, 2019). Bilgi, artık, hiç şüphesiz ki dijital ekonomilerde geçerli bir sermaye ve çağımızın petrolü olarak kabul edilebilir (Dato, 2018).

Bu harmoni içinde gittikçe ivmelenen ve bu çağın en etkileyici ve ilgi çekici teknolojilerinden biri olarak kabul edilen Nesnelere İnterneti (IoT), İnternet üzerinde Bilgi'nin sadece insan-insan veya insanlar-insanlar arası değil, insan-nesnelere, nesne-nesne ve hatta nesnelere-nesnelere arası paylaşıldığı boyutları da ortaya çıkartan ve böylece İnternet'in ve Bilgi'nin potansiyelini artıran ve kullanıcılarının ufkunu genişleten bir oluşumdur. Bu potansiyelden sosyal ve ekonomik olarak en verimli şekilde faydalanmak adına akademisyenler, şirketler, devlet kurumları ve enstitüler çok çeşitli alanlar üzerinde farklı teknolojilerle ve disiplinlerle harmanladıkları IoT mimarileri ve uygulamaları ile araştırmalarını derinleştirmeye, yenilikçi çözümler üretmeye ve hayal gücünün sınırlarını zorlamaya devam etmektedir (Yamin, 2019).

Yine bu yüzyılın başında, Web 2.0 neslinin önemli bir kısmını oluşturan Sosyal Medya uygulamalarının, İnternet üzerindeki şirket-insan ve insan-insan etkileşimlerinde çığır açarak bu yapıyı insanlar-insanlar hacmine genişletmesi, İnternet teknolojisinin insan

hayatındaki etkinliğini kayda değer ölçüde değiştiren bir akım yaratmıştır (Hjorth, 2019). İşte bu akım sonucu, günlük olaylara yaklaşımı, tepkileri, davranışları belirli bir oranda İnternet trendleri ile şekillenen 21. Yüzyıl İnsanı'nın birçoğu için aşağıdaki senaryo oldukça aşıkardır:

“Jane Doe, her sabah uyandığında yaptığı gibi, bir sabah yine aynaya bakarken diğer günlerden farklı olarak bugün yüzünde büyük kırmızı bir lekenin varlığının farkına varmıştır. Dünya nüfusunun yaklaşık %60'ını oluşturan (Cisco Public, 2020; Clement, 2020) İnternet kullanıcılarından biri olarak, her dört kullanıcıdan üçünün de yaptığı gibi bu leke ile ilgili olarak daha fazla bilgi edinmek için ilk olarak İnternet ve Sosyal Medya kaynaklarını kullanmaya yönelir¹. İnternet arama motorlarını ve medikal web sitelerini kullanarak benzer durumlar için bir araştırma yapar. Üyesi olduğu Sosyal Medya grupları ve medikal forumlarda lekenin fotoğrafı ile hissedebildiği ve elindeki medikal cihazlar ve giyilebilir teknolojiler ile ölçebildiği kadarıyla semptomlarını paylaşır. Tanılar kümesini daraltabilmek amacıyla, önceden benzer semptomları gösteren arkadaşları ve diğer İnternet kullanıcıları ve de aile doktoru ile iletişime geçer. Sonuç olarak Jane Doe, belirli olasılıklarla bir veya daha fazla tanıda karar kılmış ve her bir alternatif için yapabileceklerini de yine iletişim ağını kullanarak belirlemiş ve buna göre harekete geçmiştir. Bu sayede Jane Doe geçici bir alerji veya sivilce durumu için uzmanlara gitmek için harcayacağı zaman ve bütçeden tasarruf etmiş olabileceği gibi, daha kritik bir hastalığın habercisi olabilecek belirtileri yok sayıp gerekli tedavi sürecini başlatmayı geciktirme hatasına düşme ihtimalini de azaltmış olabilir.”

¹ Chen(2018)'e göre ABD'de İnternet kullanıcılarının %80'i, Silver(2019)'a göre ise gelişmekte olan ülkelerde akıllı telefon kullanıcılarının %61'i sağlık ile ilgili herhangi bir bilgi edinmek için İnternet'i kullanmaktadır.

Bu tez çalışması, yukarıdaki senaryodan aldığı motivasyonla, Bilgi Çağı'nın, İnsanların İnterneti'nden Nesnelerin İnterneti'ne geçirdiği evrime katkı sağlamak üzere aşağıdaki sorulara cevap aramaktadır:

- Evimizde her gün kullandığımız, insan hayatına direkt etki eden ev tipi cihazlar da benzer bir senaryoyu gerçekleştirerek, birbirleriyle, kullanıcılarıyla ve üreticileriyle kurdukları nesnel-nesnel etkileşimini de becerebilen sosyal bağlantıları ile öngörücü sınıma ve hatta öngörücü bakım yapabilme yeteneğine sahip olabilir mi?
- Bu ve benzeri senaryolar, IoT'deki zorluklara çözüm potansiyeline sahip olan teknolojileri harmanlayan nasıl bir mimari tasarlanarak mümkün ve de tüketici için çekici kılınabilir?
- Bu mimari, Sosyal Medya uygulamalarının İnternet için gerçekleştirdiğine benzer bir devrimi, Akıllı Ev uygulamaları özelinde, IoT'ye sosyal (Atzori, 2011) ve bilişsel (Wu, 2014) bir yapı kazandırmayı amaçlayan literatüre nasıl farklı bir bakış açısı aralayabilir ve ne gibi katkılar sağlayabilir?

1.1 Tezin Amacı

İnsanın günlük yaşantısına doğrudan ve en hissedilir şekilde etki eden IoT alanlarından biri olan Akıllı Ev ve dolayısı ile akıllı ev tipi cihaz uygulamalarının 2023 yılına gelindiğinde %48 ile IoT ekosisteminde en büyük dilime sahip olması beklenmektedir (Cisco Public, 2020). Bu dilimden pay edinmek isteyen birçok ev tipi cihaz üreticisi, portföyünü her geçen gün, daha çok insan-nesne etkileşimine ve giderek artan bir şekilde de nesne-nesne etkileşimine dayalı Akıllı Cihaz kabiliyetlerini kazandıracak şekilde genişleterek, tüketicilere bağlantılı ürünler ve servisler sunmaktadır. Her üç tüketiciden ikisinin, üreticilerin sunduğu Akıllı Ev uygulamalarına bir şekilde aşinalığının bulunduğu ve aşinalığı bulunan grubun yarısı kadarının da bu uygulamaların hayatlarını etkileyeceği beklentisine sahip olduğu belirlenmiştir (Dale, 2016). Bu uygulamaların kullanıcılarına getirdiği fayda, üreticilerine sağladığı market

analizlerinin² değeri ve öncülük ettiği diğer gelişmelerle³ ortaya koyduğu katkı yadsınamasa da anketler ve araştırmalar, tüketicilerin, bağlantılı ve akıllı ev tipi cihazlarını hayatlarına uyarlarken, bütün iyimser beklentilerine rağmen, hala tereddüt ettiğini göstermektedir (Dale, 2016; Lindsay, 2016; Consumers International, 2017; H. Yang, 2017; Balakrishnan, 2018; Internet Society, 2019; Hong, 2020).

Bu tez çalışmasının, motive olduğu sorulara cevap ararken edindiği temel amaçlarından en önemlisi, bu tereddütlerin altında yatan engelleri ve sebeplerini iyi analiz ederek, tüketiciyi evinde IoT uygulamalarını kullanmasına özendirilecek bir model önerebilmektir. İlgili literatürün detaylıca incelenmesi (Bölüm 1.2.1) sonucunda, tüketicilerin Akıllı Ev uygulamalarına karşı mesafeli duruşuna dair aşağıdaki soru derlenmiştir:

“Acaba tüketiciler...

... teknolojik olgunluk, pazara sürüm süresi gibi nedenlerle hala tüketicilere vadettiği katma-değer buzdağının sadece su üzerinde kalan kısmını sunabilen,

... verilerinin ve fonksiyonlarının ne kadarını kontrol edebildiklerine dair güven duymadıkları,

... gizliliklerine, güvenliklerine, emniyetlerine ve konforlarına ve de cihazlarının temel fonksiyonlarına tehdit potansiyeli taşıyan,

... herhangi bir teşvik ve mükafat sağlamadan, daha çok üreticisine fayda getirecek iş modelleri ve kullanım senaryoları arz edebilen,

IoT teknolojilerini, evlerindeki cihazlarda kullanmak için daha fazla ödeme yapmaya hazır mı?”

Sosyal Medya ağlarının insanların İnternet algısında yarattığı olumlu değişim göz önünde bulundurulduğunda, IoT ekosistemine de benzer şekilde sosyal (Atzori, 2011)

² Firmalar, aktif kullanılan bağlantılı ürünler sayesinde, özellikle erken-benimseyen (early-adopters) ve öncü (leading-edge) tüketicilerin bağlantılı ürünlere yaklaşımlarını, bu ürünlerden beklentilerini ve bu ürünlerin kullanıcıları için elverişliliğini/kabul edilebilirliğini ölçebilmektedir (Dale, 2016).

³ Market analizlerinin yanında en değerli edinimler ölçüm kriterlerinin, sertifikasyon standartlarının, gerekli kısıtların ve regülasyonların tüketici odaklı olarak geliştirilebilmesidir. Ayrıca bağlantılı ürünlerin ve servislerin aktif kullanım sonrası, konu ile ilgili farkındalığı ve bilgisi artan tüketiciler, daha iyi geri beslemeler yapabilecek, beklentilerini daha somut şekilde yapılandırabilecek ve her bir üründe daha seçici olarak firmaları gerçekten katma-değer sağlayan özellikler getirmeleri konusunda zorlayabilecektir (Shahrokh, 2018).

ve bilişsel (Wu, 2014) kabiliyetlerin kazandırılmasının yukarıdaki soruya alınacak cevaplar ve tüketicilerin ilgili endişelerinin giderilmesi üzerinde yapacağı etkinin olumlu yönde olması beklenmektedir. IoT’de kurulan nesnelere-nesnelere ve insanlar-nesnelere arası sosyal ilişkiler, akıllı nesnelere insan yaşamına entegrasyonuna daha sezgisel, kullanılabilir, doğal, görünmez ve insan-merkezli bir boyut kazandırma potansiyeline sahiptir. Bu sosyal ilişkilerin bilişsel uygulamaları desteklemesi ile daha serbest, verimli ve kendi kendine gelişen yöntemlerle gerçekleştirilen Bilgi işlenmesi, tüketicisine gerçek anlamda fayda sağlayan Bilgelik çıktıları ve iş modelleri ile tüketicinin IoT algısını daha olumlu bir seviyeye taşıyacaktır. Bu sosyal ve bilişsel senaryoları destekleyebilecek altyapıyı sağlamak, önerilen modelin amaçları arasında yer almaktadır.

IoT tasarımları, önemli bir kısmı Bölüm 2.1.2’de incelendiği üzere, heterojenlik, ölçeklenebilirlik, kaynak fakirliği, merkezî yapı kısıtlılığı, mobilite, kalite yönetimi, gizlilik ve güvenlik gibi zorluklarla baş etmektedir (Nitti, 2016). Gereksinimlerinden kaynaklı olarak daha erişim kısıtlı, izole ve kapalı bir yapıya sahip olarak bu zorlukların bir kısmını daha kolay elemine edebilen endüstriyel IoT sistemlerinin aksine, ticari pazara yönelik olan Akıllı Ev sistemlerinin tasarımı, özellikle de sosyal ve bilişsel becerilerin eklenmesinin de hesaba katılmasıyla, bu zorlukların çözülmesinde daha hassas bir yaklaşım gerektirmektedir. Hem bağlantılı cihazların sayısındaki artış trendi hem de kullanım kolaylığı, tüketici memnuniyeti, teşvik mekanizmaları, daha geniş çaplı beraber-çalışabilirlik, insan-merkezli yaklaşım ve mülkiyet yönetimi gibi ekstra gereksinimler, ticari IoT sistemleri için bu zorlukların karmaşıklığını bir üst seviyeye çıkarmaktadır (Balakrishnan, 2018). İşte bu tezin bir diğer amacı da Gartner tarafından da son dönemin en önemli strateji trendleri arasında yer alan, çözüm için umut vadeden teknoloji yapı taşlarını bir modelde sentezleyerek Akıllı Ev uygulamalarında bahsi geçen zorlukların çözümüne alternatif bir yaklaşım getirebilmektir (Cearley, 2017, 2018, 2019):

- Sis Bilişim, Kenar nesnelere kaynak fakirliği, Bulut-merkezlilikten kaynaklı kısıtlar ve ölçeklenebilirlik zorluklarını adreslemek ve de özellikle gizlilik sağlanmasına destek olmak;
- Blok Zinciri (BC) veya daha geniş anlamıyla Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (DLT), merkezî yapıdan kaynaklı zorlukların yanında, gizlilik ve güvenlik problemlerini adreslemek ve mikro-ödemeleri mümkün kılmak;

- Dijital İkiz (DT) ise, heterojenlik, beraber-çalışabilirlik ve mobilite zorluklarını adreslemek

üzere, önerilen modele temel oluşturmuştur. Ortaya çıkan özgün model, ev tipi cihazların dijital ikizlerini, Akıllı Ev ortamındaki Sis Bilişim sistemlerine yerleştirerek, bu Dijital İkizlerin mutlak mülkiyetini tüketiciye verip bu Dijital İkizleri DLT ve DLT-etkin Bulut Bilişim sistemlerini de kullanarak dağıtık bir yapı üzerinden liberalleştirmeyi önermesi ve bunu sağlaması açısından literatürde bir ilktir.

Öngörücü Bakım ve diğer ilgili ve de benzer uygulamaların bu model üzerinde çalışma senaryolarının detaylı bir şekilde incelenmesi ile bu tez çalışması, çıkış noktasını ve motivasyonunu oluşturan sorulara cevap verme misyonunu tamamlamış olmaktadır. Son olarak, ortaya atılan modelin ticari olarak gerçekleştirilmesi durumunda yaşanabilecek olası zorluklara kısa bir bakış atmak, takip eden araştırmalarda kullanımına ve geliştirilmesine dair ipuçları vermek, makine öğrenmesi, yapay zekâ gibi daha ileri seviye uygulamaların entegrasyon potansiyeline ışık tutmak da bu çalışmanın amaçları arasında sayılabilir.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Tüketicinin akıllı ev tereddüdünün altında yatan temel sebepler

1.2.1.1 Özel hayatın gizliliği ve kişisel verilerin korunmasında firmalara ve teknolojik altyapılara duyulan güvensizlik

Hemen her insan için ev olarak benimsediği yer, o insanın kendini güvende hissettiği, duygusal ve fiziksel olarak kalkanlarını bir kenara bıraktığı mahremiyetinin kalesi olarak kabul edilebilir. Evde meydana gelen fiziksel sinyalleri evin duvarlarının ötesine taşıma ihtimali bulunan her türlü kanalı engelleme veya filtreleme çabası⁴ da hem bu mahremiyeti koruma hakkının⁵ hem de iç güdüsünün bir parçasıdır. 1995 yılından beri giderek artan bir şekilde evler için demirbaş haline gelen, bilgi taşıma kapasitesi gittikçe genişleyen (Cisco Public, 2020), medya teknolojileri ve Sosyal

⁴ Örneğin pencerelerde perde ve panjur kullanılması veya duvarların ses yalıtımına sahip olması.

⁵ Mahremiyet “Yalnız kalabilme/bırakılabilme hakkı” olarak ABD’de ilk defa 1890 yılında savunulmuştur (Warren, 1890).

Medya uygulamaları ile taşıdığı bilginin kapsamı da her geçen gün daha da kişiselleşen İnternet'in de bu kanallardan biri olduğu; hem de en geniş, en çetrefillisi ve de en fazla sayıda davetsiz misafire açık olduğu; farkındalığı özellikle son yıllarda gerçekleşen iki büyük olay ile hem şirketler, hem devletler hem de tüketiciler cephesinde ivme kazanmıştır:

- 2013 yılında, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Ulusal Güvenlik Merkezi (NSA) gizli belgelerinin, eski çalışanları Edward Joseph Snowden tarafından basına ifşa edilmesi, şirketlerin, devletlerin ve bireylerin İnternet'teki kişisel hayatın gizliliği konusundaki dikkatlerini ciddi bir şekilde tetiklemiştir. Bu belgelerde yer alan küresel boyuttaki gözetleme ve casusluk operasyonlarının, İnternet'e bağlanabilen özellikle medya cihazları üzerinden yapılıyor olduğu daha da önemlisi yapılabilir olduğu gerçeği, birçok insanı dijital mahremiyet konusunda aktif olarak düşünmeye⁶ ve hak aramaya, devletleri ve organizasyonları kişisel verilerin korunumu konusundaki yasal düzenlemelerini hızlandırmaya, girişimcileri de ilgili teknolojileri geliştirebilecek yatırımlar yapmaya itmiştir (Patsakis, 2018; Coleman, 2019).
- 2018 yılında patlak veren Facebook - Cambridge Analytica skandalı ise, bu konudaki endişelerin daha da kuvvetlenmesine neden olarak, teknolojinin insan hayatındaki yerinin ve insanın gizlilik/güvenlik haklarına nasıl etki ettiğinin açık şekilde tartışılmasını ve çözümler konusunda somut adımlar atılmasını zorunlu hale getirmiştir (Dato, 2018; Coleman, 2019). Cambridge Analytica şirketi, 87 milyon Facebook kullanıcısının kişisel verilerini izinsiz bir şekilde toplamış ve bu veriler üzerinde yaptığı analizlerle, müşterilerinin çıkarları doğrultusunda kullanıcıları kişiye-özel mesajlara ve reklamlara maruz bırakmıştır. Derinleşen soruşturma sonucu, Cambridge Analytica'nın, birçok ülkede seçim kampanyalarında, seçmenlerin kişisel verilerini illegal olarak kullanıp "mikro-hedefli" propaganda ile müşterisi olan adayın lehine seçmenlerin kararını manipüle ederek, seçim sonuçlarını etkileyecek boyutta çalışmalar yürüttüğü

⁶ Örneğin, bu ifşa sonrasında birçok insan evindeki ve iş yerindeki cihazları kullanılmadıkları durumlarda güvenli bir şekilde hizmet dışı bırakacak çözümlere yönelmiştir (Bilgisayar kameralarına siyah bant yapıştırmak, gizli konuları konuşurken cep telefonları ile aynı odada bulunmamak gibi).

belirlenmiştir (Isaak, 2018). Bu skandal, verinin sadece pasif olarak analiz edilip çıkan sonuçlardan çıkar sağlanmasından öte, kişilerin davranışlarının, tutumlarının, kararlarının bu analizlerin çıktıları ile bir ekonomik çıkar için aktif ve art niyetli olarak yönlendirilebilir olduğu gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Bu tarz art niyetli yaklaşımların, insan hayatına daha otomatikleştirilmiş, dolayısı ile daha kontrolsüz ve daha büyük ölçekte entegre olması planlanan IoT sistemleri düşünüldüğünde, önlem alınmadığı takdirde IoT için daha büyük boyutta risklere gebe olması kaçınılmazdır (Isaak, 2018).

Güvenlik zayıflıkları, bilgisayar korsanlığı, şirket içinden destekleme veya yanlışlık sonucunda oluşabilecek veri sızmalarına duyulan kaygının yanında (Cyr, 2014; Arias, 2015; McCandless, 2020), kamu ve özel sektörün kişisel verilere ulaşmaya, bu verileri kullanmaya ve bu verilerden elde ettikleri çikara dair şeffaflıklarının ve güvenilirliklerinin de giderek artan bir şekilde endişe yarattığı bu dönemde (Cearley, 2019), özellikle IoT teknolojilerinin benimsenmesinde mahremiyet konusunun nasıl bir bariyer olduğu Çizelge 1.1'deki araştırma sonuçlarından açıkça görülebilmektedir.

Bütün bunların ışığında, kişisel hayatın gizliliğinin gittikçe önem kazandığı bu dönemde, Avrupa Birliği'nin 2018 yılında çıkardığı Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) (Dato, 2018), ABD'nin Kaliforniya eyaletinin 2020 yılında yürürlüğe giren Kaliforniya Tüketici Gizlilik Yasası (CCPA) (Rothstein, 2019), kişisel verilerle çalışan şirket ve kurumların, bu verilerin korunması ve gizliliğine ilişkin bireylere olan sorumluluklarını düzenlemek adına kurumlar ve devletler düzeyindeki çalışmalara öncülük etmiştir. Yine bu doğrultuda, birçok şirket, yeni gelen/gelecek düzenlemelere uymak ve de tüketicilerin gizlilik konusunda beklentilerini karşılayabilmek için tasarladığı sistemlerde kişisel verilerin bütün yaşam döngüsü boyunca gereken hassasiyetle ve yönetmeliklere uygun olarak işlenmesi, depolanması, ulaşılabilir olması ve kontrol edilmesi için gerekli altyapıları kurmaya çalışmaktadır. Bunun yanında, şirketler için, kişisel verilerin gizliliği konusu, Resim 1.1'de gösterildiği üzere, halk üzerinde şeffaf ve güven verici bir imaj oluşturmak adına bir pazarlama ögesi olmuş durumdadır. Her ne kadar şirketlerin henüz iddia ettikleri seviyede bir gizlilik sunup sunamadıkları bir tartışma konusu olsa da (Wolverton, 2019), bu konuda farkındalık oluşmuş olması ve ilgili tarafların konu ile ilgili çalışmaları (Chalhoub, 2020) umut vadetmektedir. Fakat esas olan, tüketicilerin kaygılarını gidermek ve farkındalığını arttırmaktansa, kişisel verilerin sızıntı riskini en aza indirecek, gizlilik

farkında olarak tasarlanmış, kontrolü talep edilen ölçüde tüketiciye bırakan, güvenli teknik ve mimari çözümler sunabilmektir (Hong, 2020).

Çizelge 1.1 : Tüketicilerin IoT teknolojilerine özellikle mahremiyet konusunda güvenini ele alan bazı araştırmaların bulguları.

Kaynak	Araştırma Bulguları
Dale, 2016	2016 yılında, Brezilya, Almanya, Japonya, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin ve Güney Kore’de, 7000’den fazla katılımcı ile yapılan anketlere göre, tüketicilerin çoğu 2 yıl içerisinde bir Akıllı Ev cihazı edinmeye istekli olsa da sadece bu potansiyele sahip %14’lük bir kesimin bunu gerçekleştirmesi muhtemel görülmektedir.
Consumers International, 2017	2016 yılında, 28 ülkede yapılan Edelman Trust Barometer anketinde, katılımcıların %43’ünün IoT sektörüne güvenmediği sonucu çıkmıştır.
<u>Consumers International, 2017</u>	Test edilen 300 IoT cihazının %59’unun, tüketicilere, kişisel verilerinin nasıl kullanıldığına dair açık bir bilgilendirme yapmadığı tespit edilmiştir.
H. Yang, 2017	Mobilite, güvenlik ve gizlilik riskleri ile servis sağlayıcılara duyulan güvenin, Akıllı Ev uygulamalarını benimsemeye en önemli faktörler olduğunu ortaya koymuştur.
Internet Society, 2019	2019 yılında, Avustralya, Kanada, Fransa, Japonya, ABD ve İngiltere’de yapılan anketlere göre, katılımcıların %63’ü, bağlantılı cihazların kişilere ve kişilerin davranışlarına dair bilgi toplamasını “tüyler ürpertici” bulmaktadır.
Internet Society, 2019	Katılımcıların %53’ü, mahremiyetlerini koruma ve kişisel verilerine saygılı davranma konusunda, bağlantılı cihazlara güvenmemektedir.
Internet Society, 2019	Katılımcıların %75’i, kişisel verilerinin başka organizasyonlar tarafından izinleri dışında kullanıldığına dair endişe edilmesini yerinde bulmaktadır.
Cearley, 2019	2017 yılında yapılan bir ankete göre tüketicilerin %87’si, kişisel verilerinin kullanımında gerekli hassasiyeti gösterdiklerine güvenmedikleri şirketlerin ürünlerini ve servislerini kullanmayı bırakacağını söylemiştir.
Guhr, 2020	Kişisel gizlilik endişelerinin Akıllı Ev kullanımına etkisi, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) ve Planlı Davranış Teorisi (TPB) kullanılarak modellenmiş ve bu model temel alınarak bir anket çalışması yapılmıştır. Kişisel gizlilik endişelerinin, tüketiciler için algılanan faydayı ⁷ ve algılanan davranışsal kontrolünü ⁸ negatif olarak etkilediği ve bunun da Akıllı Ev kullanım niyetini direkt olarak azalttığı sonucuna varılmıştır.

⁷ Algılanan Fayda (Perceived Usefulness): Günlük işlerin ve rutinlerin desteklenebilmesi, güven oluşturulabilmesi, enerji verimliliğinin ve eğlence düzeyinin artırılabilmesi gibi yetilerle genel olarak etkinlik ve verimliliğin iyileştirildiği algısı (Guhr, 2020).

⁸ Algılanan Davranışsal Kontrol (Perceived Behavioral Control): İç ve dış kısıtlamalara dayanarak bir davranışı yapmanın ne kadar kolay veya zor olduğu algısı (Guhr, 2020).



Resim 1.1 : Apple'ın CES 2019 için Las Vegas'ta kullandığı "iPhone'da olan iPhone kalır." kampanyası (Wolverton, 2019).

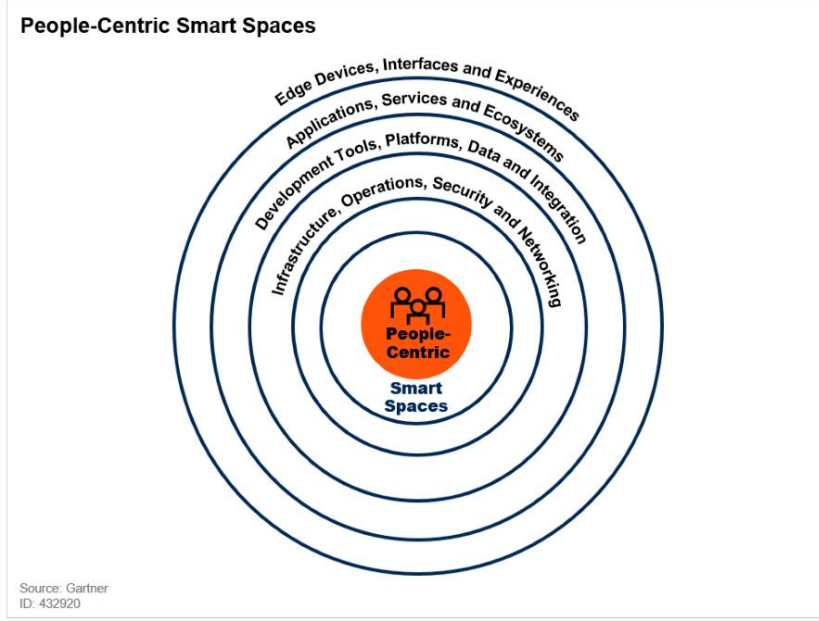
1.2.1.2 İnsan-merkezli yaklaşımın yoksunluğu

Günümüz, geleneksel Bulut merkezli IoT ekosisteminde, bağlantılı cihazlardan toplanan Bilgi'nin depolandığı yer, işlenme biçimi ve amacı, Bilgi'ye erişim ve kontrol hakkı olan otoriteler, Bilgi'nin analizinden elde edilen çıktılardan direkt olarak sağlanan ekonomik fayda ve uzmanlık birikimi değerlendirildiğinde, kullanılan mimarilerin ve tasarlanan sistemlerin daha çok işletme, bilgi ve teknoloji odaklı olduğu gözlemlenmektedir. Bazı araştırmalar, bağlantılı ev tipi cihazların bağlantılı olma özelliği ile tüketicisinin gerçek beklentilerini karşılamaktan çok üreticisine fayda sağlayacak senaryoları daha çok içerdiğini veya kullanıcıya sadece dolaylı olarak fayda sağlamak üzere gereksiz derecede akıllı olduğunu ortaya koymaktadır (Cervantes-Solis, 2018). 2016 yılında, Brezilya, Almanya, Japonya, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin ve Güney Kore'de, 7000'den fazla katılımcı ile yapılan anketlerde, katılımcıların sadece %37'sinin Akıllı Ev uygulamalarının gerçekten bir ihtiyacına cevap olduğunu düşündüğü belirlenmiştir (Dale, 2016). Örneğin, 1999 yılından beri markette olan akıllı buzdolabı ürünü, tüketicilere sunduğu Sosyal Medya bağlantısı, müzik yayını, takvim vb. "yeni" uygulamalar ile uzun yıllar markette olmasına rağmen hala %5'in altında bir tüketici grubu tarafından tercih edilmiştir (Bucherer, 2011; Lindsay, 2016). Tüketiciler ise, hayatlarına gerektiği zamanda gerçek anlamda değer katabilme, kolay kullanılabilme, günlük hayata ve alışkanlıklarına

olabildiğince görünmez, anlaşılır ve kolay entegre olabilme, kişiselleştirilebilme, bağlam bilinçli çalışabilme, cihaz, uygulama ve üretici olarak güvenilirlik ve gizlilik sağlayabilme beklentilerini karşılayabilen IoT cihazlarını, gerektiğinde fazladan ödeme de yaparak, evlerinde kullanmaya sıcak bakmaktadır (Cervantes-Solis, 2018; Wafa, 2019).

Gartner, insan-merkezli yaklaşımın noksanlığının, IoT'nin potansiyelinin açığa çıkmasının önündeki en önemli bariyerlerden biri olduğuna dikkat çekerek, 2019 ve 2020 yıllarının başlıca stratejik trendlerinden birini “İnsan-Merkezli Akıllı Alanlar” (Şekil 1.1) olarak belirlemiştir (Cearley, 2018, 2019). Dolayısı ile insanlara en yakın olan Kenar sistemlerini odağa oturtan mimariler oluşturmak, Kenar cihazlarını insanların dijital dünyayla etkileşimlerinin ve günlük hayatlarının doğal bir parçası haline getirmek, uygulamaları, hizmetleri, servisleri (Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ gibi) Kenar cihazlarının üzerinden verimli bir biçimde dağıtacak alt yapılar kurmak, tasarımlarda teknolojinin insan boyutunu vurgulayan bir yaklaşım benimsemek IoT cihazlarının kabul edilebilirliğini daha kolay kılmaktadır (Cearley, 2019). Tasarım Odaklı Düşünme (Design Thinking), Çevik Yöntem (Agile), Kullanıcı Deneyimi Tasarımı (UX Design) (Chalhoub, 2020) gibi kullanıcı odaklı yaklaşımların son dönemde endüstride kazandığı ivme ve popülerite de bu hareketin ve çabanın bir parçası olarak kabul edilebilir.

Makine, teknoloji, işletme merkezli tasarımların amaçları, insan-merkezli olanların amaçları ile örtüşmediğinden, IoT teknolojilerinin insanların gözünde sınıfta kalmasını engellemek için, bağlantılı cihazlar çalışma döngülerinde insanlarla etkileşimi temel olarak, karar alma, öğrenme ve hafıza fonksiyonlarını yerine getirirken teknoloji gösterişi yapmaktansa, insanlarla arkadaşlık benzeri sosyal bir etkileşimle işbirlikçi bir süreç izleyerek insanların aktivitelerini, ruh halini ve refahını yükseltmeyi amaçlayan IoT senaryolarını gerçekleştirebilmelidir (Cervantes-Solis, 2018). IoT'nin geliştirilmesi, sahip oldukları kaynak bolluğu ve teknolojide oynadıkları kilit rol ile büyük şirketlerin himayesinde olsa da Bölüm 1.2.1.3'te detaylandırıldığı üzere, yeniliklere ve yenilikçi ekosistemlere açık, kullanıcıların ve diğer servis sağlayıcıların da kendi tecrübe ve uzmanlıkları ile katılabildikleri, insan-merkezli yaklaşıma sahip iş modelleri yaratılması IoT ekosisteminin daha sürdürülebilir olmasında kritik değere sahiptir (Leminen, 2012).



Şekil 1.1 : Gartner, insan-merkezli akıllı alanları son yılların en önemli stratejik teknoloji trendleri arasında görmektedir (Cearley, 2019).

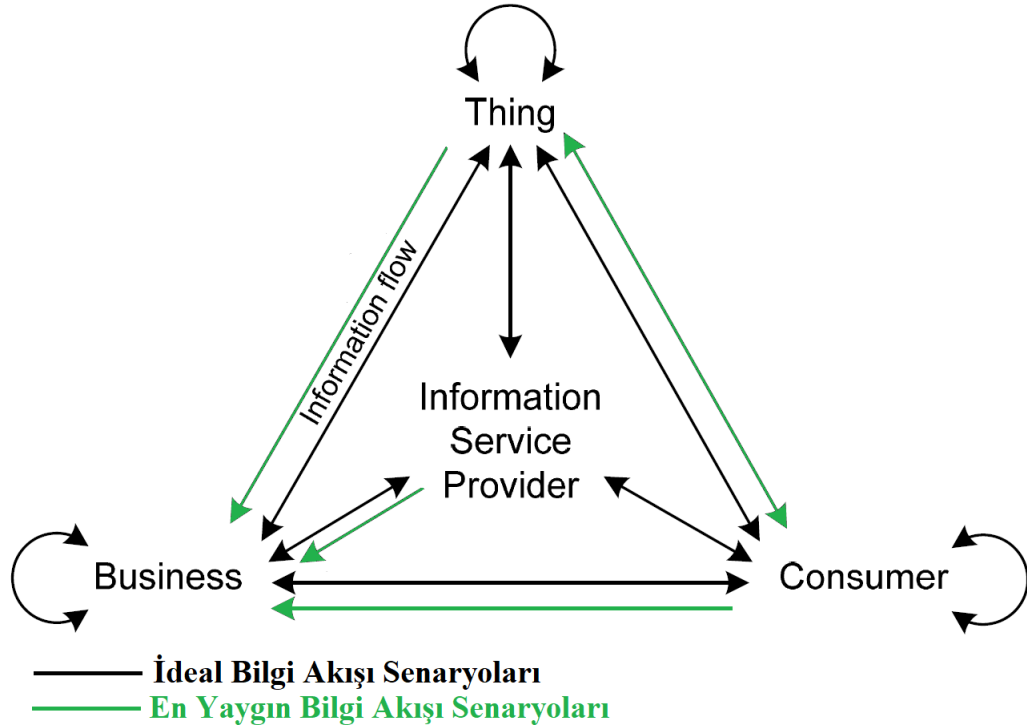
1.2.1.3 Bilgi'nin değerinin ve özgürlüğünün kısıtlanması

Bilgi'nin artık maddi değere sahip bir malvarlığı (Moody, 1999) olduğu günümüz Büyük Veri çağında, IoT ekosisteminde üretilen Karanlık Veri⁹ miktarının boyutu, IoT'nin finansal ve değer yaratma potansiyelinin nasıl sınırlandırıldığını ortaya koymaktadır (Bucherer, 2011). Örneğin, bir petrol kulesine yerleştirilmiş 30000 adet sensörden toplanan verilerin, eniyileme, kestirim gibi daha değerli bilgileri üretme potansiyelinin bir köşeye atılıp, sadece %1'lik kısmının değerlendirilerek tespit ve kontrol gibi çok daha temel fonksiyonları gerçeklemek üzere işlendiği belirlenmiştir (Manyika, 2015). Genele bakıldığında da durumun farklı olmadığı ve IoT düğümlerinden üretilen verilerin yaklaşık %99 kadarının gerektiği gibi değerlendirilemediği görülmektedir (Gimpel, 2020). Öz kaynak ve zaman kısıtlılığı, maliyet gerektirme, heterojen ve yapılandırılmamış veri, kılavuz verinin veya veri kaynağının muallak olması, veri toplama sürecinde kalitenin ve verimin düşük olması (Munot, 2019) gibi nedenlerle, veri ya işletmelerin bilgisi dışında ya da işletmelerin

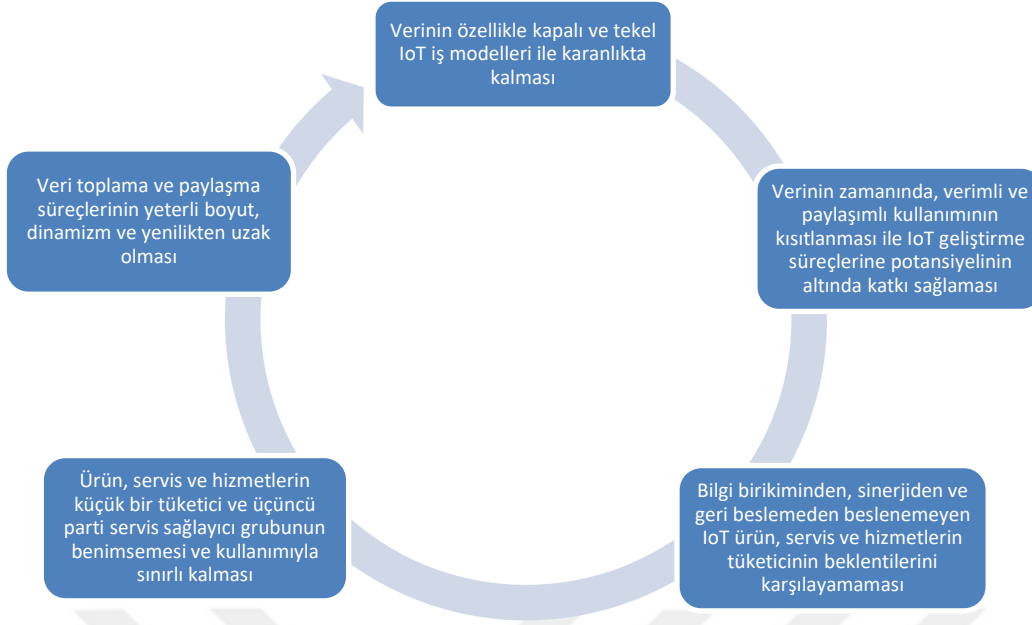
⁹ Karanlık Veri (Dark Data): Toplanmak, işlenmek ve saklanmak dışında başka amaçlarla (analiz, işletme, geliştirme, parasallaştırma vb.) kullanılmayan ve kullanılamayan ve bu sebeple veri evreninde karanlık bir madde olarak kalan veri olarak tanımlanmaktadır (Gartner Inc., 2020).

kapalı özel sistemlerinde mahsur kalarak sadece şirketin kendisinin ve birkaç paydaşının erişiminin inisiyatifinde karanlığa gömülmektedir (Gimpel, 2020).

Her ne kadar, ideal IoT ekosisteminde Bilgi'nin, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi bütün aktörler arasında çok boyutlu bir akış izlemesi beklense de teknolojik boyutta gözlemlenen işletme-merkezli yaklaşım ekonomik ve bilgisayar boyutta da işletmelere doğru tek yönlü bir akış ve fayda sağlama eğilimi ile kendini göstermektedir. Geleneksel IoT iş modellerinin büyük bir kısmı, IoT cihazlarının ve bu cihazlardan sunulan servis ve uygulamaların yaşam döngüleri boyunca elde edilen bilgiden sağlanacak her türlü finansal çıkarın yönünü şirketlere doğru çevirmektedir. Şekil 1.3'te görüldüğü üzere, bu durum, IoT dinamiklerini, açık bir ekosistem içinde, katılımcılarına ekonomik ve teknolojik fırsatları daha dengeli bir şekilde dağıtan bir ortamdan beslenerek, bir malvarlığı olarak Bilgi'den daha verimli bir şekilde katma değer elde etmeyi engelleyen kısır bir döngüye sokmaktadır.



Şekil 1.2 : IoT ekosistemindeki bilgi sağlayıcı aktörler ve aralarındaki bilgi akışı (Bucherer, 2011).



Şekil 1.3 : Verinin gerçek potansiyelinin ortaya çıkmasını engelleyen kısır döngü senaryolarından biri.

Tüketici perspektifinden bakıldığında ise, tüketicilerin IoT ekosistemde pasif olarak fayda görmeyi beklemektense, geliştirme süreçlerinde, yenilikçi yaklaşımlarda ve ekonomik fayda edinmede aktif katılımcı olma talepleri de gözlemlenmiştir (Zheng, 2018). Örneğin, tüketicilerin Akıllı Ev teknolojilerini benimsemesine dair yapılan bir ankette, giyilebilir akıllı cihaz kullanıcılarının sadece %9'unun, bu cihazlardan kullanım sırasında toplanan verilerinin üreticilerle ve diğer partilerle paylaşımına sıcak baktığı, bu oranın, paylaşım karşılığında indirim kuponu veya maddi bir teşvik teklif edilmesi durumunda %40'a çıktığı sonucuna varılmıştır (Lindsay, 2016). Yine başka bir araştırma, 17 ülkeden İnternet kullanıcılarının %27'sinin, karşılık olarak bir fayda veya ödül (Fiyatlarda indirim, kişiselleştirilmiş servisler vb.) olması durumunda bilgilerini paylaşmakta net bir şekilde istekli olduğunu ortaya koymuştur (Martin, 2017). ABD'de ise yetişkin popülasyonun %20-25 kadarı güvindikleri üreticilerle kişisel verilerini paylaşmaya sıcak bakmaktadır (Block, 2020).

Çizelge 1.2'de görüldüğü üzere, Bilgi, bir malvarlığı olarak ele alındığı takdirde, Bilgi'nin değerinin özellikle paylaşım (Kural-1, Kural-2, Kural-5), zamanında kullanım (Kural-3), doğru üretim ve işleme (Kural-4, Kural-6) aktivitelerinde saklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Şekil 1.2'de gösterilen ideal paylaşım senaryosuna ulaşmak hem Bilgi'nin değerini artırmak hem de aktörlerin, özellikle tüketicilerin,

Bilgi üretim, işleme ve Bilgi'den ekonomik fayda görme süreçlerine katılımını sağlamak adına önemlidir (Bucherer, 2011).

Çizelge 1.2 : Bir malvarlığı olarak bilgiyi, değerinin belirlenmesinde diğer malvarlıklarından farklı kılan yedi kural – The Seven Laws of Information (Moody, 1999).

Kural No	Bilgi'nin Yedi Kuralı
Kural-1	Bilgi, diğer partilerle, değerini kaybetmeden sonsuz olarak paylaşılabilir.
Kural-2	Bilgi, kullanıldıkça değerlenir ve kullanılmadığında hiçbir değeri yoktur.
Kural-3	Bilgi, çabuk bozulur, dayanıksızdır ve zamanla değerini kaybeder.
Kural-4	Bilgi'nin değeri, doğruluğu arttıkça artar.
Kural-5	Bilgi'nin değeri, başka Bilgilerle harmanlandığı zaman artar.
Kural-6	Çok Bilgi, daha iyi anlamına gelmez.
Kural-7	Bilgi, nadir bulunan veya tükenebilen bir öz kaynak değildir.

Gimpel(2020) karanlıkta kalan verinin aydınlığa çıkması ile yapılabilecek stratejik hamleleri dört grupta toplamıştır:

- **Aktif Karlılığı Artırmak**: Ekipman verimliliğini artırmak; öngörücü Bakım gerçeklemek; operasyon maliyetlerini düşürmek.
- **Tüketicilerin Yeniden Katılımını Sağlamak**: Farklı veri tabanlarındaki tüketici profillerinin birleşimini ya da etkileşimini sağlamak (Kural-5); görünmez bir tüketici deneyimi yaratmak; yeni nesil tüketicilerin değişken beklentilerine ve tercihlerine ayak uydurmak; tüketici ilişkilerini güçlendirmek.
- **Ürün Portföyünü Güncellemek**: Veriyi hali hazırdaki ürün ve servisleri tüketici ve üretici arasında kazan-kazan ilişkisi kuracak şekilde değerlendirmek; veri güdümlü yenilikçi ürünler sunmak.
- **Yeni İş Modelleri Keşfetmek**: Verinin farklı amaçlarla kullanımı ile kar getirebilecek alternatif yardımcı iş kolları geliştirmek; hizmet olarak çözüm (Solution as a Service) gibi yaklaşımlar sunmak.

Görüldüğü üzere, insan-merkezli yaklaşımı tamamlamak adına, IoT mimarilerinin ve iş modellerinin şirketlerin tekelinden kurtulup bütün aktörlerin çıkarlarını ve haklarını

gözetilen açık bir ekosisteme uyum sağlayacak şekilde evrilmesi gerekmektedir (Leminen, 2012). Ancak bu şekilde, Bilgi, IoT'nin her aktörü tarafından üretilen, hasat edilen, değerlendirilen ve maddi olarak faydalanılan bir malvarlığı olarak gerçek değerine ulaşım sistemin bütün aktörlerine tüm potansiyeli ile katkı sağlayarak kazan-kazan etkileşimine dayalı yeni bir çağ başlatabilir.

1.2.1.4 Güvenlik, emniyet ve müsaitlik endişeleri

IoT'nin, şirketlerin stratejilerine, kamu kurumlarının planlamalarına, endüstriyel ve ticari ürünlere, son kullanıcıların hayatlarına her geçen gün daha da artarak nüfuz etmesi sonucu gittikçe artan bağlantılı cihaz sayısı (Şekil 2.3) ile ortaya çıkan en büyük endişelerden biri bu kadar sayıda ve çeşitlilikte cihazın bu rekabetçi ve tehdit dolu İnternet ortamında (McCandless, 2020) kendini ve kullanıcılarını siber saldırılardan korumada ne kadar becerikli olabileceğidir. Pazara sürme baskısı sonucu aceleyle getirilen geliştirme süreçleri, art niyetli servis sağlayıcı ihtimalleri, art niyetli donanım ve yazılım alt yüklenicileri ihtimalleri, art niyetli teknik personel ihtimalleri, kullanılan teknolojilerin ve standartların toyluğu, güvenliğin hala bir yama olarak uygulanması, cihazların üzerindeki maliyet ve kısıtlı donanım baskısı gibi nedenlerin (Ng, 2019) bir araya gelmesi ile bu cihazların yarıdan fazlası (Yaqoob, 2017; Palo Alto Networks, 2020) asgari savunma teçhizatı ile kendini açık hedef olarak harp meydanında bulmaktadır. IoT cihazları için bugüne kadar kayda geçen güvenlik zafiyeti tespitleri ve bu zaafların kötüye kullanım örnekleri (Bugeja, 2016; Yaqoob, 2017; Ng, 2019; McCandless, 2020) değerlendirildiğinde, Akıllı Ev ortamında Çizelge 1.3'te sıralanan senaryoların ve benzerlerinin gerçekleşmesinin ne kadar olası olduğu görülebilir.

Akıllı Cihazların güvenliğine dair yakın tarihte meydana gelen bu olaylar, muhtemel senaryolar ve istatistiksel verilerin gösterdiği üzere, bu güvenlik açıkları, özel hayatın gizliliğinin ihlali (Bölüm 1.2.1.1), insanların ve yaşam ortamlarının emniyetinin tehlikeye düşmesi, cihazların kullanım konforunun ve müsaitliğinin bozulması gibi sonuçlar doğurarak, tüketiciler için hayati düzeye varabilecek, şirketler içinse ciddi saygınlık ve finansal kayıplara neden olabilecek bir tehdit olmaktadır. Çizelge 1.4'te derlendiği üzere, yapılan araştırmaların birçoğunda, güvenlik kaygılarının, tüketiciler ve geliştiriciler için IoT'nin benimsenmesinin önündeki en büyük engel olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 1.3 : Akıllı cihazların güvenlik zafiyetleri sonucunda oluşması muhtemel atak ve tehdit örnek senaryoları.

Saldırı ve Tehdit Senaryoları	Etkilenen Unsurlar
Akıllı cihazlar üzerinden evdeki mevcudiyet ve aktivite durumunun belirlenip (Srinivasan, 2008; Bugeja, 2016) bu bilginin eve hırsızlık teşebbüsünde bulunmak üzere kullanılması.	Emniyet
Ayarları veya yazılımı izinsizce değiştirilen akıllı bir fırının beklenenden ve ayarlanandan farklı bir şekilde pişirme yapması.	Müsaitlik ve konfor
Ayarları veya yazılımı izinsizce değiştirilen akıllı bir buzdolabının limitlerinin üstünde/altında soğutma yaparak bozulması veya içinde saklanan yiyecekleri bozması.	Müsaitlik ve maddiyat
Akıllı Cihazların WannaCry benzeri WannaWash, WannaVacuum gibi fidye yazılımlarına maruz kalması (Yaqoob, 2017).	Müsaitlik ve maddiyat
Uzaktan, yetkisiz ve kimlik doğrulama olmadan yapılan bir erişimle ocağın çalıştırılması sonucu evde yangın çıkması.	Müsaitlik ve emniyet
Cihazların DDoS atakları için kullanılması (Bugeja, 2016; Gupta, 2019; Ng, 2019) sonucu evde meydana gelen fazla elektrik tüketimi ve bunun faturaya yansması.	Maddiyat
Akıllı Ev asistanından toplanan verilerin tehdit/fidye unsuru olarak kullanılması veya kullanıcıyı kişiye özel reklama maruz bırakmak amacıyla maddi çıkar gözeterek analiz edilmesi (Bölüm 1.2.1.1).	Özel hayatın gizliliği

Çizelge 1.4 : Tüketicilerin IoT teknolojileri ile ilgili özellikle güvenlik ve emniyet konusunda endişelerini ele alan bazı araştırmaların bulguları.

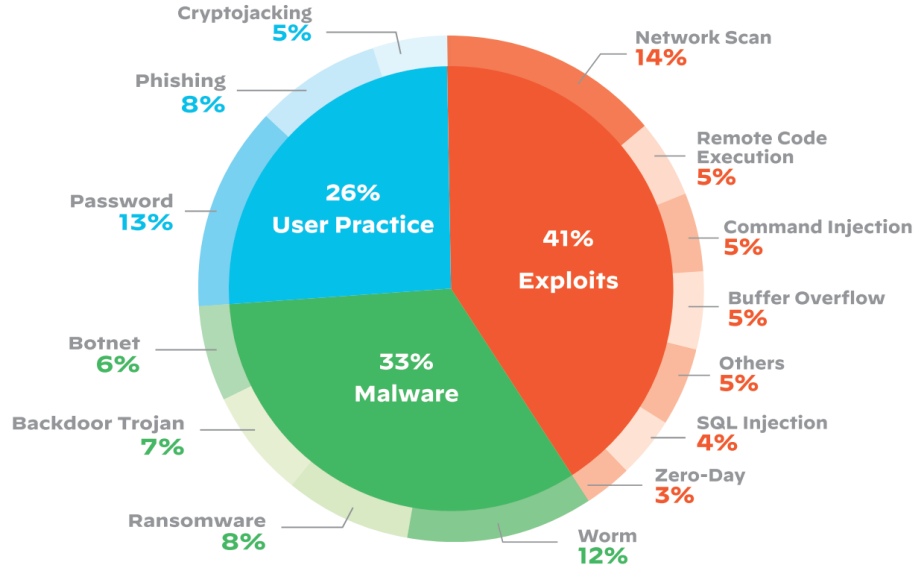
Kaynak	Araştırma Bulguları
Lindsay, 2016	Tüketiciler için, heklenme korkusu, Akıllı Ev teknolojilerini benimsemenin önündeki en ciddi engel olarak kabul edilmektedir.
Consumers International, 2017	Tüketicilerin %58'i, Otonom Araçlar, Akıllı Ev gibi dijital teknolojilerin emniyeti ile ilgili endişe etmektedir.
Eclipse IoT Working Group, 2018	IoT çözümleri üretirken, güvenlik, %39'luk bir oranla geliştiricileri açık ara en çok tedirgin eden konudur.
Internet Society, 2019	Akıllı Cihaz sahibi olmayan her üç kişiden birini, Akıllı Cihaz almaktan caydıran en önemli unsur güvenlik endişesidir.
Hong, 2020	Birçok tüketici, teknoloji ve yazılım problemlerinin, Akıllı Ev sistemlerinin kontrolünü kaybetmeye yol açacağı kaygısını duymaktadır.

Şekil 1.4'te görüldüğü üzere IoT ekosistemindeki güvenlik tehditleri, siber saldırganların ortaya sürdüğü kötücül yazılımlar (Malware), üreticilerin ve servis sağlayıcıların tasarım ve geliştirme süreçlerinde bilerek veya farkında olmadan

cihazda meydana getirdiği zaaflar (Exploits) ve tüketicilerin güvenlik ile ilgili yeteri bilinçte olmaması (User Practice) arasında neredeyse eşit bir dağılım göstermektedir. Siber saldırıların gelecek dönemlerde başkalaşan formlarda, daha geniş çeşitlilikte, daha etkin ve daha fazla sayıda (Cisco Public, 2020) var olacağı varsayımı ile, güvenlik ile ilgili endişelerin giderilmesi, teknolojik ve teknik yaklaşımların yanında, Akıllı Cihaz kullanıcısının da konu ile ilgili sosyal ve teknik bilincini belirli bir seviyeye çıkarmak, güvenli teknoloji tasarım süreçlerine tüketicileri de dahil etmek, Bölüm 1.2.1.2’de detaylandırıldığı üzere bu konuda da insan-merkezli yaklaşımlar uygulamak gibi zorlukları da barındıran çetrefilli bir maratondur (Chalhoub, 2020). Bu maratonda, özellikle Akıllı Ev teknolojilerinin benimsenmesinde kritik rol oynayan araştırma alanlarından biri de güvenlikten taviz vermeden tüketicilerin kolay kullanılabileceği sistemler tasarlamak ve güvenlik-kullanılabilirlik ödünleşmesini çözücü geliştirme süreçleri yaratabilmektir (Yee, 2004; Gupta, 2019; Chalhoub, 2020). Tüm bu endişelerin giderimi için gerekecek kaynak ve çabaların bütünü, IoT siber güvenlik pazarının değerini, %33,7’lik CAGR ile artırarak 2023 yılına gelindiğinde 35,2 milyar dolarlık bir seviyeye ulaştırması beklenmektedir (Markets and Markets, 2019).

1.2.1.5 IoT’nin gerçek potansiyeline henüz ulaşamamış olması

Yeni gelişen teknolojilerin, özellikle de ticari olanların, ortaya atıldıktan itibaren kabul görme aşamasına gelişi, bulunduğu çağın ve toplumların politik, ekonomik, teknik ve sosyolojik durumlarının, bireylerin psikolojik, etik ve kültürel değerlerinin, işletmelerin stratejik ve finansal önceliklerinin, akademinin ve enstitülerin ilgisinin ve yaratıcılığının etkisinde çok boyutlu bir şekilde etki alanları arası araştırmalarla değerlendirilmesi gereken bir süreçtir (Krotov, 2019). Teknolojiler ekosistemi olarak IoT, çok büyük çaplı ve katmanlı bir etki yaratma potansiyeline sahip, hitap ettiği uygulama alanı yelpazesi çok geniş olan, birçok endüstriye, ürüne, servise, iş modeline, geliştirme ve üretime süreçlerine ve de insan hayatına direkt etkiyecek devrimsel inovasyonlara gebe olan son yılların ezber bozan paradigması olarak addedilmektedir (Manyika, 2013; Dachyar, 2019).

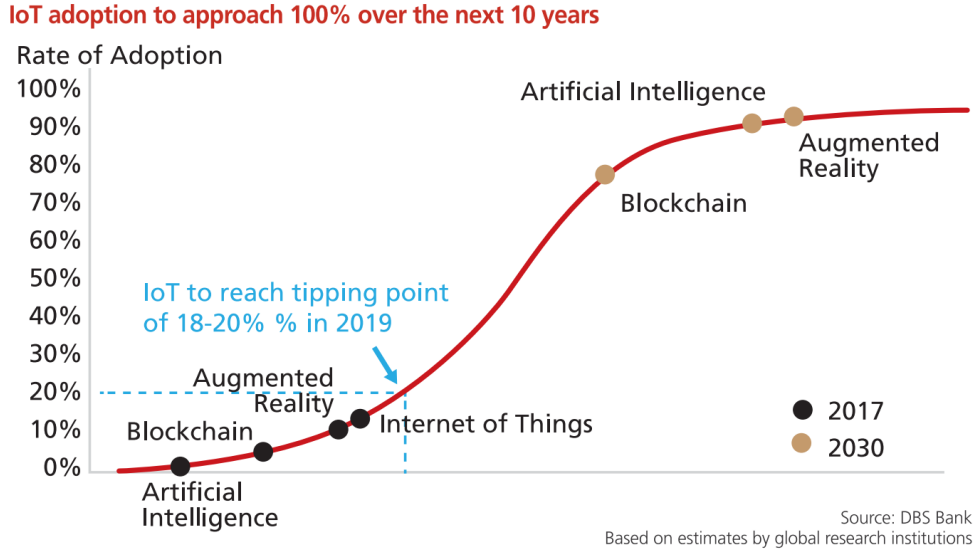


Şekil 1.4 : IoT’de en sık karşılaşılan tehditlerin dağılımı (Palo Alto Networks, 2020).

Peki IoT, çıktığı bu inovasyon yolculuğunda, kabul görme ve gerçek potansiyeline ulaşma açısından günümüzde hangi aşamada?

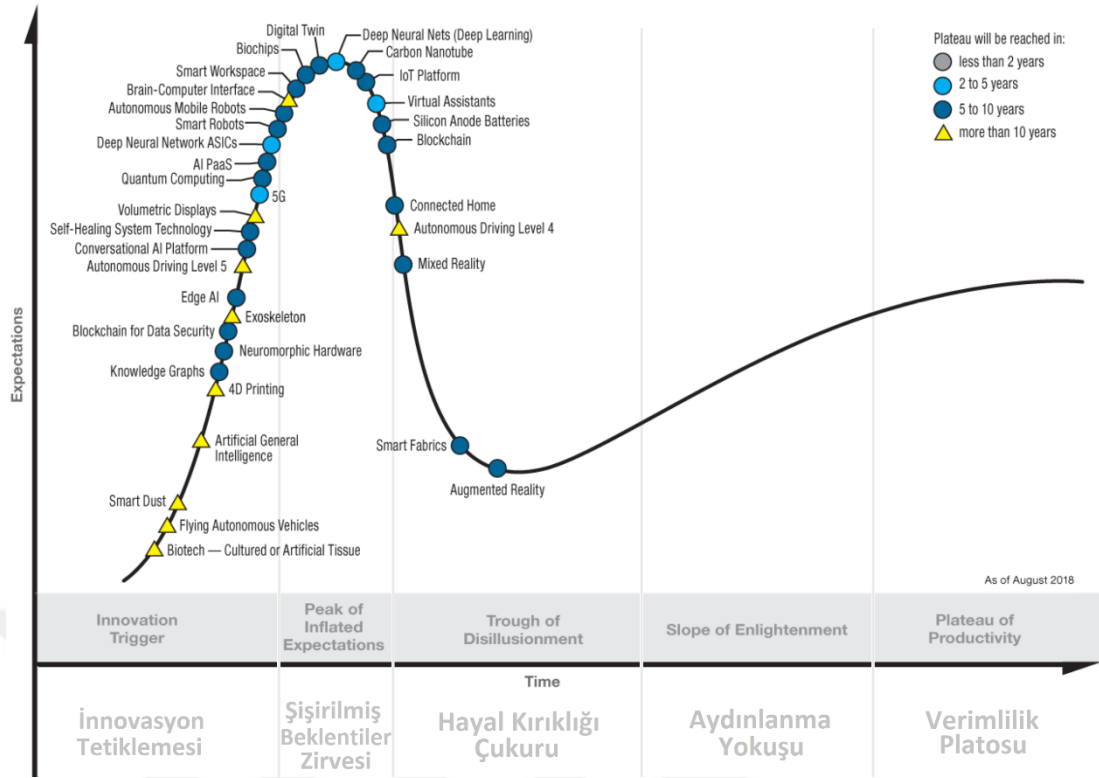
- Mittal(2018), IoT ve IoT’deki zorluklara çözüm olma potansiyeline sahip Blok Zinciri, Yapay Zekâ, Artırılmış Gerçeklik teknolojilerinin benimsenmesinin önümüzdeki 10 yıl içindeki gelişim beklentisini, Everett M. Rogers’ın Yeniliklerin Yayılması Modeli (Rogers, 1962) ile incelemiş ve Şekil 1.5’teki kestirimi elde etmiştir. Bu modele göre teknolojilerin, özellikle yenilikçi ve erken benimseyici bir grup tarafından kullanılmaya başlanıp %10 ile %25 arası bir kabul oranı arasındaki kritik eşiği aştıktan sonra hızlanarak yayılması beklenmektedir.
- Şekil 1.6, Gartner tarafından geliştirilen ve teknolojilerin olgunluk, benimsenme ve uygulamaya geçme sürecini inceleyen Hype Cycle modeli üzerinde IoT ekosisteminde kullanılacak trend teknolojilerin bu beklenti döngüsünde bulunduğu yerleri ve gelişimlerinin kestirimini göstermektedir. Özellikle bu çalışmanın da direkt veya dolaylı olarak parçası olan, IoT Platformları (IoT Platforms), Blok Zinciri (Blockchain), Dijital İkiz (Digital Twin), Akıllı Ev (Connected Home), Akıllı Çalışma Alanı (Smart Workspace), Kendi Kendini İyileştiren Sistemler (Self-Healing Systems) ve Kenar Bilişim Yapay Zekâ (Edge AI) gibi teknolojilerin buldukları yerlere ve bu teknolojilere dair beklentilere bakılarak IoT’nin benimsenme durumu ile ilgili bir fikir edinilebilir.

Bu kestirimlerin ışığında, IoT ekosistemini besleyen teknolojilerin, günümüzde kritik eşiği veya hayal kırıklığı çukurunu aşma mücadelesinde olduğu ve önümüzdeki on yıl içerisinde benimsenmiş teknolojiler olarak verimlilik platosuna ulaşması beklendiği çıkarımı yapılabilir. Aynı teknoloji toyluğu durumu, Akıllı Ev uygulamasının yayılım hızının düşüklüğü için de geçerlidir (H. Yang, 2017).



Şekil 1.5 : IoT'nin ve IoT'ye destek teknolojilerin benimsenme oranlarının değişimi (Mittal, 2018).

Tüketicinin, IoT teknolojilerini evinde kullanırken tereddüt etmesine neden olan ve Bölüm 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.3 ve 1.2.1.4 detaylandırılan bütün endişelerin giderilmesinin ilk ve kilit adımı bu endişelere ve Bölüm 2.1.2'de listelenmiş güncel teknik zorluklara çözüm potansiyeli olan ilgili teknolojilerin araştırılıp, uygun teorik olgunluğa getirilip, geliştirilip, yeterince test edilip, doğruluğu onaylandıktan sonra yaygın bir kullanım sonrası pratik olarak da kabul edilip benimsenmesidir. Tüketicilerin, endişelerinin giderilmesi yanında, IoT'deki zorluklara ve bu zorlukların çözümünde kullanılacak teknolojilere dair beklentilerinin de hesaba katılması önemlidir.



Şekil 1.6 : Trend teknolojilerin 2018 yılındaki beklenti döngüsü (Hype Cycle) görünümü (Gartner Inc., 2018).

Örneğin, tüketicilerin %66'sı, IoT'nin heterojen yapısının getirdiği zorluklardan biri olan beraber-çalışabilirlik ilkesi kapsamında, farklı üreticilerden satın aldığı cihazların birbirleri ile haberleşebilmesini beklemektedir ki (Dale, 2016) McKinsey'e göre de beraber-çalışabilirlik IoT'den azami fayda sağlamada kritik önem arz etmekte ve IoT'nin potansiyel değerinin yaklaşık %40'lık bir kısmını açığa çıkarmada kilit rol oynamaktadır (Manyika, 2015). Biraz daha geniş açıdan bakıldığında da IoT'de beraber-çalışabilirliğin iyileştirilmesinin, Bilgi'nin değerini artırmaya yönelik olarak Çizelge 1.2'de yer alan Kural-5'i gerçeklemeye dair yapılabilecek en etkili gelişim olduğu görülebilir. Benzer bir örnekle, IoT'de güvenlik ve gizlilik sağlayan teknolojilerin uygulanması güven veren bir seviyeye gelmeden, bu engellerin giderilmesi için yapılan her türlü çalışma geçici bir yama olmaktan öteye gidemeyecektir. Yine benzer olarak, Bilgi'nin özgür dolaşımını, insan-merkezli yaklaşımın gerçek anlamda dağıtık bir altyapı üzerinde kurulumunu, teknolojik ilerleme olmadan çözmek mümkün değildir.

Yapılan bir araştırmada, esas olarak Akıllı Ev uygulamalarının altyapısında yer alan teknolojilere ve ürünlerin kalitesine güven duyabilmenin önemli olduğu ve

tüketicilerin sahip oldukları endişelerin şirketlerce lafta reklamlarla veya göstermelik pazarlama stratejileri ile giderilmesinin tüketiciler nezdinde daha fazla tereddüde yol açabileceği tespit edilmiştir (Hong, 2020). Daha kolay kurulum süreçleri, geliştirilmiş kullanılabilirlik, teknolojik ve katma değeri yüksek daha sofistike özelliklerin sezgisel kullanıcı tecrübesi oluşturacak basitleştirilmiş ara yüzlerle sunulması da tüketicilerin bu alandaki beklentileri arasındadır (Lindsay, 2016; Richter, 2019; Hong, 2020). Sonuç olarak, IoT'nin içinde bulunduğu bu yolculukta, IoT'yi bekleyen güncel teknik zorlukları çözecek platformların tasarlanması, alternatif teknolojilerin harmanlanması, araştırmaların derinleştirilmesi ve bu süreçlerin her bir aşamasında tüketicinin tereddütlerinin ve beklentilerinin en öncelikli girdiler olarak ele alınması, IoT ekosistemini verimlilik platosuna ulaştıracak geliştirme döngüsünün devinimidir.

1.2.2 Benzer modelleme çalışmaları

IoT'deki zorlukların çözümü, Akıllı Ev teknolojilerinin tüketici için daha çekici kılınması ve bu kapsamda IoT nesnelere sosyal ve bilişsel bir boyut kazandırılması güncelliği giderek artan konular olarak literatürde yer bulmuştur. Çizelge 1.5, özellikle bu çalışma ile aynı paralelde, benzer teknolojilerin harmanlanması ile kurulan modelleme yaklaşımlarına ve bu yaklaşımların bu çalışmayla olan ilişkisine kısa bir bakış atmaktadır.

Bunların yanında, Gartner tarafından 2020 yılı için belirlenen İnsan-merkezi Akıllı Alanlar ana teması üzerine kurulmuş, önde gelen stratejik teknoloji trendlerinden, Demokratikleşme (insanların teknik ve işletme donanımlarının artırılarak teknolojilere her seviyede daha kolay dahil olmalarının sağlanması), Şeffaflık ve Takip Edilebilirlik (Veri gizliliği, mülkiyeti ve kontrolü), Kenar'ın Yetkilendirilmesi (Kenar'da veri analizi ve yapay zeka uygulamaları, Dijital İkizlerin Kenar'a yerleştirilmesi), Dağıtık Bulut (Kenar'ın kabiliyetlerinin artırılması, dağıtık ve portatif mimariler için konteynır teknolojilerinin kullanımı), Otonom Nesnelere (Otonom yeteneklerin ve insan kontrolünün bir araya gelere kolektif ve akıllı bir yapı oluşturması) ve Pratik Blok Zinciri (Blok Zinciri'nin çeşitli alanlarda pratik kullanımının yaygınlaşması), dolaylı veya direkt olarak bu tez çalışmasının ele aldığı konuları, güncelliğini ve katkısını destekler yönde bir değerlendirme sunmaktadır (Cearley, 2019).

Çizelge 1.5 : Benzer modelleme çalışmaları üzerine literatür taraması.

Kaynak	Akıllı Ev (SH) veya SH benzeri ⁽¹⁾	Dijital İkiz (DT) veya DT benzeri ⁽²⁾	Sis Bilişim veya Sis benzeri ⁽³⁾	DLT (Blok Zinciri ve diğerleri) veya DLT benzeri ⁽⁴⁾	Öngörücü Bakım (PdM) veya benzer uygulamalar ⁽⁵⁾	Sosyal Nesnelerin İnterneti (SloT) veya SloT benzeri sosyal etkileşim	Bilişsel Nesnelerin İnterneti (CIoT) veya CIoT benzeri bilişsel yetenek	Değerlendirme Notları
Kelaidonis, 2012	■	▲			▲		■	Akıllı Ev ortamındaki gerçek nesnelerin bir ağ geçidi üzerinde sanal nesnelerini bulundurma fikrinin ilk defa ortaya atılması ve de bu nesnelerin bilişsel olarak yönetimi ve üzerlerinde IoT uygulamaları geliştirilmesini sağlayan yapının önerimi.
Voutyras, 2014		▲	▲	▲	▲	■	▲	Nesnelerin sanal birimlerinin dağıtık ve otonom yönetimini sağlayan ve de arkadaşlık yönetimi, sosyal izleme ve sosyal analiz birimlerine sahip COSMOS platformu üzerinde iletişimle tecrübe paylaşımı ve öğrenme uygulaması.
Farris, 2015	■	▲	▲	▲		■		Bulut'a benzer servisleri Kenar ağ geçitleri üzerinden sağlayarak nesnelerin sanal imgeleri arasında dağıtık bir ağ kuran INPUT mimarisini üzerinde SloT uygulaması.
Hardjono, 2016	■			■	▲			Akıllı Ev ortamında anonim ve gizlilik-farkında bir şekilde Cihazların konuşlandırılmasını ve kaydı ve de Cihaz sahiplerinin Cihaz verilerini satışı mümkün kılan Blok Zinciri geliştirilmesi.
Seitz, 2017	■		■		▲			Akıllı Ev ortamında Sis Bilişim sistemleri üzerinde uyumsuzluk çözümü ve karar desteği sağlayan FRODO mimarisinin önerimi.
Alam, 2017		■			▲	▲		Bulut'a yerleştirilmiş Dijital İkizlerin oluşturduğu C2PS olarak isimlendirilen siber fiziksel sistem üzerinde hesaplama, kontrol ve haberleşme özelliklerinin geliştirilmesi ve bağlantılı araç üzerinde sigorta, acil durum ve sürüş-destek servisleri için uygulanması.
Girau, 2017		▲		▲		■		Bulut üzerinden sağlanan Hizmet-olarak-Platform servisleri üzerine konumlandırılan ve tekrar-kullanılabilir şablonlardan üretilen sosyal sanal nesnelerin otonom ve kısmi dağıtık olarak ilişki kurduğu Lysis mimarisini.
Samaniego, 2017		▲	■	■	▲		▲	Blok Zincirine katılma kabiliyetine sahip Sis düğümleri üzerinden haberleşerek gerçek zamanlı olarak kendini gözlemleyebilen ve kendi için çıkarımda bulunabilen akıllı nesnelerin tasarımı ve geliştirilmesi.
Baccarelli, 2018		▲	■		▲	■		Önerilen Sis tabanlı SloT paradigması ile, nesnelerin Sis'te konumlanan sanal klonları üzerinden kuracakları sosyal ilişkiler ile IoT uygulamalarındaki enerji ve gecikme gelişiminin incelenmesi.
Novo, 2018	▲		▲	■				Kablosu sensör ağlarından kurulu Akıllı Alanlarda, Blok Zinciri'ne bağlantı kabiliyeti bulunan bir Ağ Geçidi üzerinden ölçeklenebilir, güvenli ve dağıtık bir erişim yönetimi mimarisini önerimi.
Ploennigs, 2018	■		▲		■		■	Akıllı binalarda, binadaki sensörlerin çıktılarını semantik araçlar üzerinden bilişsel olarak analiz ederek kendi kendine öğrenen ve kendini gözlemleyerek kullanıcılara hata teşhisi desteği veren CIoT mimarisini önerimi.
Zhu, 2018	▲	▲	■	■	▲	■		Akıllı alanlarda bulunan nesnelere Blok Zinciri tabanlı sosyal ağlar kurabilen Sis düğümleri üzerinden kimlik yönetimi, denetimi ve erişim kontrolü servislerini Hizmet-olarak-Güvenlik şeklinde sağlayan FOCUS mimarisinin önerimi.
Baig, 2018	■				■		■	Akıllı Ev cihazları için algılama, kayıt ve karar katmanlarından oluşan, IoT ve haberleşme teknolojilerini için bilişsel bir mimari önerimi.
Cech, 2019	▲	▲	■	■	▲			Konteynır orkestrasyonu ile sanallaştırılmış Blok Zinciri ve ağ kabiliyetlerine sahip olan Sis düğümleri üzerinde sensör verisi depolama ve sensör verisi paylaşımı uygulaması.
Gopinath, 2019	■	■			▲			Akıllı Ev'in bütünü için dijital ikiz tasarlanması, oluşturulması ve Bulut'ta çalıştırılması ile kurulan sistem üzerinde uygulanan deneyim enerji verimliliğinin iyileştirilebileceğinin kanıtlanması.
Gill, 2019	■		■		▲			Akıllı Ev ortamında Sis Bilişim sistemleri üzerinde toplanan servis kalitesi (QoS) verileri üzerinde parçacık sürü optimizasyonu çalıştırarak dinamik kaynak yönetimi yapan ROUTER teknolojinin önerimi.
<p>■ Paradigmanın kendisinden direkt olarak bahseden kaynak. ▲ Paradigmanın benzeri konseptlerden bahseden kaynak.</p> <p>Notlar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Akıllı Alanlar, Akıllı Şehirler gibi Akıllı Ev'e uygulanabilir benzer alanları konu alan çalışmalar. 2. Sanal Nesne, Sanal Klon, Sanal İmge, Sanal Varlık, Sanal Birim gibi Dijital İkizlere benzer özellikteki yaklaşımları inceleyen çalışmalar. 3. Direkt olarak Sis Bilişim yerine Kenar'a veya Kenar'a yakın konumlanan Bulutçuk (Cloudlet) gibi mimari yapıları konu edinen çalışmalar. 4. Herhangi spesifik bir Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi yerine genel olarak dağıtık bir etkileşimden bahseden çalışmalar. 5. Veri analizi, kontrolü, birlikte eniyileme, veri füzyonu gibi süreçler içeren uygulamalar. 								

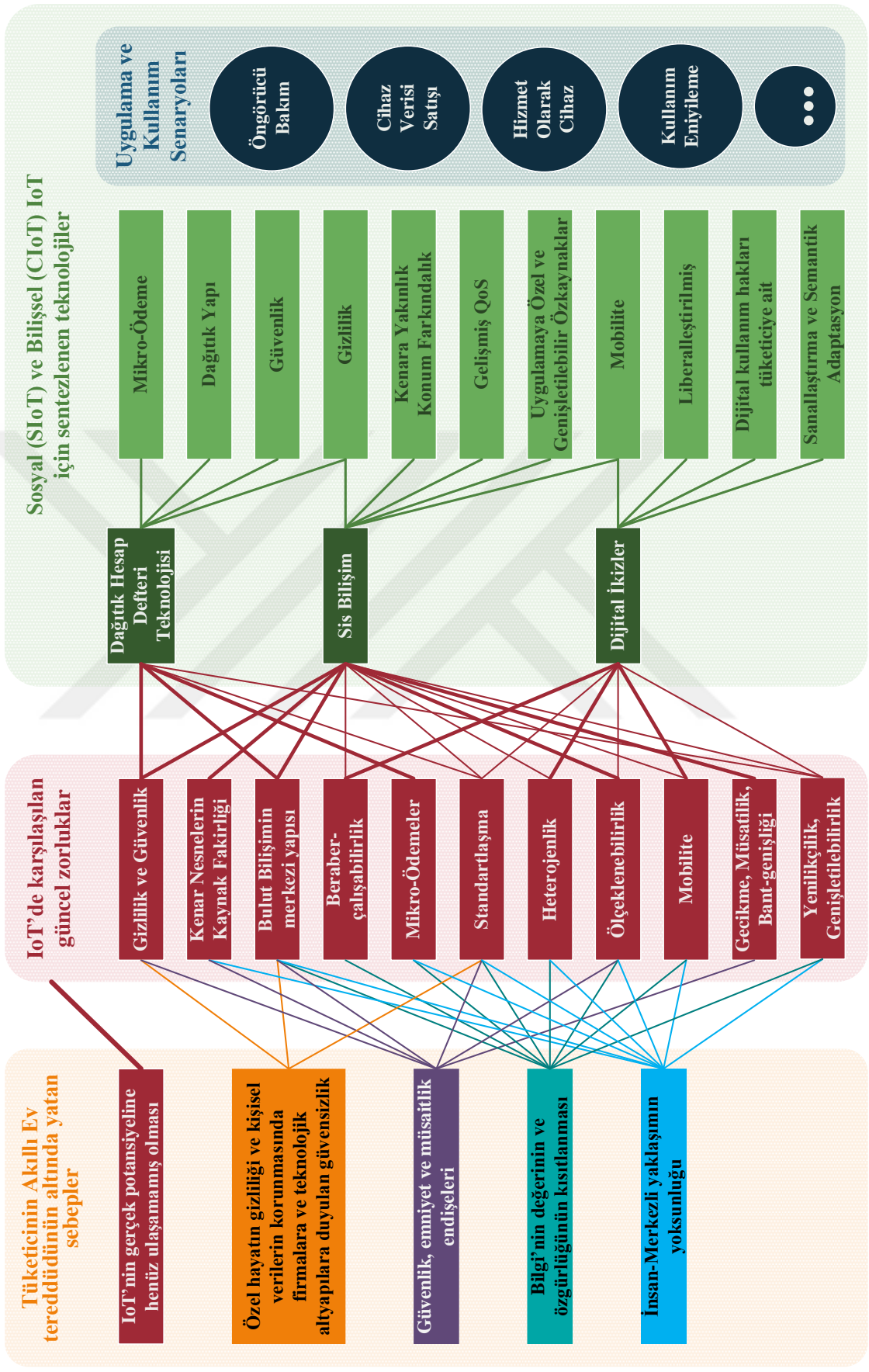
1.3 Teorik Çalışmalar

1.3.1 Teknoloji sentezi

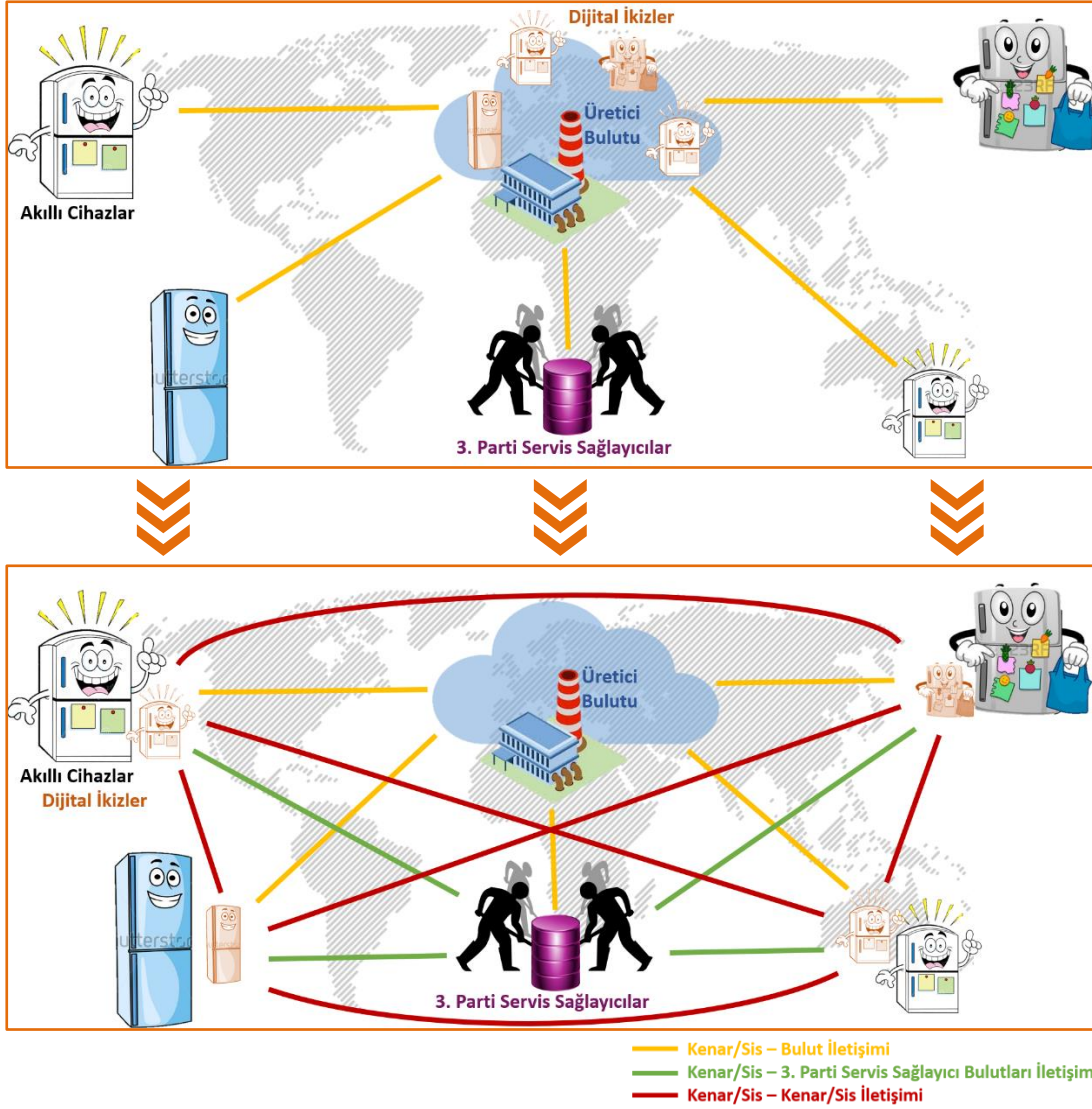
Bu tez çalışmasının Bölüm 1.2.1’de incelenen tüketici tereddütlerini, Bölüm 2.1.2’de detaylandırılan IoT zorlukları ile ilişkilendirdiği çıkış noktasından, önerdiği modelin gereksinimlerini ve model üzerinde amaçladığı teknoloji sentezini oluşturmaya kadar gösterdiği teorik yaklaşım, Şekil 1.7’de özetlenmiştir.

1.3.2 Dijital ikizlerin liberalleşmesi

Dijital İkiz, Bölüm 2.2’de ortaya konulduğu üzere, günümüzde daha çok endüstriyel sistemlerin ilgi duyduğu bir kavram olup bu kavramın gerçek anlamıyla ticari cihazlarda kullanımı hem bu cihazların daha karmaşık ve daha akıllı bağlantı senaryolarına gereksinimlerinin artması hem de bu cihazların ikizlerini barındıracak sistemlerin hesaplama, depolama ve bağlantı birim maliyetlerinin düşerek yaygınlaşması ile mümkün ve anlamlı görünmektedir. İşte bu yaygınlaşma sürecinde, IoT’deki zorlukların çözümü ile beraber tüketicilerin tereddütlerini giderecek şekilde yetenekleri artması beklenen Akıllı Ev cihazlarının dijital ikizlerinin, Bölüm 3.1.3 ve 3.1.4’te detaylı olarak açıklandığı ve Şekil 1.8’de gösterildiği üzere, merkezî Bulut sistemlerinin kısıtlarından ve üreticilerin tekelinden kurtulup dijital ve ekonomik olarak özgür ve dağıtık bir ekosistem oluşturması, bu tez çalışması tarafından radikal bir yaklaşım olarak öne sürülmüştür. Bu yaklaşım, özellikle gelişmiş güvenlik ve iletişim altyapılarının kullanımı ile, özel hayatın gizliliğini, Bilgi’nin özgürlüğünü ve insan-merkezli kullanım senaryolarını gerçekleyerek bütün oyuncularına liberal ve kazan-kazan ilişkisine dayalı bir ekosistem sunabilecek önemli bir alternatif olarak araştırılmaya değerdir.



Şekil 1.7 : Tüketicinin tereddüdünün giderilmesi ve IoT'deki zorlukların çözümü için bu tezin temel aldığı teknoloji sentezine genel bir bakış.



Şekil 1.8 : Bulut'tan Sis sistemlerine taşınan dijital ikizlerin, oluşturulan dağıtık yapı ve bilgiye sağlanan paylaşım özgürlüğü ile liberalleştirilmesi.

1.3.3 Bilgi hiyerarşisi (DIKW Piramidi)

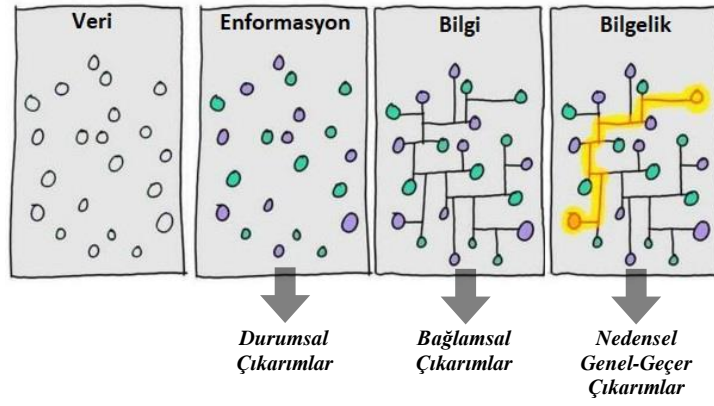
Son olarak, bu tez çalışmasının teorik olarak irdelediği ve önerdiği modeller farklı bir bakış açısı getirdiği konu, IoT ekosisteminden üretilen Veri'den Bilgelik oluşturma süreci ve bu sürece ilgili katmanların nasıl dahil olacağı konusudur. Şekil 1.9'da gösterildiği üzere geleneksel Bulut odaklı mimarilerde, Veri'den üretilen (veya çoğunlukla üretilmesine fırsat dahi bulunamayan) Enformasyon, Bilgi ve Bilgelik bulunduğu Bulut sisteminin bir parçası iken, önerilen mimari yaklaşımda, Bilgi'nin her halinin hem üretim hem de kullanımının daha açık, dağıtık, akıllı, paylaşımlı,

sosyal ve bilişsel bir değişimle, Bölüm 1.2.1.3'te bahsedildiği şekilde, özgür, eşitlikçi, katılımcı ve ulaşılabilir kılınmasına yönelik bir çaba gözetilmiştir.



Şekil 1.9 : Bilgi Hiyerarşisi'nin (DIKW Piramidi) (Ackoff, 1989) geleneksel ve önerilen yaklaşımla gösterimi.

Bilgi Hiyerarşisi'nin izlediği süreç, Şekil 1.10'da resmedildiği ve Çizelge 1.6'te örneklerle açıklandığı gibi, Veri'nin ham sinyaller ve ölçümler olarak toplanmasıyla başlayıp; Veri'nin anlamlandırma, organize edilme ve yapılandırılma sonrası Enformasyon'u ve Enformasyon'un da analiz edilme, bağlam ve içerik katılma sonrası Bilgi'yi oluşturmasıyla devam edip; bütünsel ve nedensel olarak ele alınan Bilgi'den Bilgelik üretilmesiyle sonuçlanmaktadır.



Şekil 1.10 : Veri, Enformasyon, Bilgi, Bilgelik kavramlarının ve birbirleriyle ilişkilerinin görsel anlatımı¹⁰.

Çizelge 1.6 : Bilgi hiyerarşisinin geleneksel ve önerilen yaklaşımlar üzerinde örneklerle açıklanması.

Bilgi Hiyerarşisi	Akıllı Veri	Paylaşımlı Enformasyon	Sosyal Bilgi	Bilişsel Bilgelik
Geleneksel Yaklaşım	Sensör çıktıları, ölçümler, ham gözlemler.	Hangi verinin nereden, ne zaman, kim tarafından, ne miktarda elde edildiği gibi soruların cevapları ile anlamlandırılıp, organize edilmesi ve durum kapsamında uygulanması.	Enformasyonların analizi sonucu belirli bir bağlam ve içerik oluşturulması ve bağlam kapsamında uygulanması.	Bilgilerin bütünsel olarak ele alınıp belirli bir nedensellik harmanlanması ile genel-geçer ve ortak anlayış çıktıları oluşturulması.
ÖRNEK	<i>Titreşim sensörü çıktıları.</i>	<i>Özbeir tanımlı Akıllı Buzdolabı'nın motorunun titreşim sensöründen alınan tarih ve zaman damgalı sensör çıktısı.</i>	<i>Akıllı Buzdolabının titreşim ve diğer enformasyonlarını kullanarak performans durum tespiti yapılması.</i>	<i>Titreşim Bilgisi'nin Öngörücü Bakım ve diğer algoritmalarda nasıl kullanılacağına ilişkin anlaşılması.</i>
Önerilen Yaklaşımın Eklentileri	Sensörlerden adaptif ve selektif olarak toplanan veriler.	Elde edilen enformasyonun veri kaynağı sahibinin izin verdiği ölçüde açık ve ulaşılabilir olması.	Enformasyonların analizinde sosyal ilişkilerin kullanımı ile oluşturulan bağlam ve içeriğin geliştirilmesi.	Disiplinler-arası daha üst bir algı yaratılması, karar sürecinin daha özel durumları da kapsayacak şekilde geliştirilmesi.
ÖRNEK	<i>Titreşim sensörünün (örneğin enerji veya algoritma eniyileme için) daha seyrek veya değişken periyotlarla okunması.</i>	<i>Akıllı Buzdolaplarına ait titreşim enformasyonunun açık bir ekosistem içinde paylaşımı ile daha fazla Bilgi sunucusu tarafından daha verimli kullanımı.</i>	<i>Performans durum tespiti yapılırken benzer durumdaki diğer Akıllı Buzdolaplarının da bilgilerinin kullanılması.</i>	<i>Titreşim Bilgisi'nin Öngörücü Bakım algoritmalarında kullanımında iklim, ortam ve kullanıcı davranışı etkilerine de dikkat edilmesi.</i>

¹⁰ Özgün fikri Hugh McLeod ait olan David Somerville illüstrasyonu temel alınarak hazırlanmıştır.

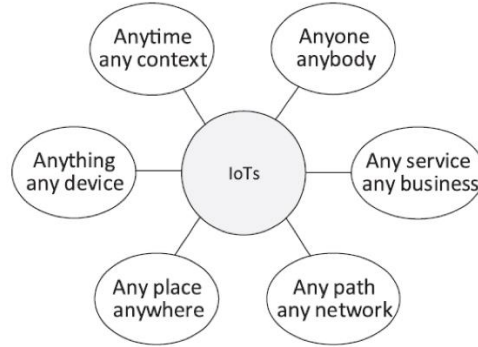
2. TEKNOLOJİ SENTEZİNİN MANTIKSAL ÖRGÜSÜ

Bu bölüm, önerilen modele temel oluşturan kavramların açıklanmasına, bu kavramlarla ilgili literatürde yer alan önemli çalışmalara ve bu kavramların bir çözüm üretmek adına nasıl bir arada kullanılabileceğine dair incelemelere yer vermektedir.

2.1 Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) kapsayıcı bir tanımı, bu konuda önde gelen RFID Topluluğu, Nesnelerin İnterneti Avrupa Araştırma Kümesi (IERC) ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) gibi otoritelerin IoT tanımları harmanlanarak aşağıdaki şekilde yapılabilir (Razzaque, 2016):

“IoT, dünya çapında özebir adreslenebilen insanların ve nesnelerin herhangi bir zamanda, herhangi bir yerden herhangi başka bir nesne veya kişi ile herhangi bir yol ve ağ üzerinden herhangi bir servisi kullanarak kurdukları bağlantılar ekosistemidir (Şekil 2.1).”



Şekil 2.1 : IoT'nin tanımı (Razzaque, 2016).

1999 yılında Kevin Ashton tarafından ilk defa ortaya atıldığı günden itibaren, sahip olduğu uygulama alanlarının çeşitliliği ve etki gücü (Şekil 2.2) ile IoT, akademik çalışmalarda, işletmelerin stratejilerinde, devletlerin ve kuruluşların teknoloji politikalarında ve bireylerin sosyal hayatlarında edindiği yeri her geçen gün genişletmeye, popüleritesini ve kabul edilirliliğini artırmaya ve de geleneksel sistemlere

farklı boyutlar ve yenilikçi yaklaşımlar kazandırmaya devam etmektedir (Routh, 2018). Şekil 2.3'te gösterildiği üzere de IoT'nin bu trendinin sürmesi ve 2025 yılında yıllık 11,1 trilyon dolarlık yatırım potansiyeli ile dünya ekonomisinde %11'lik bir paya sahip olması beklenmektedir (Manyika, 2015).



Şekil 2.2 : IoT'nin uygulama alanlarına ve bu alanların ekosistem içindeki dikey ve yatay etkileşimlerine genel bir bakış (Al-Fuqaha, 2015).

IoT, uygulama alanı alternatifleri, mimarisi ve altyapısı, haberleşme teknolojileri ve protokolleri, standartlaşma çalışmaları, sosyal ve etik boyutu, barındırdığı zorluklar ve bu zorlukları kolaylayabilecek yaklaşımlar gibi birçok açıdan hem genel hem kolektif hem de ülkelere, durumlara, alanlara ve sistemlere özel birçok akademik, endüstriyel ve kurumsal çalışmanın konusudur (Al-Fuqaha, 2015; Čolaković, 2018). Bu tez çalışması ise belirli bir alana özel bir IoT uygulaması olarak, bütünü ile IoT'nin ilgi alanına giren çeşitli konulara temas etse de IoT olgusunun kendisini kapsamlı bir şekilde ele alma amacı taşımamaktadır. Dolayısı ile bu bölümde, sadece bu çalışmanın özellikle temas ettiği Akıllı Ev uygulama alanı kısaca tanıtılmış ve IoT'de karşılaşılan zorluklara, daha sonra atıf yapabilmek adına, genel bir bakış atılmıştır.

2.1.1 Bir IoT uygulama alanı olarak akıllı ev

Genel olarak, Akıllı Alanlar, insanların ve teknolojiyle donatılmış sistemlerin, açık, bağlantılı, eş-güdümlü ve akıllı ekosistemler üzerinde etkileşim kurduğu fiziksel veya dijital ortamlardır (Cearley, 2018). Akıllı Alanların en yaygın uygulama alanı olan Akıllı Ev ise, IoT becerileri ile donatılmış ev tipi cihazların ve bu cihazların kullanıcılarının birbirleriyle her yönde iletişim kurduğu bir haberleşme ağına sahip, kontrol ve algılama mekanizmalarının kullanıcıların hayatını kolaylaştıracak ve yaşam kalitesini artıracak biçimde akıllıca ve uzaktan yönetimine imkân veren ev ortamıdır (Hong, 2020).

Akıllı Ev teknolojileri, hane halkına, ev ortamında bulunan Bölüm 2.1.1.1’de listelenen ev tipi cihazları ayarlarken veya kullanırken istedikleri zaman ve daha az dahil olmalarını gerektirecek karar desteği ve kaliteli bilgilendirme servisleri sağlamak, cihazların otomatik kontrol süreçlerine rahat, huzurlu ve tek-elden katılımlarına imkân vermek, daha gelişmiş erişim yönetimi, enerji kontrolü, güvenlik, eğlence ve hayat tarzı planlamasını mümkün kılmak gibi amaçlar taşımaktadır. Bunun yanında, geliştirilebilir, dinamik ve çevre dostu olmak, yaşam kalitesini ve enerji verimliliğini artırmak, uzaktan bağlantı, düzenli denetim, otomatikleştirilmiş kontrol gibi servisler sağlamak, evde yaşlı bakımı, destekli yaşam tesisi gibi uygulamalara imkân vermek Akıllı Ev’in potansiyel faydaları arasında sayılabilir (Baig, 2018; Balakrishnan, 2018).

2.1.1.1 Ev tipi ve akıllı cihazlar

İnsanların günlük hayatlarında, özellikle ev ortamında kullandıkları, her türlü dijital ve elektronik ürün ev tipi cihazlar olarak tanımlanmaktadır. Elektrik şebekesinden, bataryadan veya yenilenebilir enerjiden güç alan bir elektronik donanıma sahip, ev ortamındaki her türlü ışıklandırma, küçük mutfak aleti (tost makinesi, su ısıtıcısı vb.), beyaz eşya (çamaşır makinesi, buzdolabı, bulaşık makinesi vb.), el aleti (matkap, mesafe-ölçer vb.), kişisel bakım (tırış makinesi, saç kurutma makinesi vb.), eğlence (televizyon, radyo, oyun konsolu vb.), haberleşme (telefon, bilgisayar, modem vb.), ev ofisi (yazıcı, monitör vb.), bahçe (mangal, güneşlik vb.), ısınma (soba, kombi vb.), iklimlendirme (klima vb.), sağlık bakım (tansiyon aleti, ateş-ölçer vb.), enerji (sigorta, akıllı şebeke kontrol üniteleri vb.), ev güvenliği (otomatik kilit, gözetleme kamerası vb.) ve hatta elektronik fonksiyonlar eklenmiş mobilya (koltuk, yatak vb.) ürünleri ev

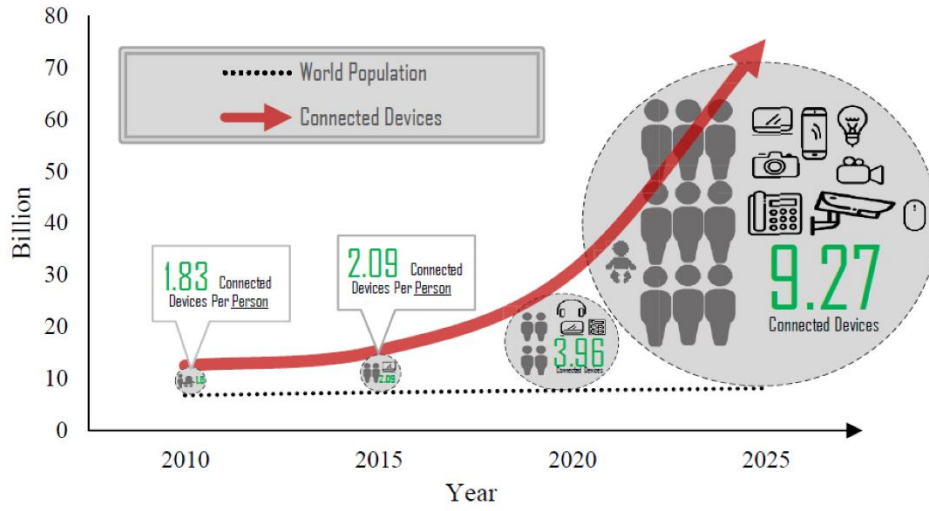
tipi cihazlar kapsamında değerlendirilebilir (Schiefer, 2015). Akıllı Cihaz ise, bir IoT düğümü veya IoT düğümü kümesi olarak, bağlantı kabiliyetine sahip olan veya bağlantı kabiliyetine sahip bileşenler içeren ve sahip olduğu bu kabiliyetle temel işlevlerini belirli bir ölçüde interaktif ve otonom olarak yürütebilen cihazdır.

Bu çalışmada yer alan önermeler, modeller, uygulamalar ve örnekler, direkt olarak veya ilave araştırmalar sonrasında farklı alanlara uygulanabilme potansiyeline sahip olsa da çıkış noktaları ve çalışmanın motivasyonu itibarı ile Akıllı Ev ortamını ve akıllı ev tipi cihazları temel almaktadır. Çalışma boyunca, sadelik için, “Cihaz” kelimesi kapsamlı bir şekilde akıllı ev tipi cihazlarını kastetmek üzere kullanılmıştır.

2.1.2 IoT’de karşılaşılan güncel zorluklar

- **Kenar Sistemlerinin Kaynak Fakirliği:** Kenar sistemleri, maliyet, boyut, ağırlık, ergonomi, ısı yayımı ve kullanıcı gereksinimleri başkaldığı gibi nedenlerle sahip oldukları hesaplama, hafıza, bağlantı ve enerji kaynaklarınca kısıtlı ve sınırlı olarak genişletilebilir yapılara sahiptir (Satyanarayanan, 2009; Bormann, 2014; Razzaque, 2016). Moore yasasına göre Kenar’da yer alan gömülü sistemlerin zamanla daha küçük, daha ucuz ve daha az enerji tüketen sistemlere dönüşmesi öngörülse de bu öngörü bu sistemlerin daha güçlü olacağı anlamına gelmemektedir (Sehgal, 2012). Bağlantılı nesnelerin büyük bir kısmı, sahip oldukları hesaplama gücünün ve hafıza kaynaklarının, temel işlevlerinin gerekliliklerini yerine getirecek şekilde optimize edilmesi prensibi ile tasarlanmakta ve geliştirilmektedir. IoT düğümü olmanın gerekliliklerini ise asgari düzeyde sağlamak (örneğin sadece belirli bir haberleşme protokolünü desteklemek, temel seviyede güvenlik mekanizmalarına sahip olmak gibi) bu nesnelerin birçoğu için yeterli bulunmaktadır.
- **Ölçeklenebilirlik (Scalability):** Ölçeklenebilirlik, IoT sistemine, hali hazırda bulunan servislerin performansında herhangi bir azalma olmadan yeni cihazlar ve servisler ekleyebilme, daha açık bir deyişle de yeni eklenen cihazlar ve servisleri hafıza, hesaplama gücü, haberleşme kapasitesi ve de diğer kaynaklarca destekleyebilme kabiliyetidir (Čolaković, 2018). 2025 yılına kadar, bağlantılı nesne sayısının artması ve bu sayının yaklaşık 70 milyara ulaşması tahmin edilmektedir (Safaei, 2017; Cvitić, 2019; Shafiq, 2019; Cisco Public, 2020). Bununla birlikte, Cisco, bütün bu bağlantılı insanların, makinelerin ve nesnelerin

toplamda ürettiği veri miktarının 2021 yılı sonu itibariyle 850 Zettabayt'a (ZB) ulaşmış olacağını ve üretilen bu verinin kullanılabilir %10'luk kısmının (85 ZB) veri merkezlerinde işlenmiş ve depolanmış olacağını öngörmektedir. Bu miktardaki kullanışlı veri miktarı, veri merkezi trafiği kapasitesinin (21 ZB) dört katına denk gelmektedir (Cisco Public, 2019).



Şekil 2.3 : Kişi başına düşen bağlantılı cihaz sayısının 2025 yılına kadarki tahmini yükselişi (Safaei, 2017).

Bunun sonucunda, Bulut sistemlerinin bu trafik ile başa çıkabilmesi ve başa çıkabilse dahi bağlantılı nesnelere aynı servis kalitesinde (QoS) hizmet verebilmesi mümkün görünmemektedir (Hu, 2017a; Marquesone, 2017; Katenbrink, 2018; Rahimi, 2020). Bu durum IoT kapsamında sağlanan hizmetlerin ve altyapıların ölçeklenebilmesi için sorun teşkil etmektedir.

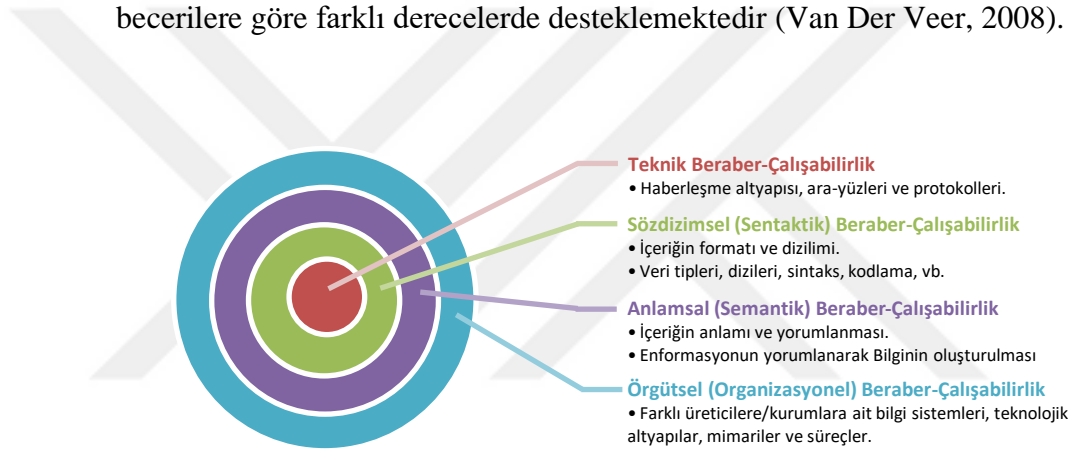
- **Servis Kalitesi (QoS) – Müsaitlik (Availability), Gecikme (Latency) ve Bant Genişliği (Bandwidth):** Gerekli erişim hakkına sahip her türlü IoT uygulamasının, ağ altyapılarından, kullanılan teknolojilerden ve talep edilen servisin boyutundan bağımsız olarak herhangi bir yerde (Mobilite), herhangi bir zamanda servis alabilmesi müsaitlik olarak tanımlanmaktadır (Čolaković, 2018). Birbirinden uzakta konumlanan servis sağlayıcılar ve istemcilerin olduğu merkezî mimarilerde, müsaitlik; ağ performansı, bilgiyi depolama ve dolaştırma maliyetleri, depolama ve iletim sırasında kullanılan güvenlik teknolojileri gibi altyapı kaynaklı kısıtlar ile gizlilik, ölçeklenebilirlik ve mobilite gibi zorluklardan da etkilenmektedir (Čolaković, 2018). Geleneksel IoT servislerinin

hızı, nesnelerin kendilerinden uzakta konumlanan Bulut sistemleriyle bağlantılarını taşıyan sinyallerin birden fazla bağlantı noktası üzerinden sıçraması ve uzun mesafeler kat etmesi sonucu sınırlanmaktadır (Cisco Public, 2019). IoT servislerinin hızını sınırlayan bir başka önemli etken de veri iletiminde ve işleminde rol alan araçların ve Bulut'ta yer alan servis sağlayıcıların özellikle talep yoğunluğuna bağlı olarak müsaitliğinin zayıflaması ve bant/işlem genişliğine bağlı olarak taleplerin gecikmeli bir şekilde karşılanabilmesidir (Satyanarayanan, 2009; Hu, 2017a). Bu durum IoT bünyesinde hizmet veren servislerin kalitesine olumsuz olarak yansıdığı gibi IoT için yeni servisler tasarlarırken de önemli bir kısıt olarak yaratıcılığı, çeşitliliği ve kullanıcı deneyimini de olumsuz olarak etkilemektedir (Nokia Networks, 2014). Örneğin, gerçek-zamanlı ve gecikmeye duyarlı uygulamalara talep artmakta olsa da bu talebin Bulut sistemleri ile karşılanması mümkün görünmemektedir (Nokia Networks, 2014; Razzaque, 2016; Hu, 2017a).

- **Mobilite (Mobility):** Özellikle Mobil Cihazlar ve Bağlantılı Araçlar ile IoT'nin zorluklarından biri haline gelen mobilite, sürekli dolaşımda olan nesnelerin Bulut sistemleri ile bağlantısının ve bu bağlantının kalitesinin, nesnelerin buldukları konumdan en az şekilde etkilenmesi gereksinimi olarak tanımlanabilir. Mobil kullanıcıların ve uygulamaların oldukça yaygın olduğu IoT ekosisteminde, dinamik değişimlerle başa çıkabilen, mobiliteyi verimli bir şekilde yönetebilen ve hatta cihazlara konum ve ortam farkındalığı ile daha gelişmiş servisler sunabilen mekanizmalara ihtiyaç vardır (Čolaković, 2018). Bulut sistemleri merkezî doğaları gereği mobiliteyi çok sınırlı olarak destekleyebilmektedir.
- **Heterojenlik (Heterogeneity) ve Beraber-çalışabilirlik (Interoperability):** IoT'nin kapsamına giren coğrafi, fiziki, teknolojik, sosyal, ticari, bilimsel ve dijital alanların derinliği ve genişliği dikkate alındığında, bu denli büyük bir bağlantı ağının içinde barındırdığı aşağıdaki unsurların çeşitliliği ile heterojen bir ekosistem oluşturması kaçınılmaz görünmektedir (Razzaque, 2016):
 - ✓ Desteklenen teknoloji, alt-yapı, mimari, protokol, yazılım, donanım, çalışma ortamı vb. çeşitliliği (Čolaković, 2018),
 - ✓ Bağlantı kuran nesne, kaynak, uygulama, etki alanı çeşitliliği,

- ✓ Arz eden üretici, servis sağlayıcı, kurum ve proje çeşitliliği,
- ✓ Hizmet sağlanan tüketici ve işletmelerin gereksinimlerinin ve beklentilerinin çeşitliliği,
- ✓ Uyumlu olması gereken standart, kural, etik ve kanun çeşitliliği.

Bu boyutta bir heterojenlik, IoT ekosisteminde, Bölüm 1.2.1.5'te önemi vurgulanan beraber-çalışabilirlik olgusunun gerçekleştirilmesini oldukça zora sokmaktadır. Beraber-çalışabilirlik, temel anlamda farklı sistemlerin ve bileşenlerin sahip oldukları kaynaklardan bağımsız olarak birbiriyle veri alışverişi yapabilme ve bilgiyi birlikte kullanabilme yetisidir. Şekil 2.4'te görselleştirildiği üzere bir sistem, beraber-çalışabilirliği, sahip olduğu ilgili becerilere göre farklı derecelerde desteklemektedir (Van Der Veer, 2008).



Şekil 2.4 : Beraber-çalışabilirlik dereceleri ve her derecenin gerektirdiği beceriler (Van Der Veer, 2008).

IoT'de, servis-odaklı mimari prensibine dayanan ara katman platform önerilerindeki ve kullanımlarındaki artış, servis sağlayıcılarının ve istemcilerinin bu heterojen ortamda anlamlı bir şekilde haberleşebilmesini sağlamak adına, semantik beraber-çalışabilirliği zorunlu bir hale getirmektedir. Kapsamlı ve paylaşımlı veri modellerinin geliştirilmesi veya katılımcılara semantik araçlar veya çeviricilerin sağlanması, semantik beraber-çalışabilirliği kolaylaştıracak yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır (Bandyopadhyay, 2011).

- **Siber Güvenlik (Cyber Security) ve Gizlilik (Privacy):** İlgili literatürün Bölüm 1.2.1.4 ve 1.2.1.1'de yer alan detaylı değerlendirmesi, güvenlik ve gizliliğin IoT sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için aşılması gereken zorluklarda başı çektiğini açıkça ortaya koymaktadır. IoT cihazlarının daha önce

bahsi geçen kaynak fakirliği problemi, bu cihazların gerekli güvenlik mekanizmalarını çalıştırabilmelerine engel teşkil etmekte ve bu cihazları kurdukları bağlantılar üzerinden güvenlik tehditlerine, siber saldırılara ve gizlilik ihlallerine karşı savunmasız bırakmaktadır (Lin, 2016; Cvitić, 2019). Bunun yanında, IoT'nin sahip olduğu heterojenlik ve ölçeklenebilirlik gibi diğer zorluklar da siber saldırıların atak yüzeyini, başarı oranını ve başarılı olanların zarar boyutunu artırmakta, bu da IoT için tasarlanacak ve konuşlandırılacak güvenlik altyapılarını daha karmaşık hale getirmektedir (Lin, 2016; Razzaque, 2016). Örneğin, IoT ekosistemi ile hedef yüzeyi iyice büyüyen DDoS ataklarının sayısının, 2023 yılına kadar ikiye katlanarak 15,4 milyona ulaşması beklenmektedir (Cisco Public, 2020). Benzer şekilde, üreticilerin geliştirme süreçlerinde takındıkları aceleci, dikkatsiz ve umursamaz tavır sonucu oluşturdukları güvenlik zafiyetleri veya çıkarıcı ve şeffaf olmayan tutumları ile tehlikeye düşürdükleri tüketici verilerinin korunması ve kişisel hayatın gizliliği zorlukları, IoT'nin heterojenlik ve ölçeklenebilirlik zorlukları ile katlanarak büyüyerek, daha da kritik bir hal almaktadır (Razzaque, 2016; Routh, 2018).

- **Esneklik, Genişletilebilirlik, Uyarlanabilirlik ve Yenilikçilik:** Bulut sistemlerinin merkeziyetçi yapısı ve özellikle servis sağlayıcıların ve üreticilerin tekelinde bulunması, yenilikçi yaklaşımları sınırlamakta ve bu sistemlere hem teknik hem de işletimsel açıdan kısıtlar getirmektedir. Kenar sistemleri de belirli bir amaca yönelik olarak üretildikleri, fonksiyonelliklerine yönelik gereksinimleri önceliklendirildiği ve sahip oldukları sınırlı kaynaklar temel işlevlerine tahsis edildiği için üreticilerinin izin verdiği ölçüde esnek ve genişletilebilir olarak kabul edilebilir (Chiang, 2016). Dolayısı ile geleneksel Bulut-Kenar IoT mimarisi, kaynakların dinamik olarak paylaşılması ve kullanımı, dağıtık yapının desteklenmesi, üçüncü parti servis sağlayıcıların alternatif ve özgül çözümler üretebilmesi, bağlantı, işlemci, hafıza, enerji kaynaklarının ihtiyaca ve uygulamalara yönelik olarak genişletilmesi vb. becerileri sınırlı olarak destekleyebilmektedir.

Son olarak, bütün bu zorluklara ek olarak, özellikle Akıllı Ev uygulamaları, kullanıcı tarafından benimsenebilme, kolay kullanılabilirlik, örgütsel beraber-çalışabilirlik, ticarileşme, maliyet eniyileme, enerji eniyileme, farklı geleneklere sahip çeşitli etik anlayıştaki tüketicilere hitap edebilme, arıza ve hata giderimi için daha dinamik

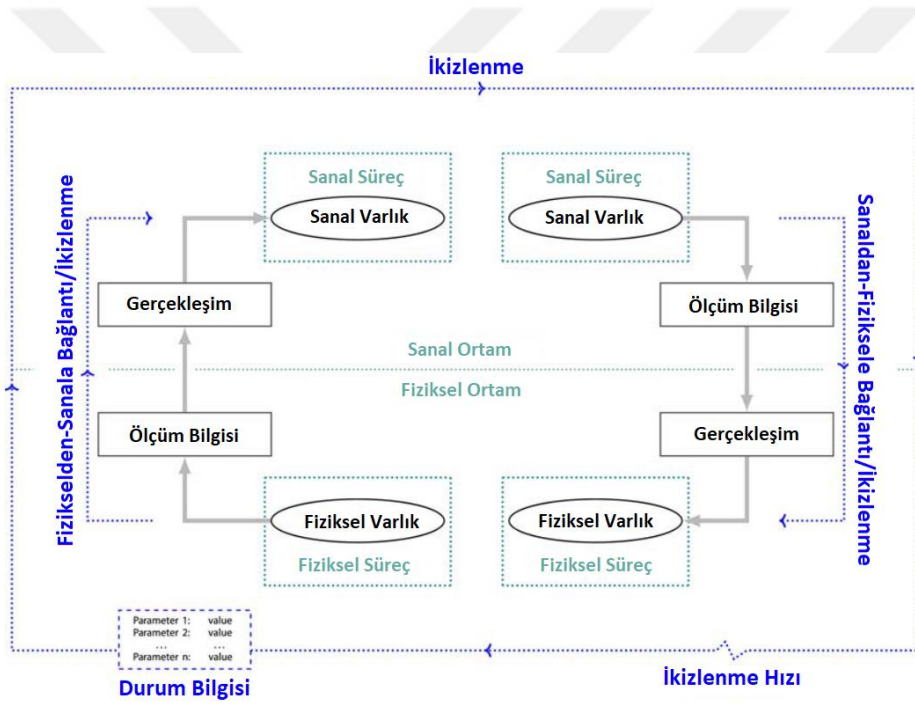
süreçler destekleyebilme, veri filtreleme ve toplamada daha interaktif metotlar tanımlayabilme gibi zorluklarla da başa çıkmaya çalışmaktadır (Balakrishnan, 2018).

2.2 Dijital İkiz (DT)

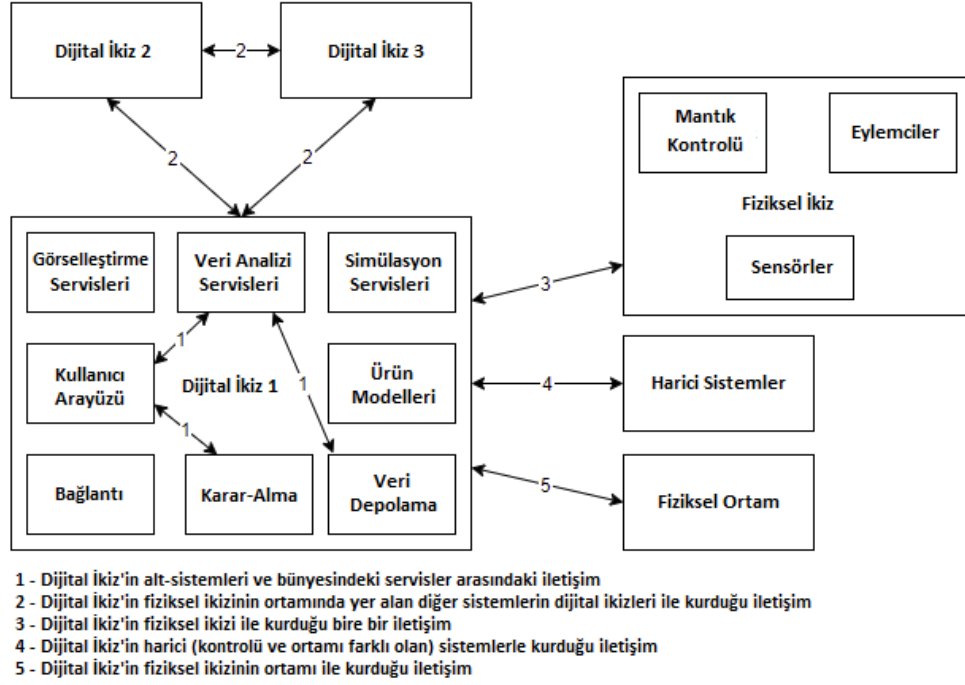
Dijital İkiz kavramına temel oluşturan akis sistem fikrinin ilk ve en basit haliyle ortaya çıkışı, 1970 yılında NASA tarafından uzaya gönderilen Apollo-13 uzay aracının oksijen tüplerinden birinin fırlatmadan iki gün sonra patlaması ve araçtaki astronotların problemi Houston'daki görev kontrol merkezine "Okay, Houston, we've had a problem here" mesajı ile bildirmesi sonrası yer ekibinin astronotların hayatını kurtarmak için izlediği çözüme ulaşma yordamı olarak kabul edilmektedir. Yer ekibi, uzay aracındaki sistemlerin birebir fiziksel modelini yerde oluşturup, bu modeli uzay aracının bulunduğu koşulları simüle eden bir ortamda analiz etmiş ve buldukları çözümün astronotlar tarafından uzay aracında da uygulanıp başarıya ulaşmasıyla da görev, astronotların sağ salim yeryüzüne dönüşü ile tamamlanmıştır (Barricelli, 2019). Gerçek anlamda Dijital İkiz kavramı ise ilk defa 2002 yılında, endüstride Ürün Ömrü Yönetimi kapsamında her ürünün/sistemin sanal bir temsilinin olması ve fiziksel ürün/sistem ile sanal ürün/sistem arasında çift taraflı bir bağlantı kurulması fikri temel alınarak Michigan Üniversitesi'nden Michael Grieves ve NASA'dan John Vickers tarafından ortaya atılmıştır (Grieves, 2016).

Dijital İkiz, herhangi bir varlığın, kimi zaman fikir olarak ortaya çıkışından kimi zaman fiziksel olarak oluşumundan itibaren sahip olduğu veri, enformasyon ve bilgilere, çift yönlü, eşsiz ve bire bir tanımlı bir bağlantı üzerinden eş-zamanlı bir şekilde sahip olarak bu fiziksel varlığın durumunun, algılarının, eylemlerinin ve ortamının bir kopyasını sanal ortamda oluşturabilmekle kalmayıp sanal ortamın sağladığı gelişmiş hesaplama, depolama ve ağ olanaklarından faydalanarak hem bu varlığın dijital ve teknolojik yetenek ve servislerini genişleten hem de işleyişine, kararlarına, ara-yüzlerine, geleceğine, sağladığı hizmetlere ve de algoritmalarına dair yine aynı bağlantı üzerinden eş-zamanlı veya olay-güdümlü girdi sağlayabilen, yaşayan ve sürekli gelişen akıllı bir akistir.

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6, Dijital İkiz'in yukarıdaki ve literatürdeki tanımlarına dayanarak sahip olduğu karakteristik bileşenlerine, en bilinen servislerine, ilişkide bulunduğu sistemlere ve bu bileşenler, servisler ve sistemler aralarındaki ilişki ve iletişim şekillerine genel bir bakış atmaktadır. Lim(2019) ise Dijital İkizlerin oluşturulmasında kullanılan teknoloji yığınına meydana getiren, haberleşme (veri yönetimi, veri tabanları, bağlantı altyapıları, iletişim protokolleri ve ara katman platformları), simgeleme (veri sunumu, formatları ve ontolojiler), hesaplama (makine öğrenmesi ve veri analizi) ve mikro-servis (sanallaştırma, modelleme, simülasyon ve doğrulama) katmanlarının her birine dair detaylı bir literatür taraması sunmaktadır.



Şekil 2.5 : Dijital ikiz olgusunun karakteristik bileşenleri ve bu bileşenlerin aralarındaki ilişkiler (Jones, 2020).



Şekil 2.6 : Dijital ikizinin kurduğu bağlantı ve iletişim şekilleri (Ala-Laurinaho, 2019).

Çıkış noktası itibarıyla ilk başlarda daha çok üretim, havacılık ve uzay alanlarında kullanılan ve olgunlaşan Dijital İkizler, özellikle son yıllarda akademinin ve işletmelerin daha da fazla ilgisini çekmeye başlamış, dolayısı ile enerji, sağlık, bağlantılı araçlar, akıllı şehirler gibi farklı ve daha ticari alanlarda da ilgili araştırma ve uygulamalara giderek artan bir şekilde konu olmaya başlamıştır (Aivaliotis, 2019; Barricelli, 2019; Barthelmey, 2019; Jones, 2020; Lim, 2019). Akıllı şehir dijital ikizlerinin şehirdeki IoT ekosisteminden toplanan verilerin bilişsel analizi ile şehrin zaman-mekânsal durumu ile ilgili öngöründe bulunmak ve bunu da giderek daha akıllı bir şekilde yapabilmek üzere kullanılması (Mohammadi, 2017); akıllı ofislerdeki ışıklandırma sistemlerinin dijital ikizleri ile davranış analizi ve öngörücü bakım uygulanması (Sleuters, 2019); Kenar sistemlerinde konumlanan insan bedeninin dijital kardiyo-ikizinin, beden alan sensörlerinden, medikal kayıtlardan, sosyal ağlardan ve ortam sensörlerinden aldığı bilgilerle iskemik kalp hastalığı ve kalp krizi teşhisi koyma uygulaması (Martinez-Velazquez, 2019); özellikle elektrikli araçlar ile önemi artan batarya sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca dijital ikizlerine dair önerilen referans mimari (Merkle, 2019); Akıllı Ev ortamında farklı tipte Cihazların dijital ikizlerinin, enerji tüketimi, kontrol edilebilirliği, güvenilirliği ve maliyet verimliliğini içine alan enerji-bilgi süreçlerinin bütünleşik eniyilemesine dair ortaya konan yöntemsel

yaklaşım (Shvedenko, 2019) son yıllarda ortaya çıkan ve bu tez çalışmasının mimari yaklaşımına da benzerlik gösteren çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Fakat Dijital İkiz, hala büyük oranda üreticiler tarafındaki tasarım, üretim, lojistik vb. süreçler veya endüstriyel, avionik, medikal vb. ürünler ve sistemler için araştırılan, planlanan ve kullanılan bir teknolojidir (Lim, 2019).

Gartner da Dijital İkizleri, son yılların stratejik teknoloji trendlerinin vazgeçilmezleri arasında görmektedir. 2018 yılında, Michael Grieves'in de bahsettiği Dijital İkizlerin verilerinin kümeleşmesi (Grieves, 2016) ile sağlayacağı bileşik görüş ve katma-değer, her türlü endüstriye getirebileceği değer eniyileme, rekabetçi farklılık ve kullanıcı deneyimi gelişimi gibi faydalar ile ön ayak olabileceği yeni iş modelleri sunma potansiyeline değinilmiştir (Cearley, 2017). 2019 yılı için, Büyük Veri analizi ve Yapay Zekâ entegrasyonu için getireceği fırsatlara, "What If" senaryolarının analizi ile sağlayacağı öngörücü bakım ve güvenilirlik gelişimine, Bilgi ve modellerin parasallaştırılabilmesine yapacağı katkıya, ürün, hizmet ve süreçlerin iyileştirilmesinde kullanımına ve de yine ortaya yeni iş modelleri çıkarma potansiyeline vurgu yapılmıştır (Cearley, 2018). 2020 yılı içinse, Dijital İkizlerin Kenar sistemlerine yerleştirilmesi ile sağlayacağı stratejik katkı ve hizmet kalitesi iyileştirilmesi en önemli stratejik teknoloji trendleri arasında kendisine yer bulmuştur (Cearley, 2019). Bu noktada, özellikle son iki yılın trendleri ortaya çıkmadan başlayan bu tez çalışmasının, Dijital İkizlerin bahsi geçen potansiyellerini değerlendirmek üzere bir model ortaya koymuş olması da çalışmanın güncelliğine ve takip eden diğer çalışmalara sağlayacağı katkıya dikkat çekmek adına ufak ama önemli bir detaydır.

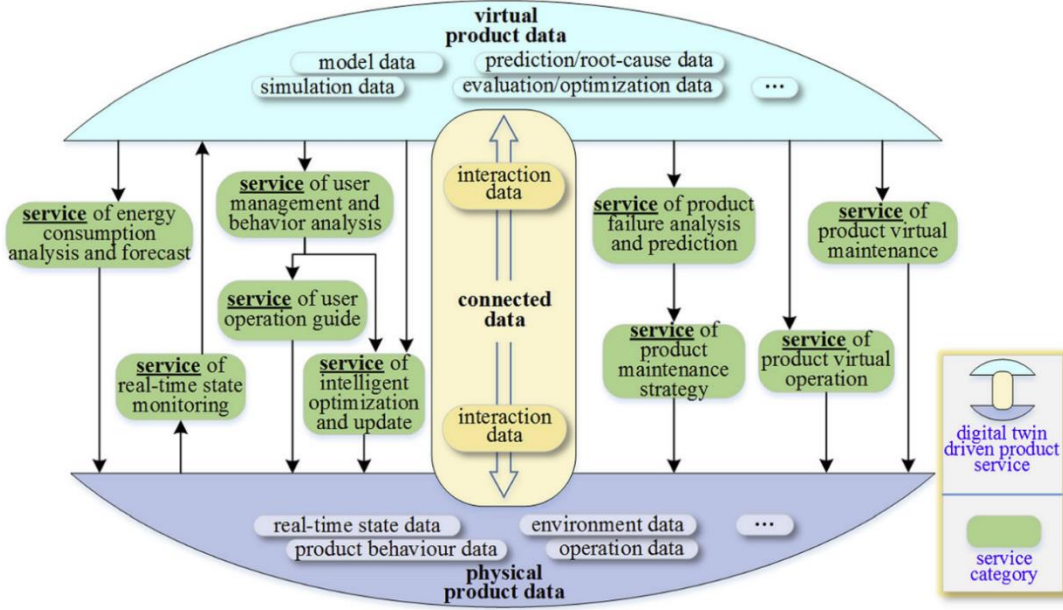
Dijital İkiz olgusunun son dönemde kazandığı popülerlik ve IoT uygulamalarında adının daha sık geçmeye başlaması, tesadüfi olmanın ötesinde, IoT'de özellikle aşağıdaki zorluklar için barındırdığı çözüm sağlama potansiyelinden ötürüdür:

- **Heterojenlik (Heterogeneity) ve Beraber-çalışabilirlik (Interoperability):** Ontolojik olarak nitelendirilebilen ve kapsamlı bir şekilde modellenen her türlü fiziksel varlık teoride sanal ortamda dijital ikizi tarafından temsil edilebilir olarak kabul edilmektedir (Kuhn, 2017). Dijital İkizler, ortaya çıkış şekilleri itibarıyla, sahip oldukları kapsamlı semantik modellerle fiziksel ve sanal dünya arasında doğal bir soyutlama katmanı oluşturduğundan ötürü, IoT'de semantik beraber-çalışabilirliğin sağlanması açısından önemli bir itici güç olarak görülmektedir (Datta, 2017; Ala-Laurinaho, 2019). Bu soyutlama ve semantik

aracılık yetenekleri sayesinde Dijital İkiz, kaynak fakirliği çeken ve aynı ortamda bulunan Cihazların ortak çalışıp büyük resmi oluşturarak örneğin enerji, performans eniyilemesi yapabildiği uygulamalara (Curry, 2020); Bilgi'nin daha fazla servis sağlayıcı tarafından ulaşılabilir ve kullanılabilir hale geldiği ve böylece daha çeşitli servisler sunmanın ve teknolojileri daha pürüzsüz harmanlamanın mümkün olduğu esnek, genişletilebilir, uyarlanabilir ve daha açık bir ekosisteme (Saracco, 2019); heterojen yapının etkisinin soyutlandığı, servis-odaklı mimarilerin daha kolay entegre edilebildiği ara katman platformlarına (Saracco, 2019; Curry, 2020; Muralidharan, 2020) imkân vermektedir.

- **Ölçeklenebilirlik (Scalability):** Dijital İkizler, sahip oldukları semantik ve analitik yetenekleri ile IoT ekosisteminde ilişki kurdukları partilere ihtiyaç duyulan asgari oranda Bilgi ve kavrayış aktarımını ve böylece kaynakların verimli kullanımını sağlamakta, bu da ölçeklenebilirliğin iyileştirilmesini dolaylı olarak desteklemektedir (Ala-Laurinaho, 2019).
- **Mobilite:** Fiziksel ikizine yakın konumlandırılarak ve beraberinde getirdiği hesaplama, depolama ve ağ kabiliyetlerini kullanarak, fiziksel ikiziyle hareket edip fiziksel ikizinin ihtiyaç duyduğu hizmetleri konumundan bağımsız ve servis kalitesinden ödün vermeden sağlayabilme potansiyeli ile Dijital İkiz, mobilitenin iyileştirilmesini de dolaylı olarak desteklemektedir.
- **Esneklik, Genişletilebilirlik, Uyarlanabilirlik ve Yenilikçilik:** Dijital İkizler, sahip oldukları entegrasyon, taşınabilme, platform-bağımsız olabilme, eklenti kabul edebilme, birden fazla modeli destekleyebilme, farklı semantik modellerle değiştirilebilme, ürün yerine servis odaklı olabilme gibi özellikleri ile genişletilebilir yapılardır (Ala-Laurinaho, 2019; Saracco, 2019). Bunun yanında, daha önceden değinilen, beraber-çalışabilirlik yetenekleri ile hizmet-olarak-cihaz, kullandıkça-öde gibi yenilikçi iş modellerini (Curry, 2020; Muralidharan, 2020); Büyük Veri, Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ, Örüntü Tanıma, Konteynerleştirme gibi inovatif teknolojileri (Barricelli, 2019; Curry, 2020; Muralidharan, 2020); Öngörücü Bakım, Olasılıksal Eniyileme, Veri Tümlleştirme, Veri Analizi, Üretim Eniyileme, Sanal Doğrulama, Uzaktan Teşhis, Kullanıcı Deneyimi İyileştirme vb. (Barricelli, 2019; Curry, 2020)

yanında bir kısmı Şekil 2.7’de de görselleştirilen servis ve uygulamaları IoT’ye entegre etmek için kilit yapı taşıdır.



Şekil 2.7 : Dijital ikizin fiziksel ikizi ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan servis alternatiflerine genel bir bakış (Tao, 2018).

Makine ve sistemlerin dijital mülkiyet ve kullanım haklarına daha belirgin biçimde işletmelerin, servis-sağlayıcıların veya operatörlerin sahip olduğu endüstriyel veya işletimsel uygulamaların aksine, Akıllı Ev benzeri ticari uygulamalarda yer alan Cihazların dijital ikizlerinin mülkiyeti, mesuliyeti, ticareti, dolaşımı, saklanması, bakımı ve kullanımı, yasal boyutları ile oldukça ilginç araştırma konularına gebedir:

- Bir Dijital İkiz’in mutlak mülkiyeti kime aittir?
- Bir Cihaz’ı satın almak bu Cihaz’ın bütün dijital ve ticari kullanım haklarını da satın almak anlamına gelir mi?
- Bir Dijital İkiz, Cihaz İkiz’inden ayrı olarak satılıp, kiralanabilir mi?
- Dijital İkiz’in yönetimi devredilebilir mi?
- Dijital İkiz’in garanti kapsamı nasıl olmalıdır?

Bu tez çalışması, bunlar ve benzeri soruların irdelenmesini hukuk otoritelerine bırakarak, Cihaz sahibinin Cihaz’ın Dijital İkiz’i ve dijital kullanım hakları üzerinde

mutlak mülkiyet hakkı bulunduğu varsayımı ile gereksinimlerini belirlemiş ve model önerisini oluşturmuştur.

2.3 Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (DLT)

İlk formuyla Blok Zinciri, genel olarak ise Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi olarak adlandırılan, dağıtık bir şekilde uzlaşma ve doğrulama yaparak, merkezî bir otorite veya güven gerektirmeyen bir ağ üzerinde kurcalamaya dayanıklı, şeffaf bir hesap defteri oluşturma yaklaşımı, Bilgi Çağı'nın, İnternet'ten sonra en devrimsel ve ezber bozan teknolojisi olarak kabul edilebilir. 2009 yılında, Satoshi Nakamoto ismi altında kimliği belirsiz kişi veya kişilerin, merkezî bir otoriteye veya güvene ihtiyaç duymadan birebir etkileşimlerle aktarılabilen dijital bir para fikrini, çift-harcama problemini de çözerek Bitcoin olarak gerçeğe dönüştürmesiyle Blok Zinciri hikayesi başlamıştır (Nakamoto, 2009). 2013 yılında ise Vitalik Buterin önderliğindeki ekip, Bitcoin'in altyapısını oluşturan bu teknolojiyi, Turing yetkin, dijital para yanında başka dijital varlıkların da kontrol edilebildiği ve de Nick Szabo'nun 1994 yılında ortaya attığı Akıllı Sözleşmeler protokolünü de destekleyen Ethereum adında programlanabilir bir Blok Zinciri platformuna dönüştürmüştür (Srivastava, 2018). Bu açılım sonrasında büyüklü küçüklü birçok girişimin bu platformda kendi Blok Zincirini programlaması, kendi dijital değerlerini yaratması veya alternatif platformlar da oluşturmasıyla DLT'ler, Çizelge 2.1'de gösterildiği şekilde gelişimini sürdürmekte ve her yeni neslinde hem karşılaştığı zorlukları aşarak hem de bu zorluklara yenilerini ekleyerek evrimine devam etmektedir. Günümüzde farklı DLT nesillerine ait, çok çeşitli teknolojik altyapılara, yenilikçi ekiplere, ufuk açıcı yaklaşımlara, inovatif çözümlere ve de endüstriyel ve ticari gereksinimleri karşılayabilecek yeteneklere sahip toplamda yaklaşık 5500 adet¹¹ kripto para uygulaması ve platformu, her geçen gün büyüyen bu pazarda varlığını ve gelişimini sürdürmektedir (Url-1).

¹¹ Bu araştırmanın başladığı 2017 yılından bugüne kadar geçen sürede bu sayı yaklaşık beşe katlanmış ve DLT'ler iki yeni nesil ortaya çıkarmıştır.

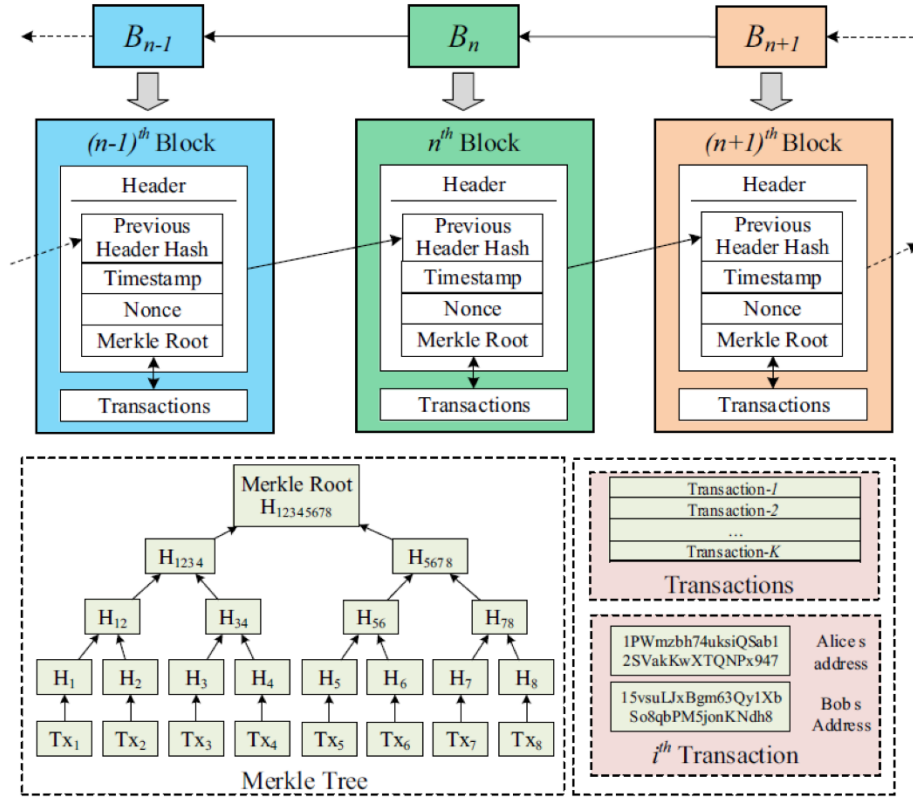
Çizelge 2.1 : DLT nesilleri, ortaya çıkış amaçları, karşılaştıkları zorluklar ve öncü uygulamalar (Eberhardt, 2018; Srivastava, 2018).

Nesil	Ortaya Çıkış Amaçları	Karşılaştıkları Zorlukları	Öncü Uygulamalar (Zincir-Dışı Eklenti)
1.0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kripto Para / Dijital Nakit ✓ Kişiler arası, merkezi güvenilir bir finans otoritesine ihtiyaç duymadan bire bir ve anonim elektronik nakit akışı sağlama ✓ Güvenli, şeffaf, dağıtık, kripto bazlı güvene dayalı ve kurcalamaya dayanıklı dijital bir hesap defteri oluşturma 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ölçeklenebilirlik ve sürdürülebilirlik ✓ Transfer ücretleri ve zamanlarının artışı ✓ Gizlilik ve Güvenlik'e yönelik tehditler ✓ Uzlaşma algoritmalarının merkezileşme riski ✓ Otoriter yapıların baskıları ✓ Enerji tüketimi 	Bitcoin (Lightning Network)
2.0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Akıllı Sözleşmeler ✓ Para dışındaki varlıkların da tokenleştirilerek DLT üzerinde dijital kullanıma olanak verme ✓ Akıllı sözleşmeleri destekleyen, kullanıcıların kendi kripto para birimlerini programlayabildikleri açık kaynaklı dijital bir hesap defteri platformu oluşturma 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ölçeklenebilirlik ✓ Kullanım karmaşıklığı ✓ Gizlilik ve Güvenlik açıkları ✓ Sahtekar uygulamalarla oluşan güven kaybı ✓ Uzlaşma algoritmalarının merkezileşme riski ✓ Transfer zamanlarındaki artış ✓ Enerji tüketimi 	Ethereum (Raiden) (Plasma)
3.0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Merkezi Olmayan Uygulamalar (DApps) ✓ Önceki nesillerin ölçeklenebilirlik, transfer hızı, birlikte-çalışabilirlik, sürdürülebilirlik, güvenlik, dağıtık uzlaşma gibi zorluklarına çözüm üretebilme ✓ Farklı DLT'ler arası çapraz transferleri mümkün kılma ✓ Uzlaşma usulü güncellenen, açık kaynaklı, dağıtık çalışan ve depolanan sahibi olmayan uygulamalar 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bütün düğümleri güncelleme ihtiyacı ✓ Daha karmaşık uzlaşma algoritmalarına duyulan ihtiyaç 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IOTA Tangle (Flash Channels) ✓ Cardano ✓ EOS ✓ Golem
4.0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kolay ve kusursuz entegrasyon ile işletimsel, endüstriyel ve gerçek süreçlere uygulanabilirliğin artırılması ✓ Artırılmış birlikte-çalışabilirlik ✓ Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayabilme ✓ Yenilikçi uzlaşma algoritmaları 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Henüz kısıtları doğru değerlendirebilmek için gelişiminin erken bir evresinde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unibright ✓ SEELE Platform ✓ genEOS ✓ Multiversum ✓ Metahash

DLT'ler, özellikle özel sektör tarafında gördüğü büyük ilgi ile, hızlı değişen, dinamik, çok boyutlu ve oldukça geniş bir araştırma deryası yaratmaktadır (Upadhyay, 2020). Dolayısı ile destekledikleri teknolojik altyapılar ve trendler (Christidis, 2016; Cui, 2019; Gamage, 2020), kullandıkları uzlaşma algoritmaları (Shahaab, 2019; Bamakan, 2020; Salimitari, 2020), karşılaştıkları zorluklar (Gamage, 2020; Upadhyay, 2020), uygulama alanları (Di Francesco Maesa, 2020) ve temel yaklaşımlarına dair ilgili akademik ve web kaynakları yanında, DLT şirketlerinin web sayfalarına, yayımladıkları raporlara ve blog yazılarına da başvurulabilir. Bu tez çalışması ise, bu bölümde, sadece DLT'lerin önerilen modelde kullanımına ışık tutmak üzere gerekli asgari tanım ve detaylar ile yine bu çerçevede IoT'de kullanımları ile sağlayabilecekleri faydalara yer vermiştir.

DLT'ler mimari yapılarına göre Blok Zinciri (BC) ve Yönlendirilmiş Döngüsel Çizge (DAG) olarak iki grupta incelenmektedir.

- **BC**: Bitcoin ile ortaya çıkan ilk kullanılabilir DLT olan Blok Zinciri, her ne kadar takip eden girişimlerde değişiklikler gösterse de çıkışı itibarı ile Şekil 2.8’de gösterilen mimariye sahiptir.

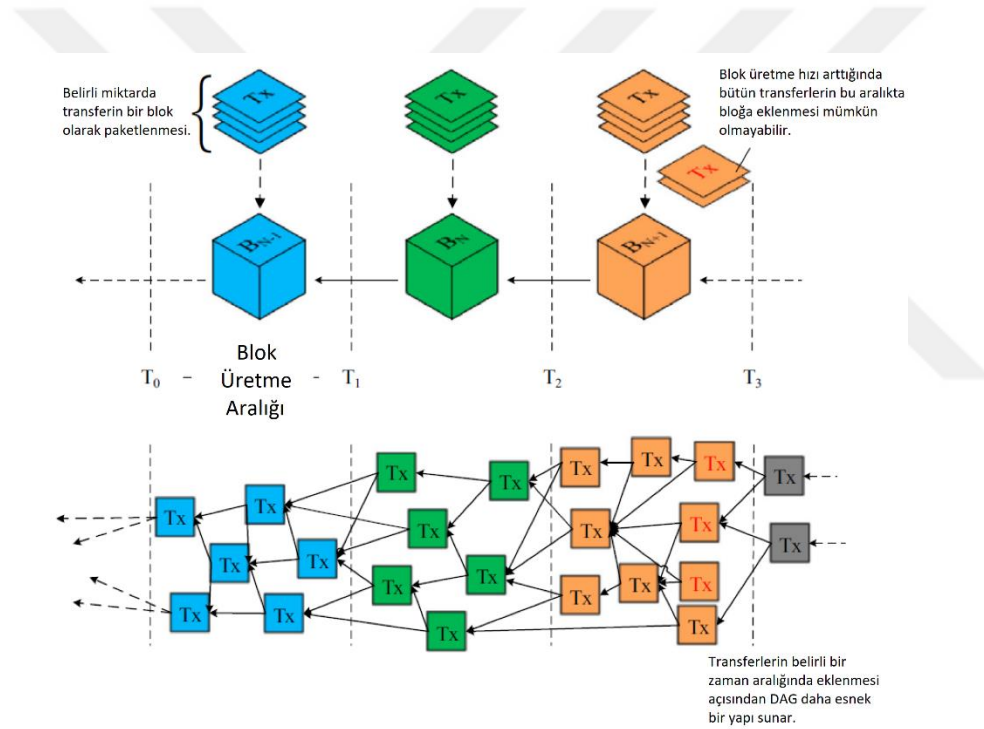


Şekil 2.8 : Blok Zinciri (BC) mimarisi (Cui, 2019).

Çok temel olarak Blok Zinciri çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir (Christidis, 2016):

- ✓ Genel ve özel anahtar çiftine sahip katılımcı düğümler, genel anahtarını bildiği başka düğümlere aktarılmak üzere bir oluşturdukları transfer emirlerini kendi özel anahtarları ile imzalayarak, oluşturdukları haberleşme ağında bir sıçrama uzakta olan komşularına bu imzalı taleplerini iletirler. Açık Anahtarlı Şifreleme kullanımı kimlik doğrulama, bütünlük kontrolü ve inkâr edememe özelliklerini beraberinde getirmektedir.
- ✓ Her bir düğüm kendisine gelen transfer emirlerini sahip olduğu hesap defteri kayıt geçmişine bakarak onaylar, geçersiz olanları eler ve sonuçta geçerli olan transferler bütün ağa yayılır.

- ✓ Bu transferler madenci adı verilen düğümler tarafından toplanarak, ile Şekil 2.8’de özetlendiği şekilde, Şekil 2.9’da gösterildiği gibi önceden anlaşılan zaman aralıklarında ve belirli bir uzlaşma algoritmasına göre blok haline getirilerek aday blok oluşturulur. Uzlaşma algoritmasına göre blok eklemeye hak kazanan madenci aday bloğunu tekrardan ağa yayımlar. Bu noktada zincir kavramı, her bir bloğun bir önceki bloğun hash değerini içermesinden gelmektedir.
- ✓ Diğer düğümler tarafından onaylanan aday blok hesap defterine eklenerek bütün düğümlerin aynı ve geçerli hesap defterine sahip olması ile bu döngü devam etmektedir.



Şekil 2.9 : Blok Zinciri (BC) ve Yönlendirilmiş Döngüsüz Çizge (DAG) (Cui, 2019).

- **DAG:** Blok Zincirlerinde karşılaşılan ölçeklenebilirlik, transfer zamanlarının uzunluğu, uzlaşma algoritmalarının ihtiyaç duyduğu performans ihtiyacı, hesap defterine saklamak için gerekli olan hafıza ihtiyacı, madencilere duyulan ihtiyaç ve bu ihtiyacın bazı BC teknolojilerinde merkezî bir yapı ve yüksek transfer ücretleri yaratması gibi zorluklara alternatif bir çözüm oluşturmak üzere DAG mimarisi ortaya atılmıştır. DAG tabanlı DLT’ler, transferlerin gruplanması ile oluşturulan blokların zincire eklenmesindenense, Şekil 2.9’da gösterildiği gibi, her

yeni transferin kendinden önce oluşturulan ve henüz onaylanmamış belirli sayıda yeni transferi belirlenen uzlaşma algoritması ile onaylaması ile katıldığı yönlendirilmiş ve döngüsüz bir transferler zinciri oluşturması prensibi ile çalışmaktadır (Cui, 2019). Bu mimarinin öncülerinde IOTA, Tangle DAG mimarisi ile, bahsi geçen zorluklara çözüm alternatifi oluşturmuş ve IoT uygulamalarında uygulanabilirliği daha olası bir DLT yaklaşımı getirmiştir.

Uzlaşma algoritmaları, dağıtık sistemlerde merkezî bir otoriteye veya karşılıklı güvene ihtiyaç duymadan, katılımcıların ortak bir karar almasını ve bu karara herkesin güvenmesini sağlayan dağıtık olarak çalışan algoritmalarıdır. DLT'lerde de sistemin devamlılığını sağlamak üzere madenci düğümleri ödülle teşvik etmek veya madencilere duyulan ihtiyacı azaltmak, çeşitli ataklara (Çift Harcama, Sybil Atağı, %51 Atağı vb.) karşı koruma sağlamak, ihtiyaç duyulan hesaplama, ağ ve hafıza performansını belirlemek yanında transfer hızı, transfer boyutu, ölçeklenebilirlik gibi servis kalitesi ve kullanım konforunu da etkileyen en önemli bileşenlerden biri uzlaşma algoritmalarıdır. Örneğin, Bitcoin, İş Kanıtı (PoW) adı verilen, blokların hashlerinin hesaplanmasına matematiksel olarak karmaşıklık ekleyen ve böylece blok üretimi için madencilerin belirli bir seviyede işlemci gücüne sahip olmasını gerektiren bir uzlaşma algoritması kullanılmaktadır.

DLT'ler, katılımcıların hesap defterine erişim olanaklarına (okuyabilme, transfer yapabilme, madencilik yapabilme vb.) göre aşağıdaki sınıflara ayrılmaktadır (Salimitari, 2020):

- **Genel DLT:** Katılmak isteyen herkese açık olan, hesap defterine her katılımcının okuma, yazma ve madencilik yapabilme için erişim hakkı olan DLT'lerdir. Tam anlamda dağıtık, güvenilirlik sağlamak adına daha karmaşık uzlaşma algoritmaları gerektiren dolayısı ile verimlilik ve transfer hızı olarak düşük performansa sahip, kurcalamaya oldukça dayanıklı yapılardır.
- **Özel DLT:** Herkese açık olmayan, sadece belirli bir şirket veya kurum tarafından yönetilen, yazma ve bazen de okuma hakkının da izne tâbi olduğu DLT'lerdir. Bu tiplerde uzlaşma, kontrol altındaki güvenilir merkezlerden sağlandığı için tam olarak dağıtık ve güvensiz bir ortamdan bahsedilemese de uzlaşma algoritmalarının daha az performans gerektirmesi ile transfer hızı ve verimlilik

olarak servis kalitesi daha yüksektir. Bunun yanında yönetici şirket veya kurumun hesap defterini kurcalamasına karşı zayıf kabul edilmektedir.

- **Konsorsiyum DLT:** Birden fazla şirket veya kurum tarafından ortak yönetilen ve sadece bu özelliği ile kısmi olarak özel kabul edilen DLT'lerdir. Farklı organizasyonların uzlaşma algoritmalarını yürütmesi sayesinde daha dağıtık olmak dışında Özel DLT'ler ile hemen hemen aynı özellikleri gösterirler.

Akıllı Sözleşmeler, Nick Szabo tarafından “bir sözleşmenin koşullarını yerine getirebilen, bilgisayara kodlanmış ticari işlem protokolleri” olarak tanımlanmaktadır (Christidis, 2016). Ethereum'un ortaya çıkışı sonrasında DLT'lerin vazgeçilmez bir parçası haline gelen bu protokol, hesap defterinde özebir tanımlı adreslerle kurcalamaya dayanıklı olarak saklanabilen, kodlanan şartların sağlanması durumunda dahil olan düğümler üzerinde bağımsız ve otomatik olarak işleyen ve anlaşılabilir hükümlerin gerektirdiği transferleri ve çıktılarını sağlayan makrolar veya kod bloklarıdır (Cui, 2019).

2.3.1 DLT ve IoT

IoT'nin başa çıkmaya çalıştığı özellikle güvenlik ve gizliliği sağlamadaki zorluklar, Bulut-merkezli mimarinin getirdiği kısıtlar ve Bilgi'nin mikro düzeyde ekonomik olarak özgürleştirilmesinin önüne çıkan engellerin aşılmasında, ortaya çıkışından itibaren sahip olduğu dağıtık, güvenli, anonim olma ve mikro-ödemeleri destekleyebilme özellikleri ile DLT'ler, aşama kaydetmeyi vadeden en etkili teknolojilerden biri olarak değer görmektedir (Christidis, 2016; Yeow, 2018; Salimitari, 2020). DLT'ler, IoT'de kullanımları ile, IoT'deki sistem tasarımı (merkezî-yapı, tasarım atikliği, performans darboğazları), veri yönetimi (veri ön-işleme, depolama ve madenciliği), cihaz yönetimi (cihaz konuşlandırma ve bakımı), servis yönetimi (servis keşfi ve ödemeleri) ve güvenlik (sahte donanım, kimlik denetimi, erişim kontrolü, veri doğrulama, anahtar yönetimi, güvenli haberleşme ve gizlilik) gibi altyapıları çok boyutlu bir şekilde kuvvetlendirme potansiyeline de sahiptir (Cui, 2019). 2018 yılı için, Blok Zinciri adı altında genel olarak DLT'leri en önemli stratejik teknoloji trendleri arasında değerlendiren Gartner (Cearley, 2017), 2020 yılı için ise Blok Zinciri'nin, demirbaş takibi, sigorta talepleri, kimlik yönetimi, şirket/kurum içi veya paylaşımlı kayıt tutma, sadakat ve ödüllendirme, ödeme ve hesaplaşma, ürün menşei, akıllı şehirler ve IoT, ticaret ve ticaret finansı gibi alanlarda pratik olarak

uygulanmasının stratejik önemine değinmiştir (Cearley, 2019). Bu trend kapsamında, özellikle DLT'lerin IoT entegrasyonunda ortaya çıkan handikaplarının iyileştirilmesi ve üçüncü nesil DLT'lerin yaygınlaşması ile, tarım, enerji, sağlık, endüstri, akıllı şehir, akıllı ev ve ulaşım gibi IoT alanlarında DLT uygulama örneklerine hem akademik literatürde hem özel sektör girişimlerinde giderek artan bir şekilde rastlamak mümkündür (Cui, 2019).

DLT'nin IoT'yle olan entegrasyonunda, ölçeklenebilirliğin iyileştirilmesi, beraber-çalışabilirliğin güçlendirilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması, güvenliği garanti edilmesi, gizliliğin korunması, bant genişliğinin artırılması, gecikmenin düşürülmesi, kaynak-fakirliğine sahip IoT düğümlerinin DLT'ye katılımı için işlem gücüne, depolama ihtiyacına ve ağ kaynaklarına duyulan gereksinimlerinin azaltılması gibi zorlukların bu entegrasyona özel olarak ele alınması ve de DLT'lerin vadettiği çözümleri sunabilmek adına sahip olduğu bu handikapların giderilmesi oldukça önem teşkil etmektedir (Dorri, 2017; Cui, 2019; Salimitari, 2020). Bu doğrultuda en önemli adımlar uzlaşma algoritmalarında ve ağ yapılarında gelişim sağlanmasıdır. Örneğin, Salimitari(2020) merkeziyetçilik, ölçeklenebilirlik, gecikme, bant-genişliği, saldırı toleransı, hesaplama, ağ ve depolama kaynağı gereksinimleri açısından uzlaşma algoritmalarını değerlendirmiş ve aşağıdaki uzlaşma algoritmalarını IoT'de kullanıma en uygun adaylar olarak belirlemiştir:

- HyperLedger Sawtooth tarafından kullanılan Geçen Zaman Kanıtı (PoET),
- HyperLedger Fabric tarafından kullanılan Pratik Byzantine Hata Toleransı (PBFT),
- IOTA tarafından kullanılan Tangle DAG.

Machado(2018) ise, IoT için önerdiği Güven Kanıtı uzlaşma algoritması ile yüzlerce mili saniye seviyesinde olan normal iletişim gecikmesine sadece mikro saniye mertebesinde ihmal edilebilir bir gecikme ekleyerek gizlilik, müsaitlik, bütünlük, kimlik denetimi ve saptanabilir zamanlama sağlayan bir mimari önermiştir. Gizliliğin korunmasının geliştirilmesi için, Hassan(2019) anonimleştirme, şifreleme, özel sözleşme, karıştırma ve türevsel gizlilik stratejilerini incelemiş ve bu konudaki literatüre ışık tutmuştur. Gizlilik ve ölçeklenebilirliği iyileştirmek adına geliştirilen yöntemlerden biri de zincir-dışı eklentilerle depolama ve hesaplama kaynaklarına

duyulan ihtiyacı azaltmak ve verileri belirli düğümler arasında tutarak ağın geri kalanından saklamaktır (Eberhardt, 2018).

2.3.2 DLT uygulamaları

Bu tez çalışmasında önerilen model üzerinde uygulanma potansiyeline sahip DLT girişimleri Çizelge 2.2’de listelenmiştir.

Özel girişimlerin yanında, akademide de DLT-IoT birlikteliği ile ortaya çıkabilecek uygulama ihtimallerini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Ouaddah(2016), Novo(2018) ve Xu(2018), IoT’de erişim kontrolünü dağıtık, gizlilik-farkında ve anonim olarak yapabilmek için DLT kullanan modeller önermiştir. Li(2018), IoT cihazlarının kimlik denetiminin, merkezî olarak yapılması durumunda karşılaşılabilecek tek nokta arızası ve sunucu içinden kurcalama gibi ataklara bağışıklık kazanması amacıyla, Blok Zinciri kullanılarak gerçekleştirildiği bir yöntem geliştirmiştir. Hardjono(2016) ise, geliştirdiği Blok Zinciri ile, Akıllı Ev ortamında cihaz sahiplerinin, anonim olarak cihaz konuşlandırması ve kaydı yapabilmesini, cihaz verilerini anonim olarak satışa sunabilmesini ve sensör verilerini gizliliği-farkında bir şekilde servis sağlayıcılarla paylaşmaya teşvik edilmesini mümkün kılmıştır. Zhu(2017) da benzer bir yaklaşımla, Akıllı Ev Cihaz sahiplerinin DLT üzerinde kayıtlı dijital kimlikleri ile Cihazları için mülkiyet ilintisi tanımlayabildikleri ve bütün katılımcılar tarafından güvenli bir şekilde kanıtlanabilir bu ilinti sayesinde Cihazlarla iletişim kurarken kimlik denetimi ve erişim kontrolü sağlayabildikleri bir sistem ortaya koymuştur.

Çizelge 2.2 : DLT ekosisteminde bu tez çalışmasının ilgilendiği uygulama alanlarında çözüm üretmeyi hedefleyen proje örnekleri.

Uygulama Alanı	Proje Örnekleri	Kısa Açıklama
Akıllı Sözleşme Geliştirme Platformları	Ethereum (https://ethereum.org/)	Açık kaynaklı, akıllı sözleşmeler ve bu sözleşmelerle bağlantılı Merkezi Olmayan Uygulamaların (DApps) geliştirilmesine olanak sağlayan platformlar.
	EOS (https://eos.io/)	
	Hyperledger (https://www.hyperledger.org/)	
DLT'lerin Birlikte-Çalışabilirliği	Polkadot (https://polkadot.network/)	Herhangi bir tip verinin herhangi bir Blok Zinciri üzerinde çapraz olarak transfer edilebildiği çoklu zincir ağı.
	Cosmos (https://cosmos.network/)	Blok Zincirlerinin ölçeklenebildiği, birlikte çalışabildiği ve iletişim kurabildiği Blok Zincirleri ekosistemi.
Dağıtık Depolama	Sia (https://sia.tech/)	Depolama sunucularıyla istemcilerini buluşturan, gizli, güvenli ve uygun fiyatlı bulut-benzeri depolama sağlayan teknolojiler.
	Storj & Tardigrade (https://storj.io/) (https://tardigrade.io/)	
	Filecoin (https://filecoin.io/)	
Dağıtık Hesaplama	Golem (https://golem.network/)	İşlemci gücü sunucularıyla istemcilerini buluşturan, dağıtık süper-bilgisayar çözümü.
	iExec (https://iex.ec/)	Merkezi Olmayan Uygulamaların (DApps) geliştirilmesi ve sürdürülebilmesini hedefiyle, DApp'lere ölçeklenebilir, güvenli ve kolay ulaşılır işlemci kaynaklarını sağlayan Ethereum tabanlı çözüm.
	Sonm (https://sonm.com/)	Koteynır tabanlı çözümler sunan ve akıllı sözleşmeler üzerinden işlemci gücü alış-verişine olanak tanıyan Dağıtık Sis Bilişim teknolojisi.
Kimlik veya Resmî Kayıtların Dağıtık Olarak Paylaşımı ve Doğrulanması	Identity & Civic (https://www.identity.com/) (https://www.civic.com/)	Kimlik, belge ve veri doğrulama istemcileriyle, sahiplerini buluşturan kimlik, belge ve veri doğrulama ve paylaşma teknolojileri.
	TrustStamp (https://truststamp.ai/)	
	Hyland (https://www.hylandcredentials.com/)	
	Evernym (https://www.evernym.com/)	
	uPort (https://www.uport.me/)	
Gizlilik-farkında Erişim Kontrolü	NuCypher (https://www.nucypher.com/)	Veri sahiplerinin ile istemciler ile gizliliği koruyarak veri paylaşımı yapmalarını sağlayan teknolojiler.
	OasisLabs (https://www.oasislabs.com/)	
	Enigma (https://www.enigma.co/)	
	Ocean Protocol (https://oceanprotocol.com/)	
IoT	IOTA (https://www.iota.org/)	Daha çok IoT'ye yönelik IoT'de karşılaşılan özellikle ölçeklenebilirlik, kaynak fakiri düğümler ve QoS gibi zorlukları iyileştirmek üzere geliştirilen teknolojiler.
	OAKEN (https://www.oakeninnovations.com/)	
Makine Öğrenmesi Yapay Zekâ	Cortex (https://www.cortexlabs.ai/)	Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ geliştiricileri ile bu alanda servise ihtiyacı olan istemcileri buluşturan teknolojiler.
	SingularityNet (https://singularitynet.io/)	
Hizmet-olarak-Kestirim (Öngörü)	Endor (https://www.endor.com/)	Sahip olduğu büyük verilere dair kestirim ihtiyacı duyan istemcilerle, uzman olan veri bilimcilerini buluşturan ve talep edilen kestirim servislerini sağlayan teknoloji.

2.4 Sis Bilişim (Fog Computing)

Sis Bilişim, IoT’de özellikle Kenar sistemlerinin kaynak fakirliği ve Bulut sistemlerinin kısıtları sonucu karşılaşılan ölçeklenebilirlik, gecikme, bant-genişliği, veri trafiği, gizlilik ve güvenlik gibi zorlukların üstesinden gelme potansiyeli ile önerilen modelin önemli yapı taşlarından biridir. Daha da önemlisi, bu paradigma, bir yanda, Kenar sistemlerine yakın bir şekilde DT ve DLT için gerekli kaynakları lokal olarak sağlayan, diğer yanda, IoT’ye sosyal ve bilişsel boyutu kazandırmak için gerekli dağıtık, bağımsız, akıllı ve ölçeklenebilir mimariyi mümkün kılan kilit taşıdır. Gartner da 2018, 2019 ve 2020 yılları için öngördüğü stratejik teknoloji trendleri değerlendirmesinde, direkt olarak Sis Bilişim’den bahsetmese de şu üç konu ile dolaylı olarak Kenar’a yakın konumlanan kaynakların ve zekânın kazanacağı öneme işaret etmektedir: “Bulut’tan Kenar’a Geçiş” ile Bulut benzeri servislerin dağıtık olarak sunulması ve veri trafiğinin yerelde kalmasıyla gecikmenin engellenmesi; “Kenarın Yetkilendirilmesi” ile Kenar’a yakın sistemlerin daha zeki hale gelmesi ve bu sistemlerde konumlanan örneğin DT altyapıları ile dijital ve bilişim çözüm ve karar süreçlerinin yerel olarak uygulanması; “Dağıtık Bulut” ile de dağıtık ve konteynirleştirilmiş uygulamalar ve mülkiyet yönetimi sağlanması (Cearley, 2017, 2018, 2019). Bugün Bulut sistemlerinden sağlanan servislere dair hesaplamaların birçoğunun, 2024 yılına gelindiğinde ihtiyaç duyulan noktada çalıştırılacağı tahmin edilmektedir (Cearley, 2019) ve Sis Bilişim bunu gerçekleştirebilecek paradigmlar arasında en önemli aday olarak öne çıkmaktadır.

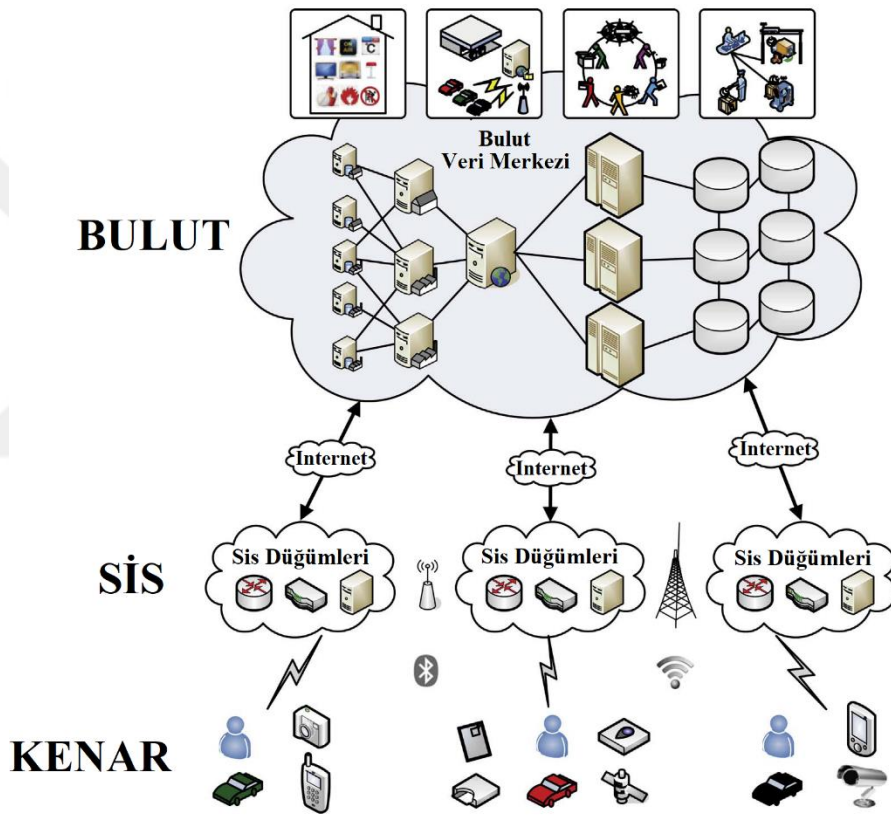
2.4.1 Sis bilişimin tanımı

Sis Bilişim, ilk olarak 2011 yılında, IoT’nin ana uygulama alanlarından birisi olan Bağlantılı Araçlar kapsamında kavramsallaştırılmış (Bonomi, 2011) ve sonrasında aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

“Kenar ve Bulut sistemleri arasında konumlandırılmış; Bulut sistemlerinin kullandığı aynı teknikleri, yaklaşımları ve hizmetleri (Hizmet Olarak Altyapı (IaaS), Platform (PaaS) ve Yazılım (SaaS) v.b.) destekleyebilen; sistematik, yüksek oranda sanallaştırılmış, güvenli ve ağa-entegre hesaplama ve hafıza kabiliyetlerine sahip bir bilişim paradigmasıdır.” (Bonomi, 2012)

Sis Bilişim, Bulut Bilişim’e alternatif bir paradigma olmanın tam tersine, Bulut Bilişim ile çalışarak, Bulut Bilişim’in sağladığı hizmetlerin Kenar sistemlerine (bağlantılı

nesnelere) genişletilmesine olanak vermek ve hatta bu hizmetlerin kalitesini ve çeşitliliğini artırmak üzere ortaya atılmıştır (Yannuzzi, 2014). Şekil 2.10'de gösterildiği üzere, Kenar sistemlerinin yakınında konumlanıp, birçok Kenar birimine Bulut benzeri servisler sağlamak üzere yeterli işlemci, hafıza ve ağ bağlantı kabiliyetine sahip olan ve bu servisleri çalıştırmak üzere tasarlanıp geliştirilmiş ağ yönlendiricisi, ağ geçidi, ağ anahtarı, ağ erişim noktası, baz istasyonu ve hatta akıllı telefon, sunucu bilgisayar vb. her türlü cihaz Sis katmanı düğümü olarak kabul edilebilir (Marín-Tordera, 2017).

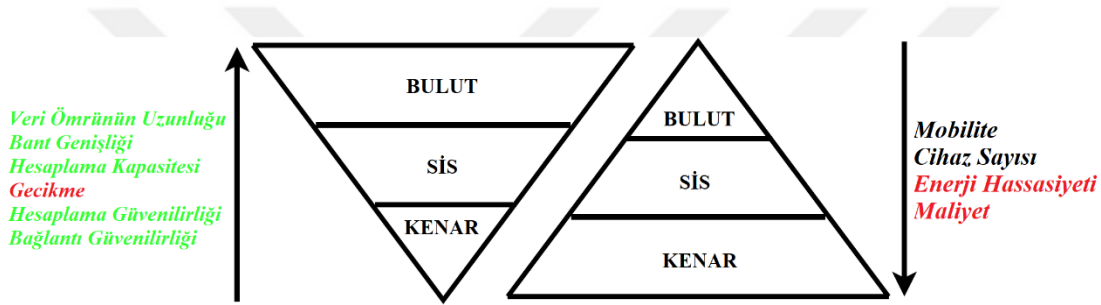


Şekil 2.10 : Kenar, Sis ve Bulut bilişim sistemlerinin oluşturduğu hiyerarşik mimari (Hu, 2017a).

2.4.2 Sis bilişimin IoT ekosistemindeki yeri ve önemi

Geleneksel IoT mimarisinde Bulut sistemleri, merkezi, Kenar sistemlerine uzak ve oldukça sınırlı mobiliteye sahip bir şekilde hizmet sunmaktadır. Bulut, Şekil 2.11'de görselleştirildiği üzere, piramidin sol tarafında yeşil (artışı olumlu olarak değerlendirilen özellikler) renk ile sıralanan “Veri Ömrünün Uzunluğu, Bant Genişliği, Hesaplama Kapasitesi, Hesaplama Güvenilirliği ve Bağlantı Güvenilirliği”

gibi kaynak ve özellikleri bünyesinde en fazla barındıran ve destekleyen katmandır. Bunun yanında, kırmızı (artışı olumsuz olarak değerlendirilen özellikler) renk ile işaretlenmiş “Gecikme”, Bulut sistemlerinin sunduğu servislerde, özellikle siber-fiziksel sistemler, sağlık bilişimi, akıllı araçlar, akıllı şebekeler gibi tepki süresine duyarlı IoT uygulamaları için önemli bir sorun teşkil etmektedir (Hu, 2017a; Marín-Tordera, 2017; Tang, 2017; Varshney, 2017). Pratikte, Bulut’la olan iletişimlerde sinyal gidiş-dönüş süresi ortalama olarak onlar-yüzler milisaniye mertebesinde olup, bu durum Bulut sistemlerinin sağladıkları servislerin kalitesi (kullanılabilirlik, emniyet, gerçek-zamanlılık vb.) için önemli bir kısıt olarak kabul edilmektedir (Satyanarayanan, 2009; Khanghahi, 2013; Nokia Networks, 2014).



Şekil 2.11 : Kenar, Sis ve Bulut bilişim sistemlerinin kaynak nitelikleri (Varshney, 2017).

Kenar katmanına gidildikçe ise piramidin sağ tarafında siyah (artışı/azalışı herhangi bir olumlu/olumsuz etki yapmayan özellikler) renk ile gösterilen “Mobilite ve Cihaz Sayısı” artış göstermektedir. Bunun yanında, hem “Enerji Hassasiyeti” hem de “Maliyet”, Kenar sistemlerinin Bulut-benzeri gelişmiş servisleri kendi başlarına çalıştırabilmelerinin önündeki temel engellerden bazılarıdır.

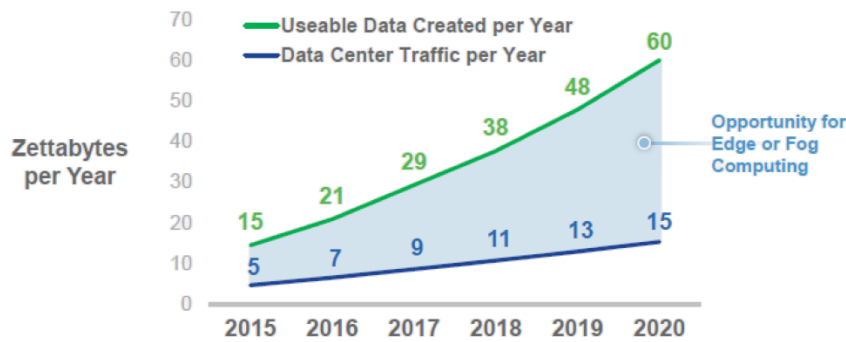
İşte, Sis Bilişim bu noktada, Kenar ve Bulut uçları arasında, Çizelge 2.3’te özetlenen ayırt edici özellikleri ile her iki ucun da handikaplarına ve dolayısı ile IoT’de karşılaşılan aşağıdaki zorluklara dolaylı veya direkt olarak çözüm sunabilme potansiyeline sahip bir aracı olarak değerlendirilebilir:

Çizelge 2.3 : Sis bilişimin özellikleri ve ilgili yetenekleri.

Sis Bilişim Özellikleri	İlgili Yetenekleri
Kenar'a Yakınlık	Hesaplama, hafıza, bağlantı, enerji ve kontrol kaynaklarını Bulut'a benzer servisler sağlamak üzere Kenar sistemlerine yakın konumlandırarak yerel bir kaynak havuzu oluşturma (Hu, 2017a).
	Kenar ile bant genişliği yüksek haberleşme alt yapıları üzerinden, aracısız (çoğunlukla tek sekmeli) ve dolayısı ile Bulut'a göre çok daha hızlı veri transferi yapma (Luan, 2015; Misra, 2016; Hu, 2017a; Varshney, 2017).
Konum Farkındalığı	Buldukları konumda yoğun olarak karşılaşılan kullanım senaryolarını ve kullanıcı profillerine bağlı olarak ilgili alana özgü şekilde ön-etkin hızlı hafıza, uygulamaya özel işlemci ve haberleşme kaynaklarına sahip olma (Luan, 2015; Perera, 2017).
	Yerleşiminin ve mimarisinin tüketici, uygulama ve konum odaklı olarak belirlenmesini mümkün kılma (Chiang, 2016).
	Aynı konumda yer alan nesnelerin verilerinden daha hızlı bir şekilde enformasyon oluşturma ve enformasyonun saklanma kapsamına ve süresine dair daha doğru karar alarak hafıza ve bant genişliği tasarrufu sağlama (Perera, 2017).
	Sağladığı servislerde konumun bağlamına uygun olarak veriyi işleme, süreç iyileştirme ve karar alma (Perera, 2017; Baccarelli, 2018).
Bulut-benzeri Servis Sağlama	Sahip olduğu hesaplama ve hafıza kaynakları ile IoT servislerinin gerektirdiği algoritmaları çalıştırabilme ve İnternet'te kurduğu ağlardan derlediği bilgileri de kullanarak, Bulut'a başvurmadan, Kenar katmanındaki nesnelere için uygulanabilir çıktılar oluşturma (Yannuzzi, 2014; Chiang, 2016; Hu, 2017a; Varshney, 2017).
Soyutlama	Kenar sistemleri temsilen sanal makineler, sanal nesnelere vb. barındırarak Kenar ile İnternet'in geri kanalı arasında bir soyutlama katmanı oluşturma (Yi, 2015; Hu, 2017a; Marín-Tordera, 2017; Baccarelli, 2018).
	Semantik araçları barındırarak, İnternet'e daha standart veya servise-özel ara-yüzler sağlama (Perera, 2017).
	Konteynır teknolojilerinin kullanımı ile farklı ekosistemlere kusursuz hesaplama (seamless computing) yetenekleri ile entegre olma (Katenbrink, 2018).
	Çeşitli ve çok sayıda standart haberleşme protokollerini destekleme (Perera, 2017).
Müsaitlik	Boyut, fiyat, güç tüketimi vb. avantajlarıyla, Kenar ile Bulut arasında çok sık olarak geniş bir coğrafi alana veya Kenar ile hareket edebilecek şekilde yerleştirilerek sürekli ulaşılabilir olma (Hu, 2017a).
	Aynı anda, daha az sayıda, belirli bir nesne grubuna servis sağlama.
Genişletilebilirlik & Uyarlanabilirlik	Çok sayıda heterojen ve dağıtık nesneye veya Sis düğümüne iş yüklerine ve taleplerine göre ihtiyaç duydukları kaynakları esnek ve dinamik bir şekilde atama (Yi, 2015; Hu, 2017a; Katenbrink, 2018; Baccarelli, 2018).
	Yenilikçi yaklaşımların ve geliştirmelerin büyük servis sağlayıcılara bağlı kalmadan çevik ve maliyet-etkin bir şekilde denenmesi ve yapılmasına imkân verme (Chiang, 2016).
Ön-İşleme	Veriyi Bulut sistemleri ile paylaşmadan önce filtreleme, kümeleme, sıkıştırma, özetleme vb. ön işlemler ile küçültme (Hu, 2017a; Marquesone, 2017; Stojkoska, 2017).
	Bulut'a başvurulması gereken durumlarda da Bulut'la sadece ihtiyaç duyulan asgari miktarda veriyi paylaşma (Misra, 2016; Hu, 2017a).
Çevre ve Enerji Dostu	IoT uygulamalarının %25'inin gerçek-zamanlı ve az gecikmeli servislere ihtiyaç duyduğu bir senaryoda, Bulut Bilişim'e oranla %40,48 daha az ortalama enerji tüketimine sahip olma (Misra, 2016; Baccarelli, 2018).
	Dağıtık coğrafi konumu ile yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışabilme, daha az ısı yayma ve ısı yönetimine daha az ihtiyaç duyma (Varshney, 2017).

- **Ölçeklenebilirlik (Scalability):** Sis Bilişim'in, Çizelge 2.3'te bahsedilen "Kenar'a Yakınlık" "Ön İşleme" ve "Bulut-benzeri Servis Sağlama" özellikleri ile, Bulut sistemlerine ulaşacak veri trafiğinde, ilgili uygulamanın özelliklerine bağlı olarak, %96,5 oranında kazanç sağlayabileceği gösterilmiştir

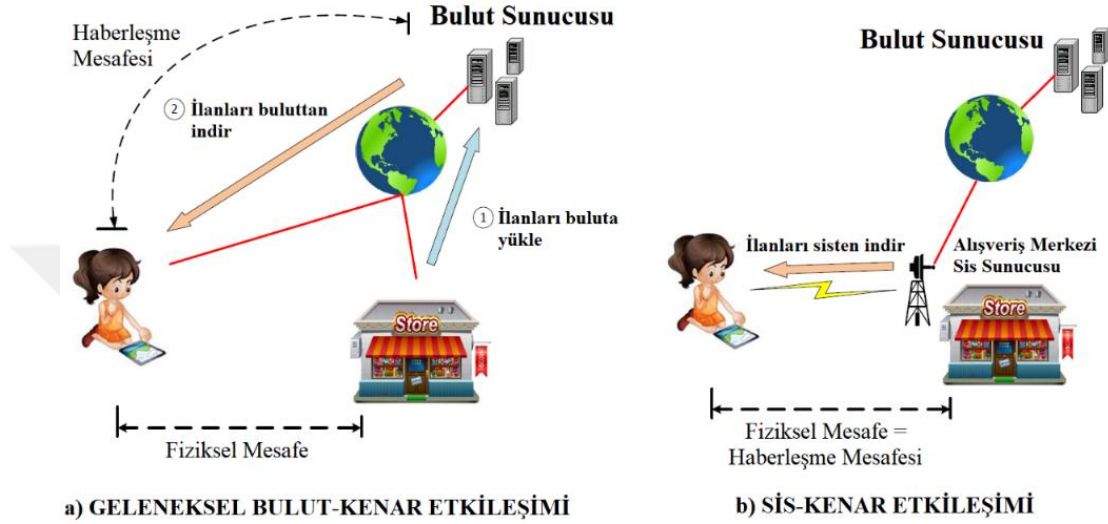
(Marquesone, 2017). Aynı şekilde, Hu(2017b), önerdiği Sis Bilişim tabanlı yüz tanıma uygulaması ile Bulut'a ulaşan veri trafiğinin %92 oranında azaltılabileceğini kanıtlamıştır. Yine, akıllı şehir uygulamalarında bu kazanç özellikle çok katmanlı Sis Bilişim mimarisi ile %99,8'e kadar çıkarılabilmektedir (Tang, 2017). Akıllı Ev ortamında enerji eniyilemesi uygulamalarında da Sis üzerinde öngörücü filtreleme ile ağ trafiğinin %95 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir (Stojkoska, 2017). Tseng(2018) ise, IoT sistemlerin Sis Bilişim ile ölçeklenebilirliğini, sis üzerinde dinamik boyutlandırma ve kaynak atama yaparak incelemiş ve önerdiği yenilikçi ve esnek yapının IoT trafiğini, servis kalitesini ve dolayısı ile ekosistemin ölçeklenebilirliğini olumlu olarak etkilediği sonucuna varmıştır. Bütün bu çalışmaların ve Şekil 2.12'un gösterdiği üzere, özellikle Bulut'a ulaşacak veri trafiğini düşürme ve lokal olarak daha fazla Kenar düğümüne servis sağlayabilme potansiyeli ile Sis Bilişim'in, bağlantılı cihaz sayısındaki ve cihaz başına hizmet talebindeki artışın IoT için bir ölçeklenebilirlik sorunu teşkil etmesinin önüne geçebileceği öngörülmektedir.



Şekil 2.12 : Sis bilişimin Bulut'a ulaşacak veri trafiğini düşürebilme potansiyeli (Barnett, 2016).

- **Servis Kalitesi (QoS) – Müsaitlik (Availability), Gecikme (Latency) ve Bant Genişliği (Bandwidth):** Sis Bilişim sistemleri, Kenar düğümlerinin Bulut'tan hizmet alırken karşılaştığı gecikme, bant-genişliği, müsaitlik zorluklarını, dolayısı ile servis kalitesini, Çizelge 2.3'te detaylandırılan "Kenar'a Yakınlık", "Konum Farkındalığı", "Müsaitlik" özellikleri ile iyileştirmektedir (Nokia Networks, 2014). Şekil 2.13, Akıllı Market uygulaması üzerinde incelediği ilan

dağıtım senaryosu ile bu iyileştirme potansiyeline bir örnek vermektedir. Yi(2015) ise, bir yüz tanıma algoritmasının Sis ve Bulut tabanlı mimariler üzerinde çalışma performansını incelemiş ve Sis-tabanlı mimaride Bulut-tabanlı olana oranla tepki süresinin yaklaşık %80, gecikmenin ise yaklaşık %90 iyileştiğini göstermiştir.



Şekil 2.13 : Sis bilişim konum farkındalığı ve Kenar sistemlerine yakınlığı ile servis kalitesini ve ağ verimliliğini artırmaktadır (Luan, 2015).

Bu özellikleri yanında, “Bulut-benzeri Servis Sağlama”, “Ön-İşleme” özelliklerinin de eklenmesi ile Sis Bilişim, IoT’de ihtiyaç duyulan gerçek-zamanlı işlem (Real-Time Processing) gerektiren ve gecikmeye duyarlı analiz ve kontrol servislerini Bulut’a başvurma seçeneğini en tasarruflu biçimde kullanarak veya hiç kullanmayarak sunabilme becerisine de sahiptir (Chiang, 2016; Hu, 2017a, 2017).

- **Mobilite (Mobility)**: Çizelge 2.3’teki “Bulut-benzeri Servis Sağlama” ve “Müsaitlik” özellikleri ile Sis Bilişim sistemlerinin nesnelere birlikte hareket edebilmesi ve dağıtık olarak konumlandırılabilmesinin mobilite üzerinde direkt olarak olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Bunun yanında, çevrimdışı çalışabilme yeteneği ile, nesnelere hareket halindeyken Bulut ile bağlantılarının kopması veya zayıflaması sonucu alacakları hizmetin kalitesinin olumsuz olarak etkilenmesinin önüne geçilecektir.

- **Heterojenlik (Heterogeneity) ve Beraber-çalışabilirlik (Interoperability):** IoT'nin oluşturduğu heterojen yapının etkilerini hafifleterek beraber-çalışabilirliği artırmanın yolları dinamik ve dağıtık bir ekosistemde çeşitli açık standartları destekleyebilmek (Manyika, 2015), bağlam ve konum farkındalıkla ontolojik olarak daha olgun ve değerli çıktılar sunabilmek (Razzaque, 2016), semantik aracılık yapabilecek ara katmanlar ve ağ geçitleri kullanmak (Čolaković, 2018) veya kusursuz hesaplama (seamless computing) yöntemleri ile platformdan bağımsız olarak entegrasyon sağlamak (Katenbrink, 2018) gibi çözümlerle mümkün görünmektedir. Sis Bilişim de sahip olduğu “Soyutlama”, “Konum Farkındalığı” gibi özellikleri ile bu çözümleri desteklemektedir.
- **Güvenlik (Security) ve Gizlilik (Privacy):** “Kenar’a Yakınlık” ve “Ön İşleme” özellikleri ile Sis Bilişim’in, verinin izole ve yerel bir seviyede kalması, sadece izin verilen ve ihtiyaç duyulan kadarının toplanması ve bunun bir miktarının dışarıya açılması ve dışarıya açılırken daha güçlü şifreleme yöntemlerinin kullanılabilmesi nedenleriyle gizliliği sağlamada daha avantajlı olduğu düşünülmektedir (Hu, 2017a; Perera, 2017). Bunun yanında “Soyutlama” özelliği ile de ekosistemin geri kalanı ile Kenar arasında bir yeterli ve dinamik kaynaklara sahip Bulut’a oranla koruması gereken alan daha küçük ve kontrollü olan bir güvenlik duvarı gibi davranabilmektedir (Chiang, 2016). Bütün bu avantajlarının yanında ise güvenlikle ilgili olarak küresel kavrayışa sahip olmak, Bulut’a göre daha kısıtlı kaynaklarla koruma sağlamak, daha dağıtık ve dolayısı ile daha savunmasız bir ortamda çalışmak gibi zorlukları da beraberinde getirmektedir (Chiang, 2016; Hu, 2017a).
- **Esneklik, Genişletilebilirlik, Uyarlanabilirlik ve Yenilikçilik:** Sis Bilişim, sunduğu esnek, kolay genişletilebilir ve uyarlanabilir mimari yapı sayesinde yeni araştırmalar ve uygulamalar ile üçüncü parti servis sağlayıcıları da kapsayıcı, açık ve Bilgi’nin özgürlüğünü destekleyen iş modellerine (örneğin Hizmet-olarak-Sis, Hizmet-olarak-Cihaz gibi), servis ve hizmetlere olanak ve ilham vermektedir (Farris, 2015; Chiang, 2016).

Sis Bilişim paradigması, yukarıda sıralanan zorluklara bir çözüm alternatifi olmanın yanı sıra, farklı teknolojileri barındırmaya imkân veren bir mimari oluşturmasıyla DT veya DT benzeri sanal nesnelere (Baccarelli, 2018; Zhu, 2018; Cech, 2019) ve DLT (Samaniego, 2017; Almadhoun, 2018; Ziegler, 2019) gibi IoT’ye katma değer

sağlayabilecek teknolojilerin uygulanabilirliğini de olumlu anlamda farklı bir boyuta taşımaktadır.

2.5 Sosyal ve Bilişsel Nesnelerin İnterneti (SİoT ve CİoT)

İoT ekosisteminin başa çıkmaya çalıştığı ölçeklenebilirlik ve heterojenlik zorluğu (Bölüm 2.1.2) kapsamında artan Cihaz ve uygulama sayısı ve çeşitliliği ile yoğunlaşan ağ aktivelere ve bant-genişliği ihtiyacı, Büyük Veri sistemlerinin verinin hacim, çeşitlilik, değer, hız ve gerçekliliğine dair sahip olduğu hali hazırdaki zorlukları katlayarak büyütülmektedir (Sheth, 2016). Bu zorlukların çözümünde İoT ekosisteminde, Bölüm 2.2, 2.3 ve 2.4’de incelendiği üzere çeşitli açılardan yardımcı olma potansiyeline sahip DT, DLT ve Sis Bilişim teknolojilerinin nasıl bir araya geleceği ve bir arada çalışacağını tanımlamak, bu teknolojileri İoT için gerçek çözüm potansiyeline ulaştırmak açısından çok önemlidir.

İşte bu noktada, insanların İnternet üzerindeki ilişkilerinin, bilgiye ulaşma kolaylığının, bilgiyi paylaşma verimliliğinin, çözüme ulaşma hızının, oluşturdukları kümülatif bilgi birikimi yöntemlerinin, Sosyal Medya ve bilişsel uygulamalarla kazandığı ivmeye bakılırsa, benzer bir sosyal ve bilişsel bir evrimin İoT’de sağlayacağı dönüşüm merak ve heyecan uyandıran bir araştırma konusu olmaktadır. DT, DLT ve Sis Bilişim teknolojilerinin, Cihazların sosyal ilişkiler kurabilmesini sağlayacak şekilde bir araya gelmesi ve bilişsel çıktılar üretebilen uygulamalarla çalışması, zaten tek başlarına sahip oldukları çözüm sağlama misyonlarını iş birliği içinde tamamlamalarını ve de İoT’nin gerçek potansiyelini ortaya çıkaracak bir yaklaşım oluşturmalarını sağlamaktadır.

2.5.1 Sosyal Nesnelerin İnterneti (SİoT)

Cihazların İoT ekosisteminde birbirleriyle, insanların Sosyal Medya ağları üzerinde kurdukları ilişkilere benzer sosyal ilişkiler kurabilmesi esasına dayanan SİoT fikri ilk defa Atzori(2011) tarafından kavramsallaştırılmıştır. Bu kavram çerçevesinde, Cihazların birbirleriyle belirli güvenilirlik ve alaka seviyesinde arkadaşlık benzeri ilişkiler kurarak korelasyonu artırması ve de ihtiyaç duydukları servisleri keşfetme ve oluşturmada bu korelasyonu kullanarak efektif bir şekilde beraber çalışarak insanlar için servis arama ve kullanma sürecini kolaylaştırması ile İoT ekosistemindeki bilgi dolaşımının ve ölçeklenebilirliğin iyileştirilmesi hedeflenmektedir (Atzori, 2011).

SIoT'nin vadettiği artırılmış sosyallik ve bağlantısallık ve de gelişmiş müsaitlik, yayılım ve her zaman her yerde işlem yapabilme kabiliyetlerinin, kullanıcı deneyimi kalitesini (QoE) artırması (Ortiz, 2014) dolayısı ile insan-merkezli yaklaşımı desteklemesi beklenmektedir.

Literatürde, Sosyal Nesnelerin İnterneti (SIoT) kavramını inceleyen çalışmalar temelde iki farklı gruba ayrılmaktadır:

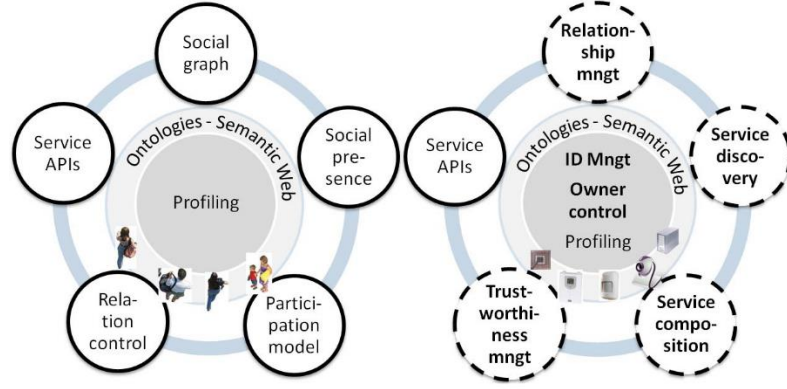
- Nesnelerin, sadece insanlar tarafından kullanılan Sosyal Medya uygulamalarına bağlanarak bu uygulamalar üzerinden insanlarla kurabilecekleri iletişimi, bunun için gerekli altyapıları ve bu tarz bir iletişimin getirilerini inceleyenler (Kamilaris, 2010; Chung, 2014; Jadhav, 2016),
- Nesnelerin de insanların Sosyal Medya ağları üzerinden kurdukları iletişime benzer bir şekilde, İnternet üzerinde özellikle birbirleriyle kuracakları sosyal ağlar için gerekli olan teknolojileri, altyapıları, sistemleri, faydaları, riskleri ve uygulamaları inceleyenler.

Bu çalışmada, SIoT kavramı yukarıda sıralanan ikinci anlamı ile değerlendirilmiş, bu doğrultuda yapılan araştırmalar incelenmiş ve referans alınmıştır.

Şekil 2.14'te gösterildiği üzere, SIoT platformları aşağıdaki temel bileşenleri içermektedir (Atzori, 2011):

- **Kimlik Yönetimi:** Bu bileşen her nesnenin evrensel özebir tanımlı bir kimliğe sahip olmasını sağlamaktadır.
- **Nesne Profili:** Nesnelerin özelliklerine ve hareketlerine dair statik ve dinamik olarak bilgi sağlanması bu bileşenin sorumluluğundadır.
- **Mülkiyet Kontrolü:** Nesnenin sahibi tarafından belirlenen ilkeler ve kurallar çerçevesinde davranmasını ve ilişki kurmasını sağlayan bileşendir. Nesnenin hangi bilgileri paylaşabileceği, kimlerle iletişim kurabileceği ve de ne tarz güvenlik ve erişim kurallarını takip etmesi gerektiği gibi ayarlar Cihaz sahibi tarafından bu bileşen üzerinden kontrol edilmektedir.

Nesnelerin kuracakları sosyal ilişkilerdeki semantik yapılarını ve ontolojik karakterlerini belirleyen bu temel bileşenlerin yanında, SIoT'de bir de yardımcı bileşenler tanımlanmıştır (Atzori, 2011):



Şekil 2.14 : İnsanların kurduğu (sol tarafta) ve nesnelerin kurduğu (sağ tarafta) sosyal ağları oluşturan bileşenler (Atzori, 2011).

- **İlişki Yönetimi:** Nesnelerin ilişki kurmada, güncellemede ve bitirmede akıllı davranabilmesi bu bileşen tarafından sağlanır. Nitti(2015), servis keşfi yaparken daha iyi yöngüdümlülük sağlamak için nesnelerin ilişki kurarken izlemesi gereken stratejileri incelemiş ve örneğin çok sıçrama noktası olan ağlarda lokal kümelenmenin indirgenmesinin daha iyi yöngüdümlülük sağladığı sonucuna varmıştır.
- **Servis Keşfi:** İnsanların Sosyal Medya ağlarında sosyal mevcudiyetleri ile arkadaşlık aramasına benzer olarak, nesnelerin ihtiyaç duydukları amaca yönelik servisleri keşfedebilmesidir. Sosyal ağların sahip olduğu yapısal yöngüdümlülük sayesinde servis arayışları daha efektif ve verimli olmaktadır (Farris, 2015).
- **Servis Oluşturma:** Bu bileşen, nesnelerin etkin veya önetkin olarak birbirleriyle etkileşim kurarak bilgi işleme becerilerini kapsamaktadır. Temel bileşenlerin sağladığı beraber-çalışabilirlik ile farklı teknolojileri kullanan nesneler bu bileşenin sağladığı beceriler sayesinde etkileşimde bulunabilirler (Farris, 2015).
- **Güvenilirlik Yönetimi:** Nesnelerin birbirlerine ve paylaştıkları bilgilere ne kadar güvенеbileceklerinin yönetimini üstlenen bileşendir. Kurulan sosyal ilişkilerde güvenilirlik seviyesinin belirlenmesi, IoT’de güvenliği artırıcı şekilde bir destek de sağlamaktadır (Farris, 2015).
- **Servis Uygulama Programlama Arayüzleri:** Sosyal Medya ağlarında olduğu gibi SIoT’de de servislerin kullanımı ve geliştirilmesi için gerekli uygulama programlara arayüzlerini sağlayan bir bileşen bulunmaktadır.

Çeşitli SIoT uygulamalarında bu bileşenlerin barındırılması için DT'ye benzer şekilde sanal nesnelere kullanılmış ve bu sanal nesnelere Bulut'a veya Sis'e yerleştirilmesi ile nesnelere ilgili fonksiyonları gerçekleştirerek SIoT ekosistemine katılımı sağlanmıştır (Farris, 2015; Baccarelli, 2018; Shamszaman, 2018). Ayrıca, özellikle ilişki yönetimi ile kurduğu daha akıllı ilişkiler ve servis yönetimi bileşenleri ile sağladığı daha efektif servis ve ağ kullanımı ile enerji ve gecikme verimliliğini artırmaktadır (Baccarelli, 2018; Atzori, 2019).

SIoT ekosistemlerinde bulunan nesnelere birbirleriyle kurdukları ilişkiler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Atzori, 2012):

- **Eş-Aileli Nesne İlişkileri (POR):** Aynı üreticiye ait, aynı özellikleri taşıyan nesnelere birbirleriyle kurduğu homojen ilişkilerdir.
- **Eş-Ortamlı Nesne İlişkileri (C-LOR):** Sürekli olarak aynı ortamda bulunan nesnelere birbirleriyle kurduğu homojen veya heterojen ilişkilerdir. Akıllı Ev, bina otomasyonu ve veri füzyonu gibi uygulamalarda sık olarak kullanılmaktadır.
- **Eş-İşlevli Nesne İlişkileri (C-WOR):** Bir IoT uygulamasında ortak bir amaca yönelik çalışmak ve belirli bir süre iş birliği yapmak üzere bir araya gelen nesnelere birbirleriyle kurduğu ilişkilerdir.
- **Eş-Sahipli Nesne İlişkileri (OOR):** Aynı kullanıcıya ait nesnelere birbirleriyle kurdukları ilişkilerdir.
- **Sosyal Nesne İlişkileri (SOR):** Nesnelere herhangi bir şekilde rastlantısal veya düzenli olarak bir araya gelmesi sonucu birbirleriyle kurdukları ilişkilerdir.

Bu ilişkilerin, servis kalitesi (QoS) gereksinimleri de Çizelge 2.4'te gösterildiği gibidir. Görüldüğü üzere C-LOR ve C-WOR ilişkileri için QoS beklentileri oldukça yüksektir. Bunun yanında, bu ilişkilerden özellikle C-LOR için her zaman, SOR ve OOR içinse çoğunlukla, C-WOR içinse bazı zamanlarda Sis Bilişim ile aynı konumda bulunma avantajından faydalanarak QoS beklentisini karşılamak mümkündür.

Çizelge 2.4 : SİoT ilişkilerinin servis kalitesi (QoS) gereksinimleri (Baccarelli, 2018).

	POR	C-LOR	C-WOR	OOR	SOR
Bant-Genişliği	≤ 100 kb/s	≤ 1 Mb/s	≤ 2 Mb/s	$\leq 10^{-1}$ Mb/s	≤ 10 Mb/s
Gecikme	≤ 450 ms	≤ 10 ms	≤ 10 ms	≤ 100 ms	≤ 200 ms
Gecikme Sapması	≤ 30 ms	≤ 3 ms	≤ 5 ms	≤ 10 ms	≤ 15 ms
Paket Kayıp Oranı	$\leq 10^{-1}$	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-2}$

2.5.2 Bilişsel Nesnelerin İnterneti (CIoT)

IoT'nin gerçek anlamda insan-merkezli, doğal ve sezgisel olarak servis sağlayabilen, görünmez ve kusursuz olarak entegre olabilen, değişikliklere uyum sağlayabilen, Bilgi'yi hak ettiği değeriyle kullanabilen bir ekosisteme dönüşmesinin en önemli adımı, sadece bağlantılı olan değil sahip olduğu bağlantılarla öğrenebilen, düşünebilen ve hem fiziksel hem de sosyal ortamını kavrayabilen akıllı nesnelere için elverişli ortamı hazırlamaktır. Bu şekilde bilişsel bir ekosistem, ilk defa Wu(2014) tarafından, IoT'de bir üst akıl oluşturma fikrini de içine alarak, CIoT paradigması olarak ortaya atılmış, tanımlanmış ve detaylandırılmıştır. Wu(2014)'nin tanımıyla:

CIoT, fiziksel ve sanal nesnelerin, birbirleriyle kurduğu bağlantılarda asgari insan müdahalesi gerektirdiği, bağlam-farkında bir algı-eylem döngüsü izlediği, fiziksel ortam ve sosyal ağlardan öğrenerek kavrayış geliştirmeye dayalı yöntemleri kullanabildiği, öğrenilen bilgi ve semantikler için veri tabanı oluşturabildiği, kaynakları verimli kullanan karar verme mekanizmaları ile değişikliklere ve belirsizliklere uyum sağlayabildiği bir paradigmadır.

CIoT'nin başlıca hedefleri ise şunlardır (Wu, 2014):

- Fiziksel (nesnelere, kaynaklar vb.) ve sosyal dünya (insan talepleri, sosyal davranışlar vb.) arasında kurduğu köprü ile akıllı bir Siber-Fiziksel-Sosyal sistem oluşturmak,
- Akıllı kaynak ataması, otomatik ağ işleyişi, akıllı ve talebe göre servis tedariki, büyük veri analizi, algı-eylem döngüsü, semantik türetimi, bilgi keşfi, akıllı karar alma gibi işlemleri mümkün kılmak.

CIoT paradigmasında, SİoT'de olduğu gibi DT'lere benzer bir yaklaşımla kullanılan sanal nesnelere yanında, bir de kullanıcıların gereksinimlerine, tercihlerine ve

kısıtlarına göre belirli bir grup sanal nesneyi kullanarak bilişsel servisler sağlayan bileşik sanal nesne kavramı ortaya çıkmıştır (Kelaidonis, 2012).

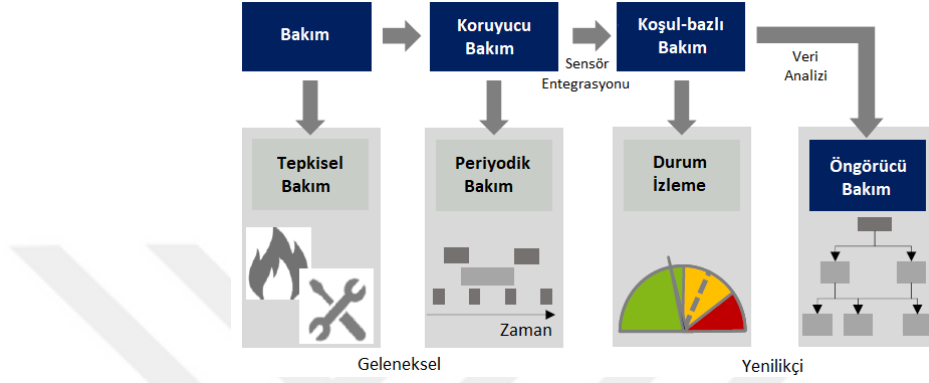
Akıllı binalarda, beklenmeyen olayları teşhis etmek ve yatıştırmak üzere binanın davranışlarını öğrenmek ve kullanıcılara sezgisel olarak yardım etmek amacıyla CİoT mimarisi öneren Ploennigs(2018), heterojenlik, ileri veri analiz metotlarına ve ölçeklenebilir Büyük Veri platformlarına olan ihtiyaç, değişen koşullara ve gereksinimlere uyum sağlayan daha dinamik, doğal ve sezgisel kullanıcı arayüzleri ve deneyimi sağlama gibi zorluklarla karşılaşmış fakat CİoT'nin bilişsel özellikleri ile ölçeklenebilir, uyarlanabilir, esnek ve interaktif bir çözüm getirmeyi başarmıştır. Bu önerilen mimari ve mimarinin değerlendirilmesi, semantik beraber-çalışabilirlik, otonom veri analizi, kendi kendine öğrenme, adaptasyon, kolay kurulum gibi CİoT bileşenlerinin çözüme ulaşma potansiyelini kanıtlamaktadır (Ploennigs, 2018). Baig(2018) benzer bir mimariyi, Akıllı Ev alanında uygulamış; Braten(2018), güneş enerjili sensör sistemleri için en uygun tahmin modelinin seçimini yapabilecek bir CİoT yaklaşımını denemiş; Yang(2018), Cihaz-Cihaz etkileşimleri üzerinden Bulut üzerinde koşan bilişsel algoritmalar ile hava kirliliği ve mobilitenin gözlemlendiği bir CİoT uygulaması önermiş; Zhang(2019) ise, Kenar'a yakın konuşlandırdığı bilişsel hesaplama yetenekleri ile QoS ve QoE artırabilecek bir CİoT yapısını incelemiştir.

2.6 Öngörücü Bakım (PdM)

İoT'nin ortaya çıkardığı uygulamalar arasında hem vadettiği faydalar hem birlikte çalışabildiği teknolojiler hem de ışık tuttuğu yenilikler ile en ilgi çekici olanlarından biri Öngörücü Bakım'dır. Bu tez çalışmasının önerdiği modelde de yapı taşlarının en karakteristik özelliklerinin kullanımının kapsamlı şekilde değerlendirilmesini mümkün kılan, oluşturulan sosyal ve bilişsel etkileşimden en etkili biçimde çıkar sağlayabilecek ve bu çıkarı katma-değere dönüştürebilecek potansiyelde bir İoT uygulamasıdır.

Öngörücü Bakım, bir sistemin durumunun düzenli olarak izlenmesi ve bu sistemden toplanan ve de bu sistemi ilgilendirebilecek olan her türlü verinin analiz edilmesi ile herhangi bir arızanın oluşabilme ihtimalini ve tahmini zamanını öngörerek, arıza oluşmadan önce bu potansiyel arızayı önleyici veya erteleyici bakım, işletme eniyileme, geri-besleme, kontrol etme vb. faaliyetlerin bütünüdür.

İşletmelerin kullandıkları en bilinen bakım stratejileri, yenilikçilik düzeylerine göre Şekil 2.15’de incelenmiş, performanslarına göre de Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’te karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Görüldüğü üzere, Öngörücü Bakım, optimum zamanda bakım yapılmasını sağlaması, Cihazların müsaitliğini artırması ve bakım maliyetlerini düşürmesi ile en gelişmiş bakım stratejisi olarak kabul edilmektedir.



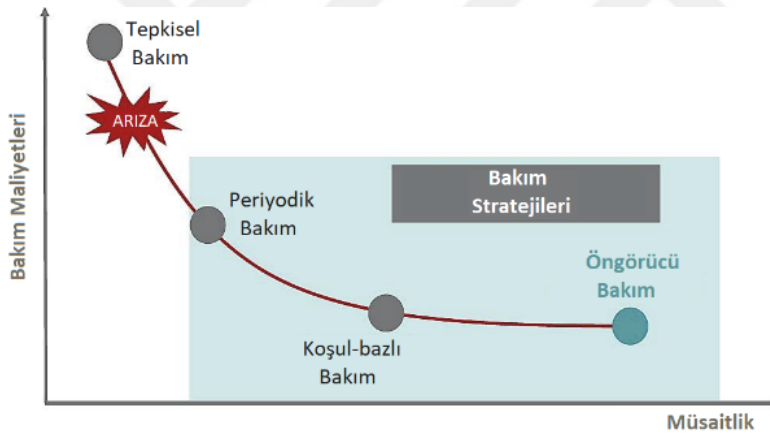
Şekil 2.15 : Cihazlar için bakım stratejileri (Barthelmey, 2019).

Her ne kadar uzun süredir bilinen bir konsept olsa da, Öngörücü Bakım’ın son dönemde trend olan IoT, Büyük Veri, Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ, Dijital İkiz, DLT gibi teknolojilerle birlikte kullanımı, özellikle endüstriyel alandaki araştırma ve uygulamalar için oldukça ilgi çekicidir (Manyika, 2015). Örneğin, Barthelmey(2019), Aivaliotis(2019) gibi çalışmalar üretim sistemleri için Dijital İkizler üzerinden Öngörücü Bakım uygulanabilirliğini incelemiştir. Bagozi(2019) ise dijital fabrikalarda Öngörücü Bakım’ın da içinde bulunduğu endüstriyel servisleri arz ederken belirli bir seviyede güven düzeyi sağlamak için Blok Zinciri ve Akıllı Sözleşmeleri kullanmıştır. Akıllı Ev ortamları içinse bağlantılı Cihazlar için arıza tanısı yapılmasını araştıran çalışmalar (Utton, 2004; Son, 2012; Hsieh, 2015) dışında, sadece Kireev(2018), gaz, su, ısınma, elektrik gibi hizmetleri sağlayan Cihazların Öngörücü Bakım’ını yapabilmek üzere, Sis Bilişimi de içine alan bir mimari önermiştir. Öngörücü Bakım uygulamalarının ticari sistemlerde uygulanması endüstriyel olanlara nazaran hâlâ az ilgi duyulan bir alan olup, sensör ve ağ bileşenlerindeki gelişmelerin ve donanımların daha makul fiyatlara düşmesinin bu alandaki araştırmaları daha cazip hale getirmesi beklenmektedir (STMicroelectronics, 2018). Bütün bunların yanında, Öngörücü Bakım, hizmet-olarak-öngörücü-bakım (Zoll, 2018), değer-odaklı-fiyatlandırma,

kullandıkça-öde gibi iş modelleri yaratma veya varolanların kapsamını genişletme potansiyeline de sahiptir.



Şekil 2.16 : Öngörücü Bakım'da eylem kritikliği (Motaghare, 2018).



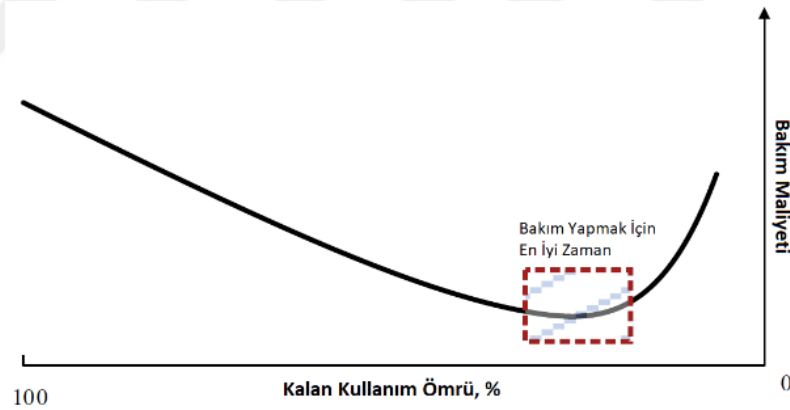
Şekil 2.17 : Bakım maliyetlerinin müsaitlik ile değişimi (Motaghare, 2018).

2.6.1 Akıllı evlerde öngörücü bakım uygulamasının akıllı cihaz kullanıcılarına ve üreticilerine faydaları

Öngörücü Bakım'ın Akıllı Cihaz kullanıcılarına sağlayabileceği faydalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Erken teşhis ve muhtemel bozulma durumunda önce yapılacak koruyucu tamirat ile Şekil 2.17'te gösterildiği üzere Cihazlardan daha kesintisiz bir hizmet alımı sağlanması (Gelişmiş QoS),

- Cihaz performansında hissedilir düzeydeki performans düşüklüklerinin engellenmesi (Gelişmiş QoS),
- Herhangi bir emniyet riskine ve tehlikeye yol açma potansiyeli olan hata ve arızaların önüne geçilmesi,
- Birbirini tetikleyen hata ve arızalar zincirlerinin engellenmesi,
- Cihazların verimliliğin belirli bir seviyenin üstünde tutulması ile sağlanacak enerji ve maliyet tasarrufu,
- Cihazların fiziksel yayılımlarının (ısınma, gürültü, titreşim, radyasyon vb.) belirli bir seviyenin altında tutulması ile kullanıcı sağlığı ve çevre üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin önüne geçilmesi,
- Şekil 2.18’te gösterildiği üzere, Cihazların kullanım ömürlerinde artış ve toplam işletme masraflarında düşüş ile hem maliyet hem de daha çevre dostu bir yapı elde edilmesi.



Şekil 2.18 : Bakım yapmak için en iyi zamanın belirlenmesi (Kireev, 2018).

Öngörücü Bakım, üreticiler için de aşağıdaki faydaları sağlama potansiyeline sahiptir:

- Şekil 2.17’te gösterildiği üzere, Cihazların artan kullanım ömürleri ile daha uzun süre dolaşımda kalması ve böylece satış-sonrası kâr getirme potansiyelinin artması,
- Şekil 2.16’te gösterildiği üzere, satış-sonrası servislerinin ihtiyaç dışı durumlarla meşguliyetinin önüne geçilmesi,

- Özellikle teşhis-odaklı verinin toplanıp (tabi ki kullanıcı izinleri dahilinde), analiz edilmesi ile takip eden modellerde kalitenin artırılması ve kullanıcı-odaklı geliştirmelerin yapılması,
- Kümülatif bilgi birikiminde daha hızlı ve dinamik olarak ilerlenmesi,
- Cihaz veya bölgeye özel güncellemelerin arz edilmesi,
- Test maliyetlerinin düşmesi,
- Garanti ihlallerinin belirlenebilmesi,
- Elektroniklerin daha kolay, verimli ve yararlı şekilde tekrar kullanılması,
- Müşteri sadakatinin artması.



3. SİSTEM MODELİ

Bu bölüm, örnek bir senaryo üzerinden sistemin gereksinimlerini belirleyerek, önerilen sistemin modelini ve bileşenlerini detaylı bir şekilde açıklamaktadır.

3.1 Temel Gereksinimler

Önerilecek sistemin nasıl işleyeceğini daha iyi anlamak amacıyla Bölüm 2’de yer alan teknolojilerin IoT ve Akıllı Ev ekosistemine uygulanmaları, gerçekçi bir örnek kullanım senaryosu ile aşağıdaki şekilde somutlaştırılmıştır:

John Doe, Akıllı Ev sistemine yeni bir ısıtma cihazı satın alırken, ısıtma cihazı üreticisinin cihazın dijital kullanım haklarını, cihazın dijital ikizi olarak sağladığını öğrenmiş ve bu opsiyonu da alıma dahil ederek (belki bu opsiyon için ek bir ücret de ödeyerek) alımı tamamlamıştır. Kurulum sırasında, cihazın dijital ikizini, Akıllı Ev ağ geçidine (John Doe’nun kripto para cüzdanı ile de eşleşmiş olan bu ağ geçidi, sahip olduğu haberleşme, depolama ve işlemci kaynakları ile aynı zamanda Sis Bilişim’in temel elemanlarından biridir.) yüklemiş ve ağ geçidi de ilgili haberleşme protokollerini desteklemek üzere kendini güncellemiş ve bu dijital ikizi barındırmak için uygun hale gelmiştir. John Doe, kullanıcı ara yüzlerini (ısıtma cihazının ara yüzü, Akıllı Ev ağ geçidinin ara yüzü ve uzaktan kontrol sağlayan örneğin akıllı telefon uygulamaları) kullanarak, kendini ısıtma cihazının, dolayısı ile cihazın dijital ikizinin, sahibi olarak tanımlamış ve cihazı işletmeye almıştır. Aktivasyon sonrasında John Doe, cihazın dijital ikizine, dolayısı ile ısıtma cihazına, farklı uygulamalar (örneğin öngörücü bakım, cihaz eniyileme, ...vb.) satın alabilmekte ve ısıtma cihazının verilerinden oluşturulan enformasyonu ilgili partilere satabilmektedir. Hem satın alma / satma sürecinde hem de uygulamaların ilgili hizmet algoritmalarını çalıştırmaları süresince, cihazın dijital ikizi, ekosisteme dahil olan diğer cihazların dijital ikizleri ve partilerle blok-zincirleri (veya diğer DLT’ler) aracılığı ile bilgi, karar ve mikro-ödeme paylaşımlarında bulunmaktadır.

Cihazın üreticisine, cihazın çalışmasına dair enformasyonu gönderip göndermeme veya gönderdiği enformasyonun kapsamı gibi kararlar mutlak olarak John Doe'nun özgür iradesindedir. Örneğin üreticiye gönderdiği enformasyon için üreticiden, üreticinin kripto paraları cinsinden kazanç sağlayıp, kazandığı bu paraları yeni uygulamalar (örneğin elektrik tüketimi eniyileme), hizmetler (örneğin satış sonrası servis hizmeti) veya yeni ürünler (örneğin yedek parça veya başka bir cihaz) satın almak için kullanabilir.

Bunun yanında, John Doe, benzer şekilde, cihazın ürettiği enformasyonu üçüncü partilere satarak, buradan da kazanç sağlayıp, bu kazançlarını uyumlu platformlarda harcayabilir.

Son olarak cihazının kontrolünü, cihazı daha verimli kullanan algoritmalar veya sabit ödemeli hizmetler sunan servis sağlayıcılarına bırakmayı tercih edebilir.

SORU: Bu senaryoyu gerçeklemek için oluşturulacak bir sistemin ve sistem bileşenlerinin gereksinimleri nelerdir?

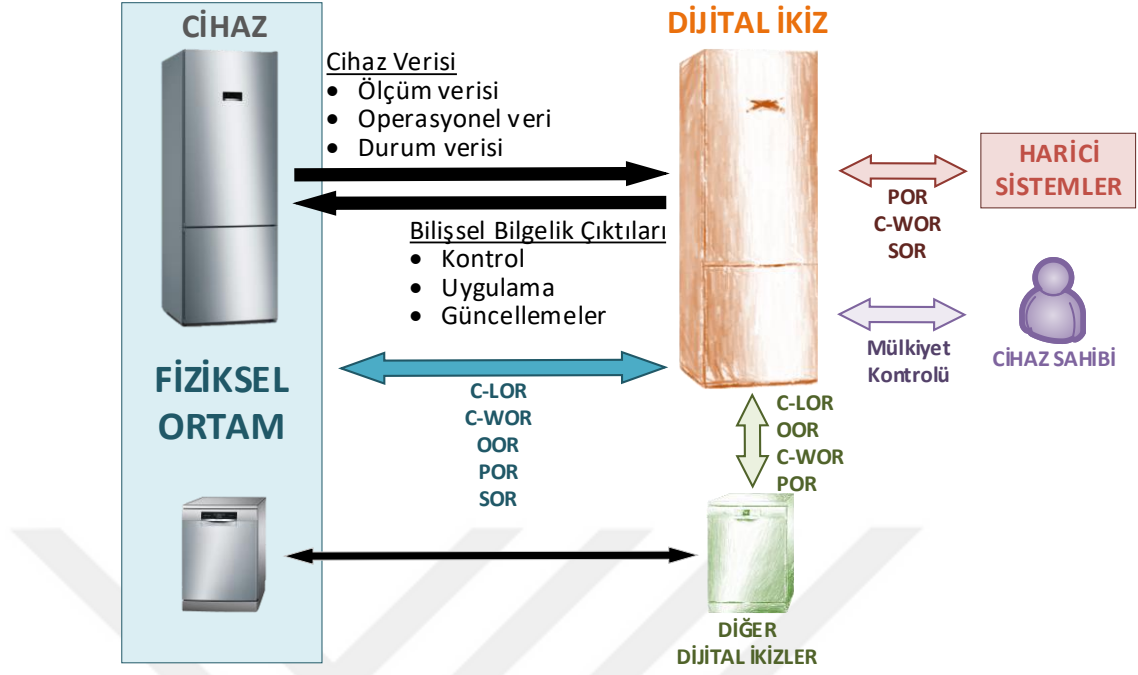
Bu senaryodan, ana hatlarıyla, özellikle DT, DLT ve Sis sistemlerinin sinerjisinin, IoT ekosistemine nasıl daha sosyal ve bilişsel bir boyut kazandırılabilceği ve bu ekosistemin aktörlerine ne çeşit uygulamalar, imkânlar ve teşvikler sağlayabileceği ile ilgili bir fikir edinilebilir. Fakat bu örnekte yer alan kullanım senaryoları, önerilen sistemle kurulacak dağıtık ve erkin altyapının vadettiğinin sadece bir kısmıdır.

Bu bölümün devamında, bu senaryoya dayanarak çıkarsanan temel ve kritik gereksinimler detaylandırılmaktadır.

3.1.1 Cihaz ve dijital ikizinin bağlaşımı

Sistem için, özellikle iş modellerinin güvenilirliğini sağlamak adına, en kritik gereksinimler, Şekil 3.1'te görselleştirildiği şekilde cihaz ile dijital ikizinin eşleşmesini ve aralarındaki bağlantıyı belirleyen gereksinimlerdir.

- **Çift-yönlülük:** Cihaz için uzaktan bir beyin/strateji merkezi olarak kabul edilebilecek dijital ikizi arasındaki bağlantı çift-yönlü olmalıdır. Cihaz tarafında elde edilen ölçümler, ham veriler ve durum bilgileri dijital ikizine aktarılabilirken; dijital ikizi tarafından da kontrol stratejileri, karmaşık algoritmalarından çıkarılan kararlar, yazılım güncellemeleri ve bilişsel bilgelik çıktıları Cihaz'a gönderilebilmelidir.



Şekil 3.1 : Cihaz ve dijital ikizi arasındaki çift-yönlü bağlantı ve Cihaz'ın dijital ikizin diğer ilişkileri.

Bunun yanında, dijital ikiz, Şekil 2.6'da gösterildiği şekilde, Cihaz'ın fiziksel ortamında bulunan sensörler, yine Cihaz ile aynı ortamda bulunan diğer cihazların dijital ikizleri, Cihaz'ın sahibi ve harici sistemlerle olan ilişkilerini de kurabilmelidir.

- **Güvenlik (Tümleşiklik, Kimlik Doğrulama ve Gizlilik):** Cihaz ve dijital ikizi arasındaki bağlantı üzerinden aktarılan verilerin tümleşikliğinin kontrolü ve iki taraflı olarak Cihaz'ın ve dijital ikizinin birbirinin kimliğini doğrulaması, sistemin inşası için temel oluşturmaktadır. Örneğin, dijital ikizi tarafından Cihaz'a gönderilen paketlerin kaynağının farklı olması veya içeriğinin değiştirilmesi, Cihaz'ın işleyişini etkileyecek ciddi sonuçlar doğurabilir. Aynı şekilde dijital ikizinin Cihaz'dan aldığı sandığı verilerin başka bir kaynaktan gönderilmiş olması veya Cihaz'ın gerçek verilerinden farklı olması, bütün sistemin güvenilirliğini tehlikeye düşürmektedir. Bütün bunların yanında, aradaki bağlantının gizliliğinin sağlanması hem Cihaz sahibinin mahremiyetini korumak hem de sistemdeki verinin ekonomik değerini sağlama almak açısından

kritiktir. Ayrıca Cihaz ve dijital ikizinin güvenli bir bağlaşıma sahip olması SIoT’de güvenilirlik yönetiminin de temelini oluşturmaktadır.

- **Hız, Bant Genişliği ve Zamanlama:** Önerilen sistemde, Akıllı Ev ortamında Cihaz’ın anlık kontrolündense, uzun süreli işletimsel stratejilerini etkileyecek uygulamaların dijital ikizi üzerinde koşturulması daha öncelikli olarak ele alınmıştır. Özellikle ev ortamında kullanılan cihazlar için belirlenen emniyet gereksinimleri, Cihaz’ın faaliyeti boyunca birçok anlık işlemi, geleneksel cihazlarda olduğu gibi, kendi bünyesinde gerçekleştirilmesi kısıtlılığını yaratmaktadır. Fakat, daha yüksek işlemci kapasitesi gerektiren, karmaşık ağlar kurmak, simülasyon yaparak sonuçları değerlendirmek ve kompleks algoritmaları koşturmak gibi işlemler Cihaz’ın dijital ikizi üzerinde gerçekleştirilebilir. Algoritmaların tutarlılığı açısından Cihaz’dan dijital ikizine olan akış için gerçek-zamanlılık esassen, bu algoritmaların sonuçlarının (örneğin Cihaz üzerindeki bir algılayıcının ölçüm sıklığının değiştirilmesi gibi) Cihaz’a aktarılması ise gevşek gerçek zamanlı bir bağlantı ile sağlamak bu tez çalışmasında incelenen kullanım senaryoları için yeterlidir. Takip eden çalışmalarda, kullanım senaryolarını çeşitlendirmek adına, emniyet gereksinimleri ve sertifikasyon standartları dikkate alınarak, dijital ikizinin Cihaz üzerinde gerçek zamanlı kontrol sağladığı bir bağlaşım oluşturmak da mümkündür. Bağlantıların servis kalitesi gereksinimleri de Şekil 3.1’de kullanılan ilişki tiplerinin Çizelge 2.4’te yer alan beklentileri referans alınarak belirlenmektedir.
- **Bağlaşımın Tanımlanması:** Cihaz ile dijital ikizi için uygulama katmanı (OSI - Application Layer) protokolünün, dolayısı ile bu katmanda iletilecek verinin özelliklerini, formatını, ilgili kısıtlarını içeren semantik veritabanlarının ve ontoloji kütüphanelerinin tanımlanması ve paylaşılması ve de tedarikçilerden elde edilenlerin derlenmesi Cihaz üreticisinin sorumluluğundadır (Datta, 2017). Bölüm 2.5.1’de detaylandırıldığı üzere SIoT’ye temel oluşturan Kimlik Yönetimi, Nesne Profili ve Mülkiyet Kontrolü bileşenlerinin gerekliliklerini sağlamak ve Bölüm 2.5.2’de yer verildiği üzere CIoT’nin hedeflediği öğrenebilen, düşünebilen ve kavrayabilen nesnelere bilişsel seviyede veri analizi, algı-eylem döngüsü, bilgi keşfi, akıllı karar alma gibi işlemleri yürütmek için önerilen model, hem Cihaz üreticisinin bu sorumluluğunu

yerine getirebileceği hem Cihaz sahibinin bu bağlaşımın kapsamını kontrol edebileceği hem de bu bağlaşımın CİoT gereğince kendi kendini geliştirebileceği bir yapı kurmalıdır. Fonksiyon, gereksinim, cihaz ve üretici çeşitliliği, üreticiler üzerindeki markete hızlı ürün sürme baskısı, üreticilerin farklı önceliklere sahip olması, farklı kullanım senaryoları ve ürün sınıflarını kapsayıcı çalışmaların kısıtlı olarak yapılabilmesi gibi nedenlerle, günümüz İoT mimarilerinin özellikle uygulama katmanlarında genel-geçer standartların noksanlığı, bu alanda güncel bir zorluk olarak kabul edilmektedir (Saleem, 2018; Miloslavskaya, 2019).

Takip eden bütün gereksinimler ve sistem model tasarımı, Cihaz ve dijital ikizi arasındaki bağlanti için kullanılan haberleşme kanallarının, metotlarının ve protokollerinin asgari olarak bu gereksinimleri sağladığı varsayımına dayanmaktadır.

3.1.2 Dijital kuklaların engellenmesi

Bu çalışmada, dijital kuklalar, herhangi bir fiziksel cihaz ile bağlaşmaları bulunmamasına rağmen, dijital ikizler gibi davranan ve sisteme dijital ikizleri taklit ederek sahte ve oynanmış enformasyon gönderebilen ve böylece yanlış ve yanıltıcı bilgi ve bilgelik yaratılmasına neden olan oluşumlar olarak tanımlanmıştır. Dijital kuklalar aşağıdaki durumların sonucu olarak oluşabilir veya kasıtlı olarak oluşturulabilirler:

- Geçerli bir cihaz – dijital ikiz bağlaşımının herhangi bir nedenden ötürü kırılması (örneğin Cihaz'ın, bozulma, süresi dolma ve benzeri nedenlerden ötürü ömrünü tamamlaması),
- Gerçekte var olan bir dijital ikizin illegal olarak kopyalanması,
- Sahte bir cihaza bağlı bir dijital ikiz oluşturulması.

Dijital kuklalar, aşağıdaki partiler tarafından, bahsi geçen amaçlarla oluşturulabilirler:

- Dürüst davranmayan üreticiler veya cihaz sahipleri, ekonomik olarak haksız çıkar elde etmek için,
- Kötü niyetli servis sağlayıcılar, sistemdeki analizleri ve kararları kendi lehlerine çevirmek amacıyla,
- Siber korsanlar ve saldırganlar, Dağıtık Servis Reddetme (DDoS) atağı yapabilmek amacıyla.

Dijital kuklaların varlığı sistemin, iş modellerinin, enformasyonun, bilginin ve servislerin doğruluğunu, güvenilirliğini ve ulaşılabilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle tasarlanan sistem modelinde her bir cihaz özebir tanımlanabilir olmalı ve özebir tanımlanabilen her bir cihaz için yalnız ve yalnız bir adet gerçek ve tasdikli dijital ikiz olması garantiye alınmalıdır.

3.1.3 Dijital ikizlerin mutlak mülkiyeti

Gartner'ın 2020 yılı için belirlediği en stratejik teknoloji trendlerinden birisi de Şeffaflık ve Takip Edilebilirlik kapsamında dijital etiğin ele alınması ve de veri gizliliği, mülkiyeti ve kontrolüne dair süreçlerin daha şeffaf, açık, net, tutarlı ve hesap verilebilir bir düzeyde ele alınmasıdır (Cearley, 2019). Bunun yanında tüketiciler ve IoT üzerine Consumers International(2017) tarafından hazırlanan rapor, adil kullanım ve net mülkiyete dair bir vizyon oluşturulması yönünde tavsiye vermektedir. Bölüm 2.2'de ortaya konulduğu üzere bu tez çalışması, dijital kullanım haklarının ve mutlak mülkiyetin Cihaz sahibine verilmesi gerekliliği varsayımı ile bu gereksinimi belirlemektedir.

Mutlak mülkiyet, Cihaz'ın satın alınımından elden çıkarılmasına kadar geçen sürede, Cihaz sahibinin Cihaz ve Cihaz'ın dijital ikizi üzerindeki aşağıdaki işlemleri uygulamadaki özgür ve sınırsız iradesidir:

- Kaydettirme, işletmeye alma, yürürlükten kaldırma, devretme,
- Dijital ikizin saklanacağı belleğe karar verme,
 - ✓ Sis ve Kenar sistemleri üzerindeki yerel belleklerde (Cihaz üzerinde, Akıllı Ev ağ geçidinde, akıllı telefon üzerinde, ...vb.),
 - ✓ Bulut sistemleri üzerindeki depolama hizmetlerini kullanarak (Cihaz üreticisi veya üçüncü parti servis sağlayıcılar tarafından arz edilen depolama çözümleri),
 - ✓ Çizelge 2.2'de örnekleri bulunan DLT tabanlı dağıtık depolama çözümlerini kullanarak.
- Dijital ikiz için işlemci kaynaklarına (örneğin Sis, merkezî veya dağıtık çözümlerin kullanımı) karar verme,

- Dijital İkiz ve Cihaz'ın kontrolünün servis sağlayıcılara bırakılması ve Servis Sağlayıcılardan geri alınması,
- Dijital ikiz için yapılan akıllı sözleşmelerin ve bu sözleşmeler ile çalışan uygulamaların ve servislerin kapsamının, kısıtlarının ve özel izinlerinin belirlenmesi.

Cihaz sahibinin, Cihaz ve Cihaz'ın dijital ikizi üzerinde, mutlak mülkiyet hakkından istifade edebilmesi için, aktivasyon sırasında Cihaz sahibinin Cihaz'ın sahipliğini iddia edebilmesi ve bu durumu sisteme ilan edebilmesi gerekmektedir. Bu iddia ve ilan sürecine dair henüz genel geçer bir standart olmadığı için, bu sürecin daha çok Cihaz'ın üreticisi ve ürün tipine bağlı olması beklenmektedir. Bu nedenle, bu süreç, bu araştırmanın konusu dışındadır. Fakat, satın alma kanıtı (örneğin fatura numarası), Cihaz'a yakınlığın kanıtlanması ve benzeri kanıtların bu süreçte kullanılması öngörülmektedir.

Sonuç olarak, bahsi geçen sahiplik iddia ve ilan süreci tamamlandıktan sonra, sistem üzerinde Cihaz'ın dijital ikizi, dolayısı ile Cihaz ve Cihaz sahibi (Cihaz sahibinin dijital kimliği) arasında gizlilik farkında bir bağlaşım kurulmuş olmalıdır. Bu bağlaşım SIoT'de Mülkiyet Kontrolü bileşenin çalışması için gerekli altyapıyı sağlamak için de gereklidir. Ayrıca, özellikle mutlak mülkiyet hakları dahilinde Cihaz'ın operasyonunun ve kontrolünün üçüncü partilerce yapılmasına izin verileceği kullanım senaryoları için, SIoT Kimlik Yönetimi kapsamında, etkili kimlik yönetimi, kimlik denetimi, erişim kontrolü mekanizmalarına ve de güvenli anahtar yönetim protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır (Bugeja, 2016).

3.1.4 Dijital ikizlerin liberalleşmesi

Bölüm 1.2.1.3'de detaylıca incelendiği üzere, günümüz IoT modellerinde, veri/enformasyon akışının kontrolü çoğu zaman özel-kapalı-merkezî sistemlerin tekeline bırakıldığı için, Kenar sistemlerinden üretilen verilerin önemli bir kısmı verimli bir şekilde değerlendirilememekte ve atıl olarak kalmaktadır. Bunun yanında, yine bu özel-kapalı-merkezî sistemlerle çalışan Cihaz üreticileri, kurulum veya ilk bağlantı esnasında Cihaz sahibini yasaların gerektirdiği en asgari düzeyde bilgilendirip, Cihaz sahibinin kullanım ve gizlilik sözleşmeleri için genel onayını aldıktan sonra, arka planda Cihaz'dan, ekonomik değere de sahip olan, ciddi miktarda veriyi kendi Bulut sistemlerine aktarmaktadır (Cyr, 2014; Arias, 2015). Yukarıda

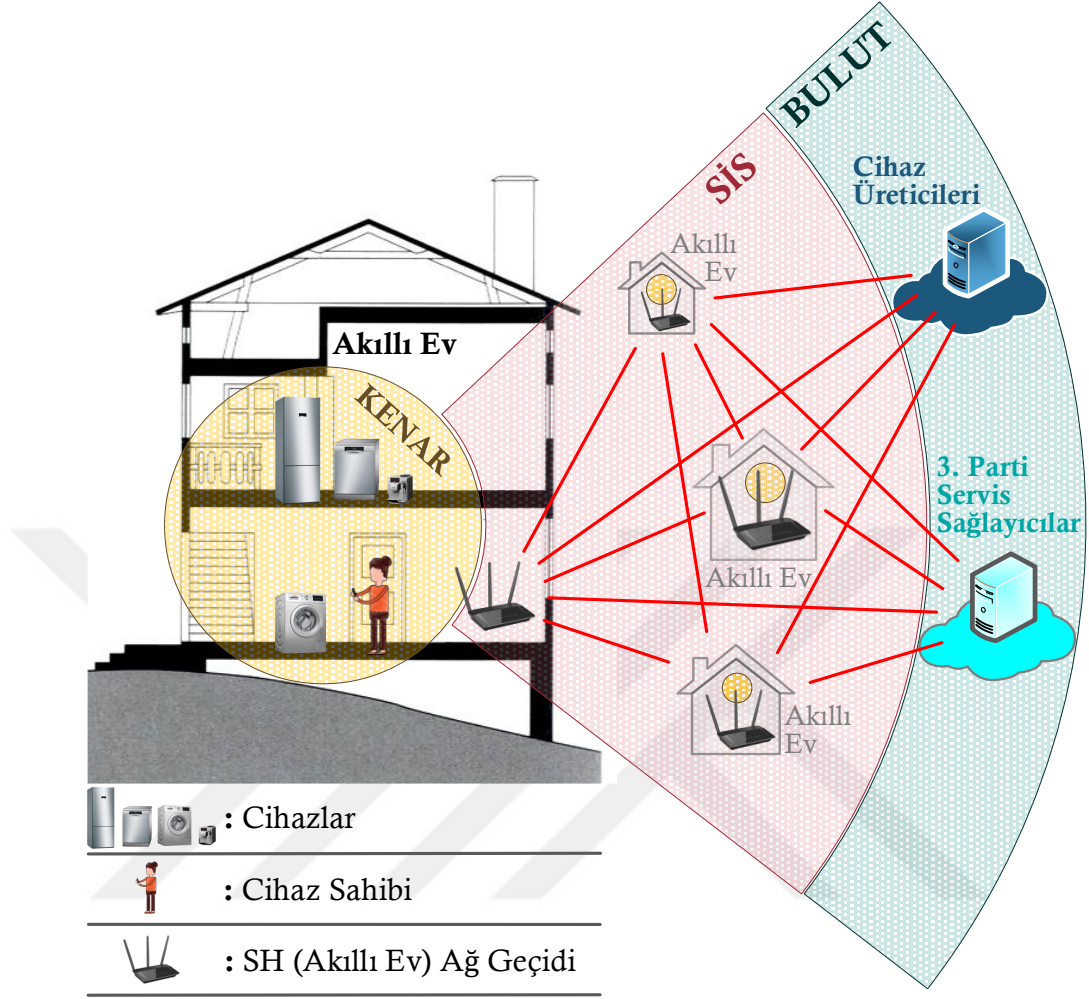
bahsedildiği gibi, benzer şekilde, bu verilerin de özel-kapalı-merkezî sistemlerin tekelinde, gerçek potansiyellerinin altında değer görmektedir. Verilerin önemli bir kısmı da Cihaz sahiplerinin gizlilik kaygısı veya teşviklerin yetersizliği gibi nedenlerle Cihazlarını çevrimdışı kullanmak istemelerinden dolayı, Bulut sistemlerine zaten ulaşmamaktadır.

Yapılan çalışmalarda, Cihaz sahiplerinin ekonomik bir fayda görmeleri halinde Cihazlarını çevrimiçi kullanmaya ve Cihazlarından elde edilen verileri çevrimiçi olarak paylaşım ve kullanıma sunmaya istekli oldukları belirlenmiştir (Hardjono, 2016; Lindsay, 2016; Martin, 2017). Yine benzer şekilde, Bucherer(2011), IoT uygulamalarının gerçek potansiyellerinin ortaya çıkarılabilmesi için, Cihaz-Kullanıcı-İşletme üçgenindeki çok yönlü serbest enformasyon akışının gerekliliğine dikkat çekmektedir. Leminen(2012) ise, inovatif, kullanıcı odaklı ve özgün iş modellerinin ancak açık IoT sistemleri ile mümkün olabileceğini savunmaktadır.

Bütün bunların ışığında, anlaşıldığı üzere, IoT'nin bütün katılımcıları için, sistemdeki veri ve enformasyon akışının (özellikle ekonomik) serbestliği, herkesin ortak temennisi ve katılımcıların ekonomik çıkarları için uzun süreçte en sürdürülebilir seçenek olarak görülmektedir. Tasarlanan sistem modeli de bu serbestliği mümkün kılmak adına, Cihaz verilerine ve bu verilerden oluşturulan enformasyona sahip olan dijital ikizlerin, Cihaz sahiplerinin mutlak kontrolünde, liberalleşmesini sağlamalıdır. Bir başka deyişle, Cihaz sahiplerinin mutlak mülkiyetleri dahilindeki sistemlerden dışarıya çıkan her bir dijital bilgi kısıntısı için mikro-ödemeler alabilmelerini sağlamak ve Cihazlarına serbest bir piyasada yeni uygulamalar satın alabilecekleri bir ekosistem oluşturmak, referans modelin gereksinimleri olarak belirlenmiştir.

3.2 Referans Model

Bu tez çalışmasının amaçları doğrultusunda Bölüm 1.3.1'de özetlenen ve Bölüm 2'de detaylıca incelenen teknolojilerin belirlenen gereksinimler çerçevesinde harmanlanması sonucu önerilen referans model, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te farklı detay seviyelerinde görselleştirilmiştir. Devam eden alt başlıklarda, bu model üzerinde yer alan katmanların görevi, katmanların birbirleri ile ve kendi içlerinde olan ilişkiler ve katmanlara yerleştirilen ilgili teknolojilerin entegrasyon detayları incelenmektedir.

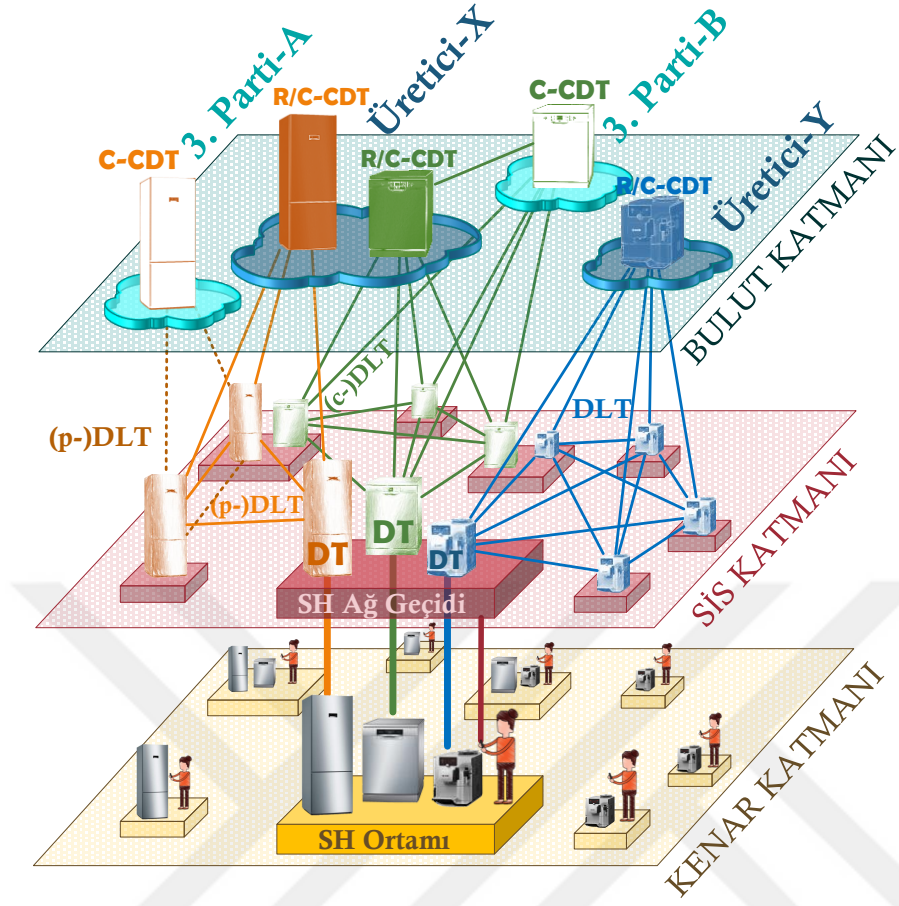


Şekil 3.2 : Önerilen sistem modeline genel bir bakış.

3.2.1 Kenar katmanı

Önerilen modelde Kenar katmanı temel olarak aşağıdaki öğelerden oluşmaktadır:

- Akıllı Ev ağ geçidi ile haberleşmek ve Cihazları kontrol etmek için Cihaz sahibi tarafından kullanılan mobil cihazlar, kişisel bilgisayarlar ve bu cihazlara yüklü olan mobil uygulamalar,
- Bölüm 2.1.1.1’de bahsedilen ev tipi cihazları grubundan çeşitli kategori, marka ve modelde Cihazlar,
- Mikro-ödeme almak ve yapmak için kullanılan kripto-para cüzdanları.



- DLT** : Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (*Herhangi bir tip*)
(p-)DLT : Özel veya Genel DLT
(c-)DLT : Konsorsiyum veya Genel DLT
SH : Akıllı Ev
DT : Dijital İkiz
C-CDT : Bulut - Bileşik Dijital İkiz
R/C-CDT : Referans veya Bulut-Bileşik Dijital İkiz

Şekil 3.3 : Önerilen sistem modelinin daha detaylı gösterimi.

Bu katmanda yer alan Cihazlar, Bölüm 2.1.2’de bahsedildiği üzere DLT’lere daimî olarak katılmak (MB ve daha fazla derecede RAM gerektirebilecek) ve ileri seviye bilişsel algoritmaları koşturmak (GB derecesinde RAM gerektirebilecek) için hafıza boyutu ve işlemci gücü bakımından yetersiz olarak varsayılmaktadır. Günümüzde bağlantıya sahip olan ev tipi cihazların işlemcileri dahi KB mertebesinde RAM’e sahip olup, maliyet, enerji tüketimi, boyut vb. nedenlerden ötürü bu cihazlara temel işlevlerini ve Akıllı Ev ortamıyla bağlantılarını karşılamak için gerekenden daha kapasiteli işlemcilerin konulması gereksinim olarak görülmemektedir. Bu durum, Bölüm 2.1.2’de detaylandırıldığı üzere, Akıllı Ev’in ağına erişim imkânı, Akıllı Ev’e

fiziksel erişim imkânı, Cihazların oluşturduğu heterojen yapı gibi nedenlerin yanında Akıllı Ev’i siber saldırılara karşı savunmasız bırakan önemli zorluklardan biridir. Dolayısı ile Akıllı Ev ortamında bulunan Cihazların, daha güçlü güvenlik algoritmalarını çalıştırabilen kaynaklara ve İnternet ortamının tehlikelerine karşı kendini daha hızlı güncelleyebilme ve değişikliklere daha çevik bir şekilde uyum sağlama yeteneğine sahip güvenlik duvarı görevi görebilecek bir ağ geçidi üzerinden dışarıdaki ağlara katılması, herhangi bir güvenlik açığından dolayı Cihazların emniyetini veya işlevini tehlikeye atacak durumların hem sayı hem de etki olarak asgariye indirilmesi adına etkili bir yöntemdir (Lin, 2016).

Bunların ışığında, önerilen modelde bu katmanda yer alan Cihazlar, özellikle hafıza ve işlem gücü gerektiren DLT bağlantısı ve bilişsel algoritmaların dağıtık olarak koşturulması gibi işlemler için Sis katmanında yer alan dijital ikizlerine ve bu ikizlerin barındırıldığı ağ geçitlerine güvenmektedir. Son olarak, bu Cihazların, özellikle dijital ikizleri tarafından bilişsel bilgelik ile üretilen ve kendilerine iletilen kararları uygulamak ve gerekli güncellemeleri yapabilmek için yeterli hafıza ve işlemci gücü stoku öngörüsü ile üretildikleri varsayılmaktadır.

3.2.2 Sis katmanı

Dijital ikizlerin barındırıldığı ve detaylı olarak modellendiği bu katman, bu özelliği ile sistemin işleyişinin sağlanabilmesi ve temel gereksinimlerin karşılanabilmesi için en kritik katmandır. Bölüm 2.4’te detaylıca anlatıldığı üzere, Sis Bilişim hem IoT’de karşılaşılan zorlukları direkt olarak çözüme hem de bu zorlukların çözümüne potansiyel oluşturan DT ve DLT gibi teknolojilerin uygulanabilirliğini kolaylaştırma özelliği ile referans modelin en kompleks katmanını oluşturmaktadır.

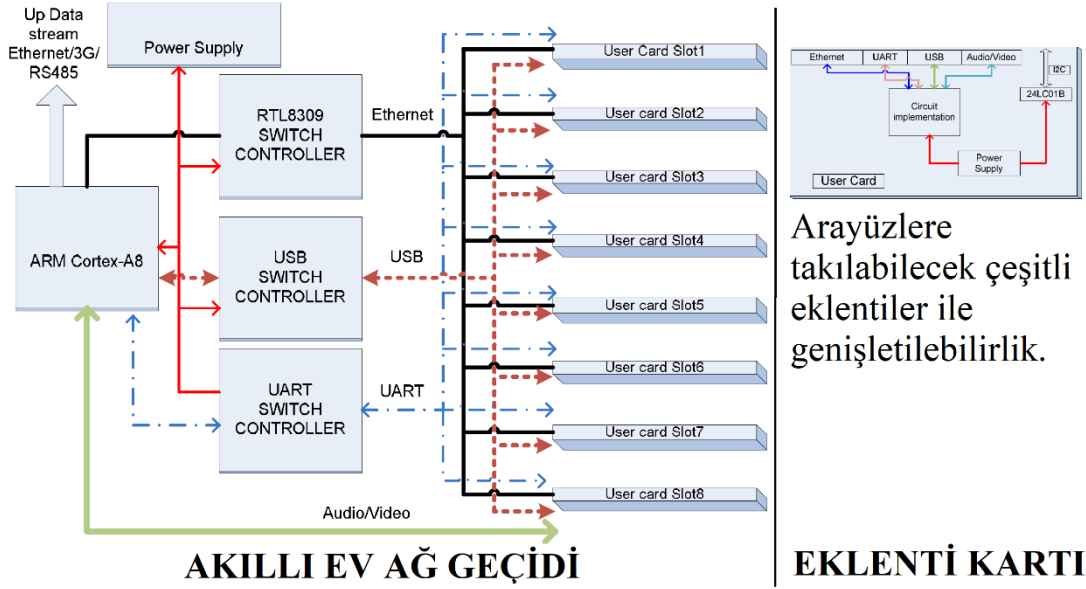
3.2.2.1 Akıllı ev ağ geçidi

Akıllı Ev ortamında bulunan Cihazların dijital ikizlerinin bu ortamda aktive edilebilmesi, yönetilebilmesi, istenirse depolanabilmesi ve istenilen performansla çalışabilmesi için Sis katmanında aşağıdaki özelliklere sahip bir Akıllı Ev ağ geçidi planlanmıştır:

- Belirli bir adet (Şekil 2.3’e göre bu sayının 2025 yılında hane başına 10 ila 30 arasında olması beklenmektedir) dijital ikizi barındırabilecek veya destekleyebilecek kadar hafıza ve işlemci gücüne sahip olmak veya Şekil 3.4’te

gösterildiği gibi bunları destekleyebilecek şekilde genişletilebilir/güncellenebilir olmak (örneğin, standart arayüzler aracılığıyla hafıza ve işlemci gücünün çoğaltılabilmesi).

- Sis Bilişim'in Çizelge 2.3'te yer alan konum farkındalığı özelliğini kullanarak ilgili Akıllı Ev'in ihtiyaçlarına özel donanım seçenekleri sunmak (örneğin, güvenlik kameralarının sayısı çok olan evler için daha fazla grafik işlemci gücü barındırmak).
- Dijital ikizleri destekleyebilecek kaynakların yanında, DLT'ler ile bağlantıları destekleyecek hafıza ve işlemci gücüne de sahip olmak veya kaynakları uygun şekilde dağıtabilmek (örneğin, tam kapasiteli bir Ethereum düğümü sürdürülebilmek için en az 3GB RAM gerektiği referans alınır, GB'lar mertebesinde RAM içerebilmek).
- Çeşitli DLT'ler ile çalışabilir olmak ve Akıllı Ev sahibinin bu DLT'ler için kullandığı kripto-para cüzdanlarını ve dijital kimliğini/sertifikalarını güvenli olarak eşlemeye imkân vermek (örneğin, donanım seviyesinde sertifika/şifre depolama için güvenli hafızalara, şifre doğrulama entegrelerine ve kriptografik hesaplama ünitelerine sahip olmak).
- SIM, eSIM, güvenli USB bellek vb. teknolojiler ile güvenli olarak tanımlanan dijital ikizlerin eklenebilmesi için uyumlu Şekil 3.4'te örneklendiği gibi arayüzlere sahip olmak.
- Akıllı Ev ağlarında yaygın olarak kullanılan Wi-Fi, Bluetooth, Thread, ZigBee, Z-Wave, KNX, Powerline v.b. haberleşme protokollerini (Ramirez, 2020) desteklemek veya benzeri teknolojileri desteklemek üzere Şekil 3.4'te gösterildiği şekilde genişletilebilir/güncellenebilir olmak (örneğin, özel bir haberleşme protokolü için USB Adaptör takılması veya Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) teknolojilerinin kullanılması) ve böylece, Şekil 2.4'te açıklandığı şekilde teknik beraber-çalışabilirliği sağlamak.
- Akıllı Ev sahibinin kendisi üzerinde tam yetki ve mutlak kontrolüne güvenli bir şekilde imkân vermek (örneğin, yetki kullanımlarında, akıllı sözleşmeler imzalanırken veya ödeme yapılırken iki aşamalı kimlik doğrulama alt yapılarının kullanılması).



Şekil 3.4 : Akıllı ev ağ geçidi donanımının genişletilebilir bir şekilde nasıl tasarlanabileceğine dair örnek bir yaklaşım (Guoqiang, 2013).

- Çizelge 2.2’te yer alan DLT’lerin birlikte-çalışabilirliği çözümlerini veya benzerlerini destekleyerek, kripto-para takası, zincirler arası çapraz transfer gibi işlemleri mümkün kılmak.
- Dijital ikizlerin yazılım seviyesinde pürüzsüz olarak eklenmesini, entegre edilmesini ve ihtiyaç duyduğu kaynaklara ulaşmasını sağlamak adına konteynır altyapılarını desteklemek (Muralidharan, 2020).
- Sahip olunan donanım ve yazılım kaynaklarının verimli kullanımı ve paylaşılmasını sağlayacak mekanizmalara sahip olmak (Ogawa, 2019; Ramirez, 2020).
- Aynı ortamda yer alan Cihazların dijital ikizleri için hem ortak servisler oluşturabilmek (Bölüm 3.2.3.2’deki F-CDT’leri desteklemek) hem de sahip oldukları ve etkileştikleri dağıtık uygulamalarda servis verimliliği sağlamak (örneğin Akıllı Ev’e özel enerji verimliliği uygulaması sunabilmek veya dijital ikizlerin sahip olduğu enerji verimliliği dağıtık uygulamasında aynı ağ geçidi üzerindeki dijital ikizlerle olan etkileşimi konum farkındalığı ile daha verimli hale getirmek).

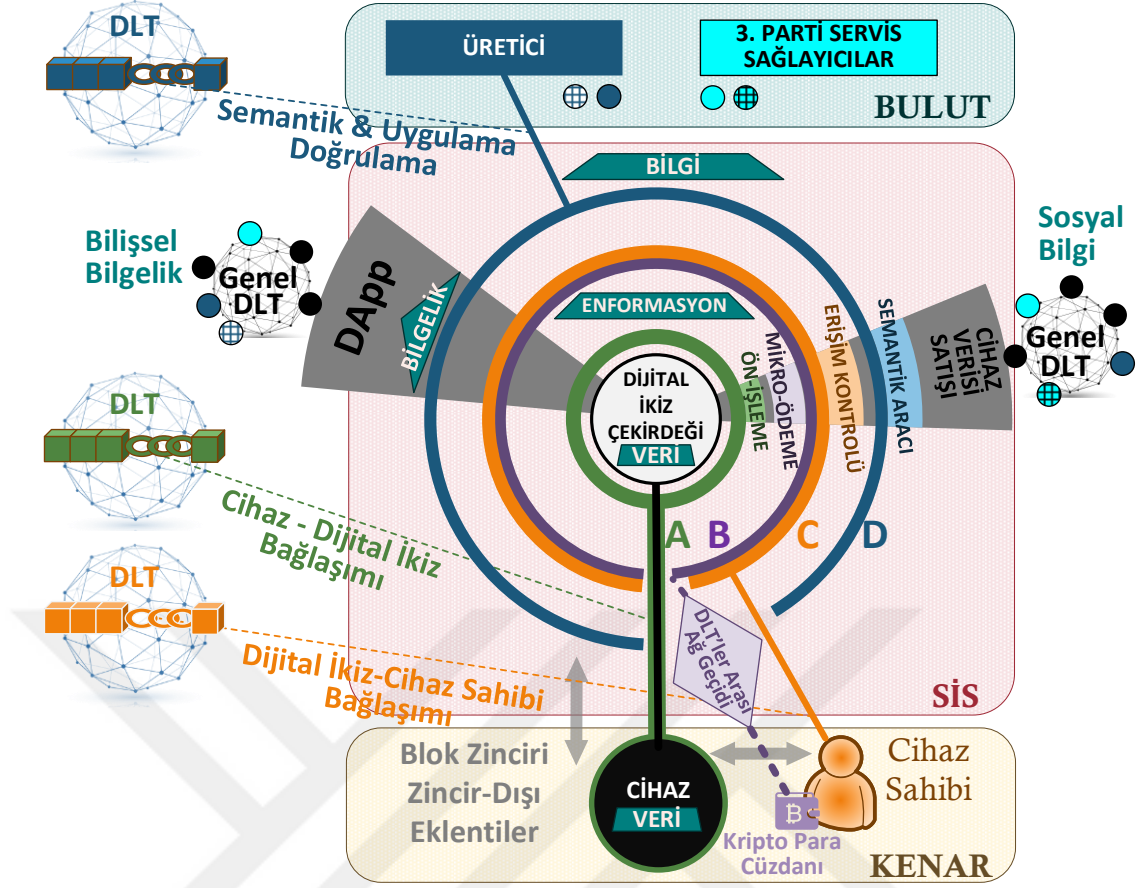
3.2.2.2 Dijital ikiz yapısı

Sis katmanı üzerinde yer alan dijital ikizin yapısı Şekil 3.5'te detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Dijital ikizin tasarımında, özellikle çekirdekte yer alan Cihaz verisi ve Cihaz ile iletişim için güvenli ve gizlilik farkında bir yapı elde edebilmek amacıyla soğan mimarisi takip edilmiştir. Bu yaklaşım ile, hem kabuklar-arası hem de dijital ikizlerden içeriye ve dışarıya sunulan arayüzlerin daha belirgin ve anlaşılır olması hedeflenmiştir. Aynı zamanda, kabukların sorumlulukları da birbirlerinden olabildiğince bağımsız ve net olarak tanımlanabilmiştir. Dolayısı ile dijital ikiz üzerindeki uygulamalarda dışarıdan çekirdeğe ve çekirdekten dışarıya akışlarda her bir kabuğun tanımlı bir görevi vardır. Kabukların bu görevleri ve diğer özellikleri devam eden alt başlıklarda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Dijital ikiz çekirdeği

Cihaz'dan dijital ikizine, yapılandırılan ve talep edilen biçimde gerçek zamanlı olarak ham veri aktarımı ve dijital ikizinden de Cihaz'a yapılandırma, güncelleme, ayar vb. kontrol çıktılarının aktarımının sağlandığı, dijital ikizin Cihaz ile iletişim kurarak ve senkronize olarak Bölüm 3.1.1'deki gereksinimlerden çift yönlülüğü gerçekleştirdiği yapıdır. Bunun yanında, Cihaz üreticisinin belirlediği Dijital İkiz Prototipleri kullanılarak bu Cihaz'a özel yaratılan Dijital İkiz Oluşumu'nun (Jones, 2020) bu çekirdekte Cihaz'ın tanımlandığı şekilde çalışan bir yansımaları oluşturması, Bölüm 3.1.1'deki bağlaşımın tanımlanması gereksinimini de gerçekleştirmektedir. Böylece hem Cihaz'la hem de çekirdeğin etrafına örülü olan uygulamalara servis sağlayan kabuklarla, Şekil 2.4'te gösterilen sözdizimsel beraber-çalışabilirlik derecesine ulaşılmaktadır.

Cihaz ve Dijital İkiz'i arasındaki iletişimi sağlamak için henüz genel-geçer bir standart olmasa da IoT'de yaygın olarak kullanılan CoAP, DDS ve MQTT protokolleri ile ev ortamı için WiFi 802.11n ve Bluetooth haberleşme teknolojileri kullanımı en muhtemel adaylar olarak kabul edilebilir (Ala-Laurinaho, 2019). Bunun yanında, dijital ikizlere özel olarak tasarlanan Eclipse Ditto platformu tarafından kullanılan JSON tabanlı iletişim protokolü, cihaz yönetimi için kullanılan LwM2M ve de dijital ikiz tanımlama dili Eclipse Vorto da bağlaşımın tanımlanması için kullanılabilir seçeneklerdir.



DLT : Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi (*Herhangi bir tip*)

DApp : Merkezi Olmayan Uygulama

● : DT (Dijital İkizler)

●● : C-CDT (Bulut-Bileşik Dijital İkizler)

●●● : RDT (Referans Dijital İkizler)

Şekil 3.5 : Dijital ikizin detaylı mimarisi.

Bu çekirdek ile Cihaz arasındaki iletişimin Bölüm 3.1.1'deki güvenlik gereksinimi çerçevesinde birebir tanımlı, karşılıklı olarak kimlik denetimli, erişim kontrollü ve şifrelenmiş olabilmesi için, üreticiler aşağıdaki yöntemlerden birini belirledikleri güvenlik stratejilerine göre tercih edebilirler:

- Cihaz ve dijital ikizinin üretim sırasında güvenli bir ortamda kendilerine özel simetrik anahtarlarla donatılması,
- Cihaz ve dijital ikizinin üretim sırasında güvenli bir ortamda asimetrik anahtarlarla donatılması (Machado, 2018),
- Cihaz ve dijital ikizinin üretim sırasında güvenli bir ortamda asimetrik anahtarlar ve sertifikalarla donatılması (Tschofenig, 2016; Novo, 2018),
- Kabuk-A ile çalışarak DLT destekli çözümler kullanılması.

Kabuk-A: Cihaz – dijital ikiz bağlaşımı

En iç tarafta, dijital ikiz çekirdeğinin hemen üzerinde, yer alan bu kabuk, Bölüm 3.1.1 ve 3.1.2’de yer alan gereksinimleri karşılamak üzere, Cihaz ile dijital ikizi arasındaki denetlenmiş ve güvenli bağlaşımı sağlayan mekanizmaları bünyesinde barındırmaktadır. Bunun yanında, Cihaz verilerinin enformasyona dönüştürülmesi için dijital ikiz çekirdeğinde başlayan anlamlandırma, yapılandırma ve ön işleme süreci, bu kabukta, oluşturulan enformasyonun gerçek bir Cihaz’a ve bu Cihaz’a bağlı dijital ikize aitliğini göstermek üzere imzalanması ile sona ermektedir.

Bu kabuk, katıldığı DLT’ler ile Cihaz ile dijital ikizinin birebir ve güvenli olarak ilintili olduğunun global kanıtını oluşturmaktan sorumludur. Bilginin maddi bir değeri olduğu ve sistemdeki algoritmalarından çıkarılacak sonuçları etkilediği uygulamalarda, enformasyonun paylaşıldığı partilerin enformasyonun kaynağını ve bu kaynağın gerçekliğini ve geçerliliğini onaylayabilmesi gereklidir. Bu amaçla, enformasyona, daha sonraki aşamalara gönderiminden önce, bu kabukta, ilgili DLT’yi kullanarak, sistemde resmî olarak kayıtlı bir dijital ikizden ve daha da önemlisi bu dijital ikiz çekirdeğinde eşleştirdiği gerçek bir Cihaz’dan üretildiği ve gönderildiği güvencesi kazandırılmaktadır. Veri/Bilgi akışının dışarıdan çekirdeğe doğru olduğu uygulamalarda ise, çekirdeğe alınan kontrol girdilerinin kaynağının doğrulanması veya şifreli gelen girdilerin ilgili şifreleme yöntemi kullanarak çözümlenmesinden de bu kabuk sorumludur.

Ayrıca Hardjono(2016) ve Zhu(2017) tarafından, Cihaz ve Cihaz sahibi arasında DLT kullanılarak kurulan ilintiye benzer bir yaklaşım sergilenerek, Cihaz ve dijital ikiz çekirdeği için yaratılan güven zinciri ile aralarındaki iletişimin Bölüm 3.1.1’de bahsedilen güvenlik gereksinimi çerçevesinde gerçekleştirilmesi de sağlanabilir.

Kabuk-B: Mikro-ödeme kontrolü

Genel olarak, orta kabuklar (Kabuk 2 ve 3), Bölüm 3.1.3 ve 3.1.4’te yer alan gereksinimleri karşılamak üzere, dijital ikizin Cihaz sahibi ile olan bağını ve bu bağ aracılığıyla Cihaz sahibinin dijital ikizde yer alan uygulamalar üzerindeki finansal, işletimsel ve yönetimsel müdahilliğini sağlamaktadır.

Ortanın iç kısmında yer alan Kabuk-B, Cihaz sahibinin, kripto-para cüzdanlarını eşlemesine veya tanımlamasına imkân sağlayarak, uygulamalar üzerindeki finansal kontrolünü mümkün kılmaktadır. Mikro-ödeme gönderimi veya edinimi içeren

uygulamalarda, Cihaz sahibi tarafından belirlenen ödeme miktarlarının, belirlenen cüzdanlara giriş ve çıkışları bu kabuktan kontrol edilmektedir. Bunun yanında bu kabuk, Cihaz sahibinin sahip olduğu kripto-para tiplerine uygun olarak, Akıllı Ev ağ geçidi tarafından sağlanan kripto-para takas hizmetinin kullanımına imkân vermektedir. Böylece Cihaz sahibi için, uygulamalara uygun kripto-para cüzdanı tanımlama kısıtlılığı ortadan kaldırılmış olur.

Dijital ikizlere mikro-ödeme alabilme ve yapabilme özelliği kazandırarak, sahip oldukları uygulamalar üzerinden ekonomik olarak özgürleştirilmeleri ve Bölüm 3.1.4'te detaylandırılan gereksinimi sağlamaları adına bu kabuk büyük önem arz etmektedir. Veri/Enformasyon akışının dışarıya doğru olduğu durumlarda Cihaz sahibinin Kabuk-C üzerinden belirlediği akıllı sözleşmeler dahilinde dağıtık uygulamanın desteklediği kripto-cüzdanın kullanımı ile transferin gerçekleşmesi veya akışın içeriye doğru olduğu durumlarda Kabuk-A'dan alınan veri kaynağı ve bütünlüğü onayı sonrası akıllı sözleşme kapsamında ödemenin yapılması bu kabuğun sorumluluğundadır.

Kabuk-C: Mülkiyet kontrolü

Cihaz sahibinin, Cihaz'ın dijital ikizi üzerinde Bölüm 3.1.3'de belirtilen mutlak mülkiyet haklarını kullanabilmesi için, hali hazırda var olan veya kurulum ve aktivasyon sırasında oluşturduğu dijital kimliği ile dijital ikizi ilintileyerek yarattığı güvenli eşleşme sonrası dijital ikiz üzerinde kullanım ve gizlilik haklarını ifa ettiği kabuktur. Akıllı sözleşmelerin şartlarının belirlenmesi, dijital ikize dolayısı ile Cihaz'a sahibinin talep ettiği servislerin (insan tarafından yönlendirilen etkileşimler kapsamında - Shamszaman, 2018) yüklenmesi, Cihaz'ın sahibinin dijital ikiz üzerinde Kabuk-D tarafından belirlenen semantik uygunluk çerçevesinde çeşitli kontrol ve ayarları yapabilmesi, herhangi bir uygulama dahilinde dijital ikizi terk edebilecek veya dijital ikize girebilecek verilerin kısıtlanması bu kabuk üzerinden Cihaz sahibine sağlanan arayüzlerle yürütülmektedir. Ayrıca çeşitli uygulamalar için Cihaz sahibi bu kabuğun kontrolünü kendi izin verdiği ölçüde otomatikleştirilmiş servislere, üçüncü partilere veya Cihaz'ın üreticisine bırakmayı tercih edebilir.

Cihaz'ın dijital ikizi ile sahibi arasındaki mülkiyet ilintisi, Cihaz'ın satın alımı sonrası konuşlandırılması ve aktivasyonu sırasında bu ilintinin ilgili DLT üzerinde kaydedilmesi ile sağlanmaktadır (Hardjono, 2016; Zhu, 2017). Böylece, Cihaz sahibi

dijital ikize, tercih ettiği ve dijital kimliğini guvenle denetleyebildiği kişisel bilgisayar veya akıllı telefon gibi cihazları ile ister Sis ortamından ister İnternet ortamından guvenli bir erişim sağlayabilir. Eğer Cihaz sahibinin, tabii ki iznine tabi bir şekilde, kimliğine dair detay gerektiren uygulamalar veya veri akışları varsa, bu kabuk gerekli kimlik detaylarının DLT üzerinden doğrulanması için de gerekli altyapıyı sağlamaktadır.

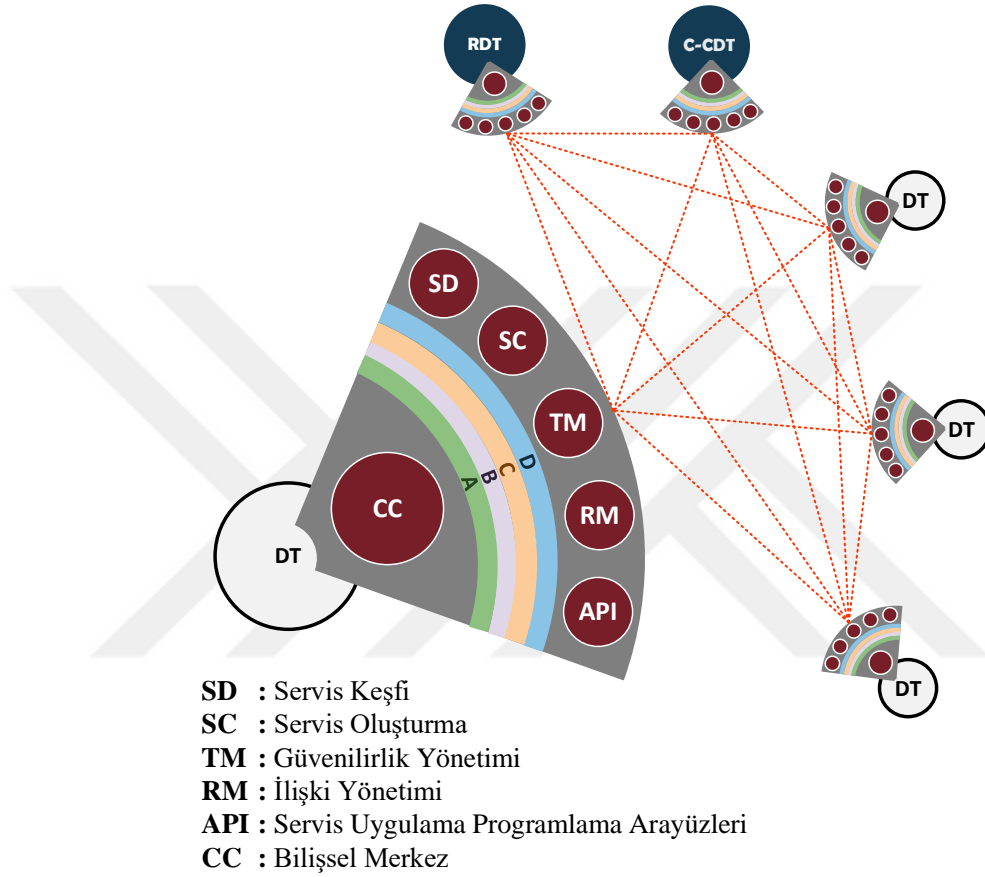
Kabuk-D: Birlikte-çalışabilirlik kontrolü

Dijital ikize yüklenecek uygulamaların ve bu uygulamalar bünyesinde paylaşılan her türlü veri, enformasyon, bilgi ve bilgelik formatlarının, dijital ikize (dolayısı ile bağlı bulunduğu Cihaz'a) uygunluğu ve bu uygunluğun onaylanabilmesi çok önemlidir. Örneğin, kötü niyetli olarak, sisteme sızdırılan asılsız bir fidye uygulamasının, kontrol edilmeden sistemdeki dijital ikizlere yüklenmesi, Cihaz'ın ve dijital ikizinin müsaitliğini, kullanılabilirliğini ve emniyetini tehlikeye atacağı gibi, sistemin guvenilirliğine de ciddi olarak zarar verecektir. Bir başka örnekte, herhangi bir uygulama kapsamında, gerçekliği ve lisansı kontrol edilmeden dijital ikize yüklenen ve Cihaz tipine uygun olmayan semantik araçlar/çeviriciler veya tanımlayıcı veriler, Cihaz'a yanlış veri gönderilmesi, sisteme yanlış enformasyon iletilmesi vb. durumlara neden olarak, Cihaz'ın ve bütün sistemin verimini, doğruluğunu ve de guvenilirliğini tehlikeye düşürebilir.

En dışarıda yer alan bu kabuğun temel görevi, dijital ikizin farklı uygulamalar, sistemler ve partilerle guvenli bir şekilde çalışabilirliğini ve entegre edilebilirliğini sağlamaktır. Dolayısı ile bu kabuk, ilgili DLT üzerinden, sistemde sunulan uygulamaların ve uygulamalara yüklenebilen semantik eklentilerin, Cihaz'ın tipine/modeline uygun olduğunu ve Cihaz üreticisi tarafından onaylanmış özel veya genel-geçer standartları takip ettiğini tasdik etmekle yükümlüdür. Ayrıca yüklenen dağıtık uygulamaların hangi DLT'lere katılıp katılamayacağı kısıtlaması da bu kabuk tarafından kontrol edilmektedir. Bu özelliği ile SİoT kapsamında bulunan ilişki yönetimi, servis keşfi ve servis oluşturma bileşenlerine de yardımcı olmakta ve Şekil 2.4'te gösterilen semantik beraber-çalışabilirlik derecesine ulaşılmmasını sağlamaktadır.

Merkezi Olmayan Uygulamalar (DApps)

Merkezi olmayan uygulamaların sahip olduğu SIoT ve CIoT bileşenleri ile model üzerindeki yerleşimi ve böylece ortaya çıkardığı dağıtık yapı Şekil 3.6'da görselleştirilmiştir.



Şekil 3.6 : Merkezi olmayan uygulamaların detaylı yapısı.

SIoT'nin temel bileşenleri için önceki alt başlıklarda açıklandığı şekilde kabukları kullanan bu uygulamalar için servis keşfi, servis oluşturma, ilişki yönetimi ve güvenilirlik yönetimi yapabilmek üzere ilgili bileşenler tanımlanmıştır. Dolayısı ile her bir uygulama ihtiyaç duyduğu kadarıyla bu bileşenleri ister kendi algoritmaları dahilinde tanımlamayı isterse de bu bileşenleri servis olarak sunan başka uygulamalarla ortak kullanmayı tercih edebilir. Ayrıca bu uygulamaların bilişsel algoritmalarını yönettiği, hem etkileşimde bulunduğu diğer dijital ikizlerle ortaklaşarak hem üzerinde bulunduğu sis sisteminde bulunan diğer sistemlerle beraber

çalışarak hem de eşleştiği Cihaz ile çekirdek yardımı ile iletişim kurarak, öğrenme, düşünme ve karar üretme faaliyetlerini sürdürdüğü bir bilişsel merkezi bulunmaktadır.

3.2.3 Bulut katmanı

Bulut katmanı, Cihaz üreticilerinin ve üçüncü parti servis sağlayıcılarının sisteme katıldığı ve dijital ikizlere hizmetlerini sunduğu katmandır. Önerilen sistemde, Bulut katmanının temel sorumlulukları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Simülasyon sonuçları, teorik veriler ve ideal ortamda test edilen Cihazlardan sağlanan çıktılarla Referans Dijital İkiz'i (RDT) oluşturmak ve RDT'yi ilgili DLT'ler, merkezi olmayan uygulamalar ve dolayısı ile diğer dijital ikizlerin hizmetine sunmak,
- DLT'ler aracılığıyla sistemdeki dijital ikizlerden elde edilen bilgiyi Bileşik Dijital İkizler (CDT) formunda toplamak ve CDT'yi ilgili DLT'ler üzerinden merkezi olmayan uygulamaların ve dolayısı ile diğer dijital ikizlerin hizmetine sunmak,
- Birlikte çalışabilirliğin önemli unsurlarından biri olan semantik çeviricilerin (özellikle üretici Bulut'u tarafından) oluşturulmasını, ilgili DLT'ler üzerinden dağıtılmasını ve böylece Kabuk-D tarafından kullanılmasını sağlamak,
- Verileri bilgelik seviyesine taşıyan dağıtık bilişsel algoritmaları oluşturmak, dijital ikizlere dağıtmak ve gerektiğinde bu algoritmaların işlevselliğini ve performansını değerlendirmek,
- Kendilerine bağlı özel DLT'leri devam ettirmek ve bu DLT'lerin erişim izinlerini yönetmek,
- Bunların yanında, seçenek olarak, merkezî-geleneksel Bulutların yaptığı gibi, yeterli depolama ve işlem gücü kaynaklarına sahip olarak, dijital ikizlerin güvenli olarak saklanması, yönetilmesi, hesaplama taşeronluğu gibi çeşitli hizmetleri arz edebilmek.

Analojik olarak, geleneksel sistemlerde Bulut katmanı, bir kavşaktaki bütün trafiği yöneten trafik polisi olarak düşünülürse, önerilen sistemde Bulut katmanı, kavşaktaki trafiği birbirleri ile haberleşerek yönetebilen trafik lambaları, kamera ve benzeri bileşenler için algoritma sağlayıcısı olarak düşünülebilir. Bir başka deyişle, Bulut

katmanı bu sistemde uygulama yöneticisi veya işleticisi değil, kaynak-zengini DLT düğümü olarak uygulama sağlayıcısı, dağıtıcısı ve aynı zamanda katılımcısıdır.

Önerilen sistem en ilkel haliyle ele alındığında, uygulamalarda verinin bilişsel bilgeliğe dönüştürülmesinin nasıl olacağını belirlemede dolayısıyla algoritmaların geliştirilmesinde hâlâ Bulut katmanına kayda değer bir pay düşmektedir. Fakat daha gelişmiş bir yaklaşımla, örneğin sistemde yer alan dijital ikizlerin makine öğrenmesi yeteneğiyle donatılması durumunda, algoritma geliştirmekte Bulut katmanına bağlılığın indirgenmesi de mümkün görünmektedir. Önerilen model üzerinde bu tarzda ileri uygulamaların incelenmesi, bu çalışmanın devamı niteliğindeki araştırma yönelimi alternatiflerinin arasında en merak uyandıranlardan birisi olarak değerlendirilebilir.

3.2.3.1 Referans Dijital İkiz (RDT)

Referans Dijital İkiz (RDT), Cihaz üreticisinin Bulut’unda belirli bir Cihaz Modeli için, herhangi spesifik bir Cihaz’dan bağımsız olarak, çeşitli koşullar altında Cihaz’ın normalde beklenen davranışı simüle edilerek oluşturulan ideal dijital ikiz olarak tanımlanmaktadır.

RDT’nin oluşturulmasında, Cihaz’ın bileşenlerinin veri sayfaları, ilgili bileşenlerin test sonuçları ile teknik özellikleri ve benzer şekilde, Cihaz’ın üretimi ve kalite testleri (örneğin kullanım ömrü testi) boyunca elde edilen sonuçlar kullanılabilir. Bunun yanında üretici, bir veya daha fazla gerçek Cihaz’ı, paralel olarak, çeşitli kullanım senaryoları ile, planlanmış ölçülebilir koşullar altında, çalıştırarak buradan elde edilen verilerle de RDT’yi besleyebilir.

RDT, merkezi olmayan uygulamalardaki ilgili algoritmalara gerektiğinde ideal parametreleri sağlayarak bu algoritmaların beklenen davranıştan sapma hesaplamalarını yapmalarına olanak tanımak üzere planlanmıştır. Örneğin, gerçek Cihazların yanlış kullanım, kurulum, üretim vb. durumlarını saptamaya yarayan bir algoritma için Cihaz’ın ideal davranışı değerli bir girdi olacaktır.

3.2.3.2 Bileşik Dijital İkiz (CDT)

Bileşik Dijital İkiz (CDT), Dijital İkiz Kümesi (Jones, 2020) ve Bileşik Sanal Nesne (Kelaidonis, 2012; Shamszaman, 2018) kavramları baz alınarak CİoT için gerekli bilişsel hafızayı sağlamak üzere oluşturulmuş, farklı uygulamalar için talep edilen

şekilde ve özelleştirilmiş olarak büyük veri analizi ve bilgi keşfi yapma, algı-eylem döngüsü, semantik ve akıllı karar alma metotları türetme yeteneklerine sahip, Bulut'a ve Sis'e konuşlandırılan ve konuşlandırıldığı yere göre de görevleri değişen dijital ikizdir.

- **Sis CDT (F-CDT):** Dijital İkiz Kümesi ve Bileşik Sanal Nesne ile benzer mantıkla Akıllı Ev ortamındaki dijital ikizlerin aynı konumu ve çoğunlukla da aynı sahibi paylaşımlarından ötürü birbirleri ile kurdukları C-LOR ilişkileri kapsamında servis oluşturmak ve keşfetmek için kullanılan CDT'lerdir. Aynı Akıllı Ev ağ geçidinde farklı gereksinimler ve amaçları gerçeklemek üzere birden fazla F-CDT, talep edilen servise göre farklı şekilde kümelenmiş dijital ikizlerle birlikte çalışabilir. Bunun yanında F-CDT sahip olduğu amaca yönelik başka F-CDT'ler ve C-CDT'lerle de C-WOR ilişkileri kurabilir. Örneğin Cihazların Akıllı Ev'in enerji tüketimini birlikte eniyilemesine özel çalışan bir F-CDT ortamdaki Cihazların dijital ikizleri ile algı-eylem etkileşimini kurarken başka F-CDT veya C-CDT'lerle sahip olduğu eniyileme algoritmalarının geliştirilmesine dair bir arada çalışabilir. F-CDT'ler için de çekirdeğinin başka bir Cihaz yerine dijital ikizlerle eşleştirilmesi dışında Şekil 3.5'teki aynı mimari geçerlidir.
- **Bulut CDT (C-CDT):** Dijital İkiz Kümesi ve Bileşik Sanal Nesne'den farklı olarak, daha çok karar almak üzere gerekli analizleri yapmaktansa oluşturuldukları amaç doğrultusunda karar alma yöntemini geliştirmeye yönelik analiz yapan dijital ikizlerdir. Genellikle, Cihaz üreticileri ve üçüncü parti servis sağlayıcılar tarafından, hem katıldıkları DLT'lerdeki dijital ikizlerden izin verilen ölçüde veri toplamak hem de bazı merkezi olmayan uygulamaların algoritmalarına girdi sağlamak için oluşturulmaktadır. Örneğin, belirli bir model Cihaz grubunun dijital ikizlerinden elde edilen verilerin analiz edilmesiyle, bu dijital ikizlerin oluşturduğu bilişsel çıktıların biriktirilmesiyle ve bu analizlerin ve bilgi birikiminin örneğin bu Cihaz'la aynı parçayı kullanan başka bir model cihazın C-CDT'sinden gelen ilgili bilgilerle harmanlanmasıyla, ilgili Cihaz'ın çalışma verimliliğini iyileştirecek parametreler sisteme geri beslenebilir.

3.2.4 Dağıtık hesap defteri teknolojileri

DLT'ler, önerilen modele olabildiğince esnek olarak farklı görevleri yerine getirmek üzere entegre edilmiştir. Her bir üretici ve üçüncü parti servis sağlayıcı belirlediği stratejiler doğrultusunda genel DLT'lere katılmak, özel DLT'ler oluşturmak ve idame ettirmek, başka işletmelerle ortaklık kurarak kendi oluşturdukları veya belirli organizasyonların belirlediği standartlar çerçevesinde oluşturulmuş olan konsorsiyum DLT'lere katılarak bu modelin oluşturduğu ekosistemin bir parçası olmayı seçebilirler.

Örneğin, Kabuk-A için Cihaz ile dijital ikizi arasındaki ve de Kabuk-C için mülkiyet kontrolü kapsamında Cihaz sahibi ve dijital ikizi arasındaki güvenli bağlaşımların tanımlanması ve doğrulanması için Çizelge 2.2'de yer alan kimlik veya resmî kayıtların dağıtık olarak paylaşımı ve doğrulanması çözümlerinin kullanımı planlanmıştır. Yine erişim kontrolü için Ouaddah(2016) tarafından önerilen FairAccess ve Xu(2018) tarafından önerilen BlendCAC de alternatif çözümler olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında üreticiler, özel DLT'ler ile Cihaz ile dijital ikizi arasındaki ilintileri üretim sırasında kaydettikleri dağıtık bir hesap defterine genel olarak sadece okuma erişimi verdikleri bir çözümü de tercih edebilirler. Kabuk-D'de gerçekleştirilen semantik uyumluluk DLT'leri için de benzer bir yaklaşım izlemek mümkündür.

Bunun yanında dağıtık uygulamalar sağladıkları servisin içeriğine göre Çizelge 2.2'deki çözümleri kullanarak hizmet sağlayabilirler.

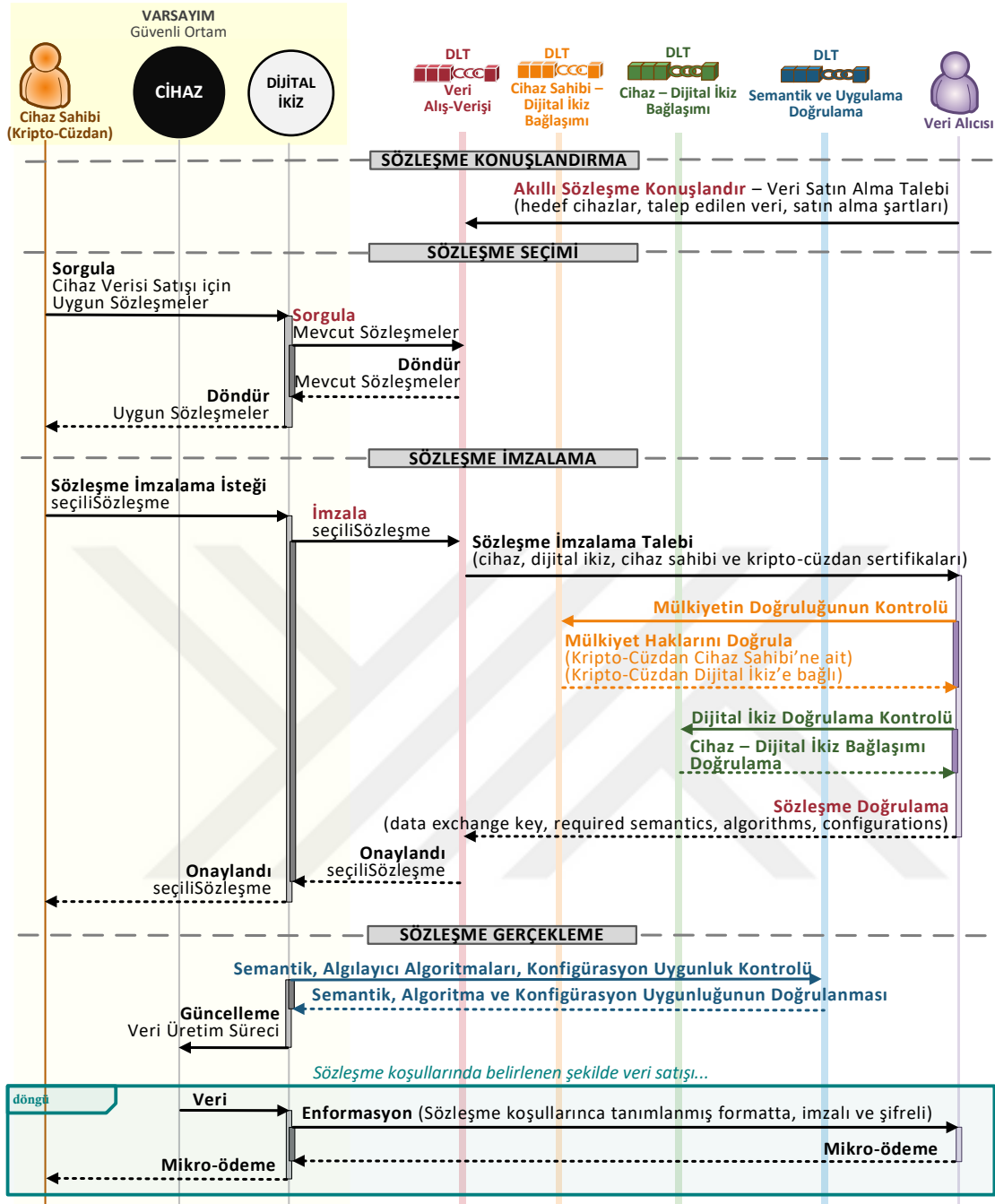
4. UYGULAMA VE KULLANIM SENARYOLARI

4.1 Cihaz Verisinin Dijital İkiz Aracılığıyla Satışa Sunulması

Bu uygulama, önerilen modeldeki bileşenlerin, Şekil 4.1’te gösterildiği şekilde etkileşimi ile Cihaz verilerinin Cihaz sahibinin kontrolünde gizlilik farkında bir şekilde serbest bir ekosistem içinde güvenli bir şekilde satışını gerçekleştirmektedir. Bu uygulamanın kurulum ve çalışması sırasında dahil olan kabukların görevleri Çizelge 4.1’de açıklanmaktadır. Bu uygulama Bölüm 1.2.1.3’te bahsedildiği üzere, sağladığı teşvikle tüketicileri Akıllı Cihaz kullanmaya özendirilebilecek en kilit uygulamalardan biridir (Hardjono, 2016).

Çizelge 4.1 :Cihaz verisi satışı uygulamasının kurulumu ve çalışması sırasında kabukların ifa ettiği görevler.

Kabuk	Görevi
Çekirdek	<ul style="list-style-type: none">✓ Cihaz’ın talep edilen şekilde veriyi okuması için ilgili ayarların Cihaz’a aktarılması.✓ Cihaz’dan elde edilen ilgili verilerin hazırlanması ve gerekli ön işlemlerden (filtreleme, analiz vb.) geçirilmesi.
A	<ul style="list-style-type: none">✓ Şifreleme gerektiren durumlarda verinin sözleşme dahilinde belirlenen şekilde şifrelenmesi.✓ Verinin dijital ikiz tarafından imzalanması.
B	<ul style="list-style-type: none">✓ Alıcının yapacağı ödeme tipine göre Cihaz sahibinin ilgili kripto-cüzdanını eşleştirmesi veya DLT çeviricileri kullanacak şekilde yapılandırması.✓ Verilerin akıllı sözleşmeler çerçevesinde belirlenen değerine göre birim veri çıkışı için eşleştirilen kripto-para cüzdanına mikro-ödeme gönderilmesi.
C	<ul style="list-style-type: none">✓ Cihaz sahibinin veri miktarını, sıklığını ve kapsamını belirlemesi ya da beklentilerine uygun akıllı sözleşmeleri seçmesi.✓ Cihaz sahibinin veri satışını aktive etmesi, durdurması veya iptal etmesi.
D	<ul style="list-style-type: none">✓ Verinin alıcının belirlediği formatta sunulması için gönderilecek veriye uygun olan semantik tanımlayıcının veya adresinin güvenli olarak veriye iliştilmesi.



Şekil 4.1 : Cihaz verisinin dijital ikizi üzerinden satışına imkân veren örnek bir uygulamanın çalışmasını gösteren sıralama diyagramı.

4.2 Dijital İkizlere Çeşitli Uygulamaların ve Hizmetlerin Satın Alınması

4.2.1 Öngörücü Bakım (PdM) uygulaması

PdM uygulamasının dağıtık olarak konuşlandırılmasının en öncelikli koşulu, Cihaz üreticisinin, Cihaz'a dair (en azından PdM yeteneklerine dair) semantik modelleri oluşturmuş ve paylaşmış olmasıdır. Böylece hem üretici hem de üçüncü parti servis sağlayıcılar, Cihaz için PdM uygulamaları ve bu uygulamalar kapsamında çeşitli servisler sunan akıllı sözleşmeler arz edebilirler.

Cihaz'ı için PdM uygulaması çalıştırmak isteyen Cihaz sahipleri ise dijital ikiz üzerinden bu Cihaz'a uyumlu, performans, gizlilik ve maddi olarak beklentilerini karşılayan akıllı sözleşmeler arasından seçim yapabilirler. Seçtikleri sözleşmenin onaylanması, Cihaz'ın kimlik denetiminin yapılması ve varsa ödemenin gerçekleştirilmesi takibinde ilgili PdM DLT'sine erişim sağlanır ve seçilen PdM uygulaması dijital ikiz üzerine indirilir ve kurulur. PdM uygulaması temel olarak PdM algoritmaları, Cihaz sahibinin tercihleri doğrultusunda yapılandırılmış Cihaz'a özel ayarlar ve güncellemeler ve de ihtiyaç duyulan semantik paketleri içermektedir. Dijital ikiz çekirdeği bu uygulama dahilinde yapılandırıldığı ve ayarlandığı şekilde ilgili güncellemelerin (örneğin sensörlerin veri okuma sıklığının değiştirilmesi gibi) Cihaz'a iletilmesiyle uygulama çalışmaya hazır hale gelir.

Bu uygulamanın, önerilen model üzerinde yerleşimi Şekil 4.2'de, çalışırken bileşenler arasında kuracağı etkileşimler de Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Kurulumu ve çalışması sırasında dahil olan kabukların görevleri ise Çizelge 4.2'de açıklanmaktadır.

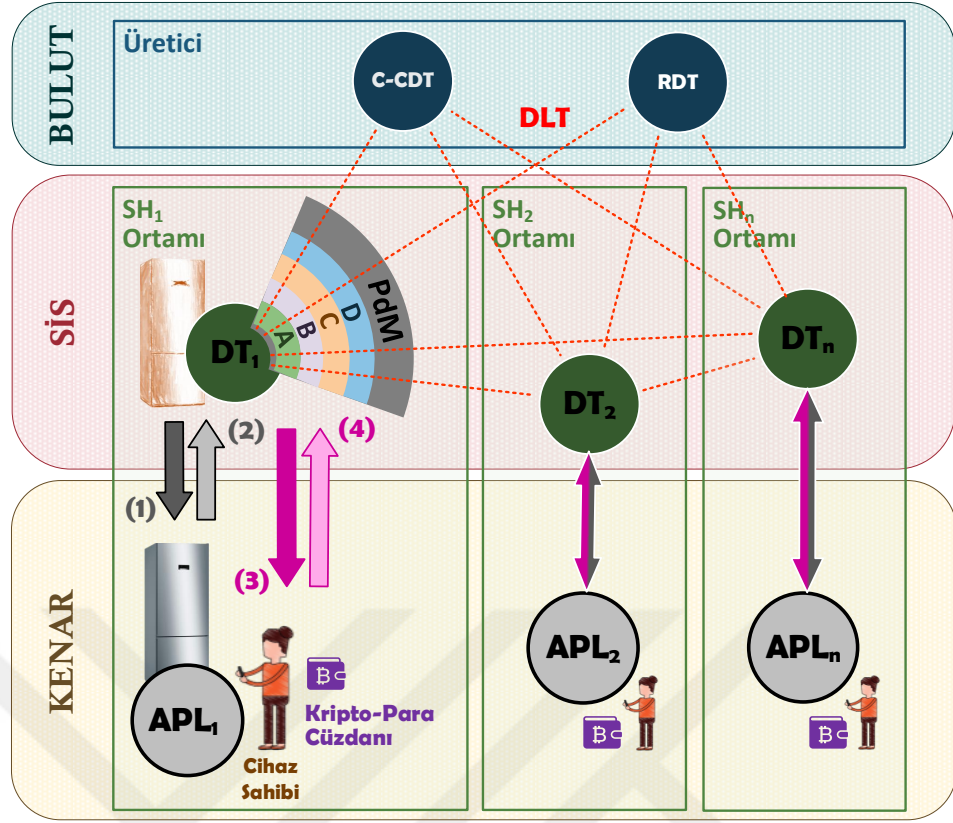
PdM uygulaması, çalışma prensibi gereğince üzerinde koştugu dijital ikizden aldığı verileri, DLT'ler aracılığı ile bu uygulamanın katılımcısı olan diğer dijital ikizler, RDT'ler ve C-CDT'lerden aldığı bilgilerle harmanlamaktadır. Bunun yanında belirlenen bilişsel algoritmalar gereğince Cihaz'dan aldığı verileri talep edilen formda bu uygulamanın diğer katılımcılarına sunmaktadır. Cihaz sahibi dışarıya çıkan bu bilginin kontrolünde mutlak otoriteye sahiptir. Örneğin uygulama için daha fazla ödeme yaparken veya veri göndererek elde edeceği kazanımlardan vazgeçerek veri göndermeyi reddedebilir. Herhangi bir anomali gözlemlendiğinde ve hata beklentisi tespit edildiğinde bu durum Cihaz sahibine bildirilir ve Cihaz sahibinin aşağıdaki tercihlerden birini yapması beklenir:

- Önleyici bir tamirat yapmak üzere sorunun ilgili üreticinin satış sonrası destek birimine iletilmesi,
- Hatanın geciktirilmesi amacıyla Cihaz'ın işlemesi ve performansına dair zorunlu veya tavsiye edilen optimizasyonların veya değişikliklerin yapılması,
- PdM uygulamasının belirlediği örneğin Cihaz'ın belirli bir süre devre dışı kalmasına neden olabilecek veya ek ödeme gerektiren daha ileri seviye teşhis ve simülasyon algoritmalarının koşturulması.

Üretici veya servis sağlayıcılar tarafında ise, RDT'ler Bölüm 3.2.3.1'de belirtildiği şekilde ideal Cihaz davranışını, C-CDT'ler de topladıkları anomalileri, hata durumlarını, başarılı ve başarısız olan tercihleri, özel durumlar için tercih edilebilecek ileri teşhis faaliyetlerini, kronik sorunları dolayısı ile bu konudaki kümülatif bilgiyi bağlamsal ve sentezlenmiş olarak sağlamaktadır.

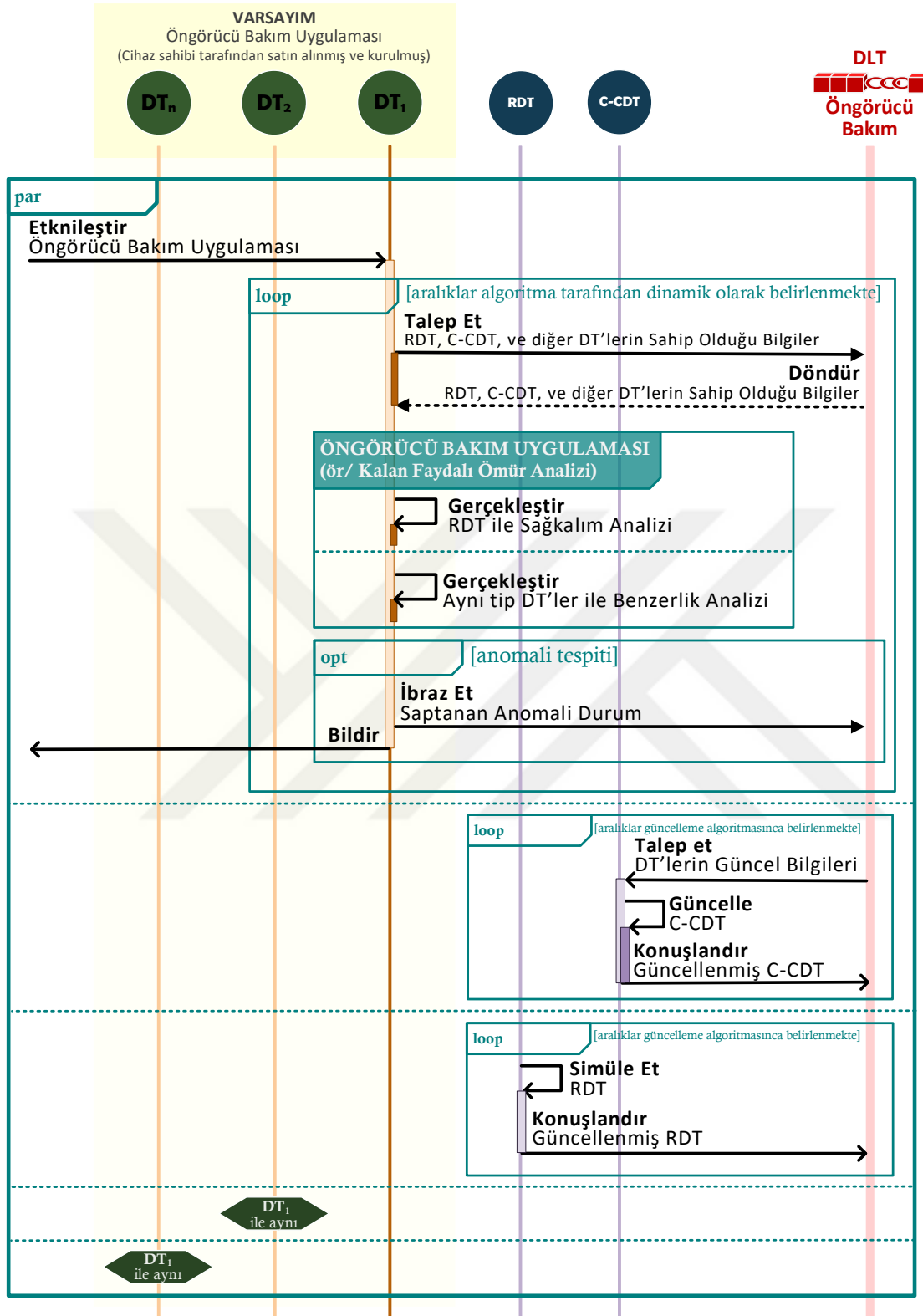
Çizelge 4.2 : PdM uygulamasının kurulumu ve çalışması sırasında kabukların ifa ettiği görevler.

Kabuk	Görevi
Çekirdek	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cihaz'ın talep edilen şekilde veriyi okuması için ilgili ayarların Cihaz'a aktarılması. ✓ Cihaz'dan elde edilen ilgili verilerin hazırlanması ve gerekli ön işlemlerden (filtreleme, analiz vb.) geçirilmesi. ✓ PdM algoritmalarının çıktıları doğrultusunda Cihaz'ın performansında ve çalışma rutinlerinde gerekli düzeltmelerin Cihaz'a aktarılması.
A	✓ Dijital ikize bağlı özebir tanımlı bir Cihaz olduğunun doğrulanması.
B	✓ PdM uygulamasının satın alınması için gerekli mikro-ödemelerin yapılması.
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cihaz sahibinin uygulama kapsamında çıkış yapacak veri miktarını, sıklığını ve kapsamını belirlemesi. ✓ PdM uygulamasını aktive etmesi, durdurması veya iptal etmesi. ✓ PdM kapsamında ortaya çıkan anomalilerin bildirilmesi. ✓ Hata oluşması ihtimali tespit edildiğinde, önleyici faaliyetlerin sunulması ve Cihaz sahibinin seçimine göre bu önlemlerin eyleme dönüştürülmesi.
D	✓ PdM uygulaması kapsamında gelen ve giden verilerin uygunluğunun tespit edilmesi ve gerekli semantik araçlarla tanımlayıcı verilerin kullanılması.



- APL** : Cihaz
DT : Dijital İkiz
SH : Akıllı Ev
PdM : Öngörücü Bakım
C-CDT : Bulut - Bileşik Dijital İkiz
RDT : Referans Dijital İkiz
DLT : Dağıtık Hesap Defteri Teknolojisi
- A**: Cihaz Kimliği Eşleme ve Veri Önleme
B: Cüzdan Eşleme ve Mikro-Ödemeler
C: Cihaz Sahibi Eşleme ve Erişim Kontrolü
D: Birlikte-Çalışabilirlik ve Semantik Aracı
(1) Kontrol ve Bilgelik Akışı
(2) Ham Veri Akışı
(3) Bildirimler ve Gelen Mikro-Ödemeler
(4) Ayarlar ve Giden Mikro-Ödemeler

Şekil 4.2 : Öngörücü bakım uygulamasının model üzerindeki yerleşimi.



Şekil 4.3 : Öngörücü bakım uygulamasının sistem üzerinde nasıl çalışacağını gösteren sıralama diyagramı.

4.2.2 Kullanım eniyilemesi hizmeti

Alternatif uygulama örneği olarak, PdM uygulamasına benzer şekilde Cihaz'ın kullanımına dair ipuçları vererek veya kullanımın ortaya çıkardığı performans düşüşlerini tespit ederek, Cihaz sahibine bildiren ve böylece Cihaz'ın kullanım ömrünü uzatan uygulamalar da planlanabilir.

4.3 Hizmet-Olarak-Cihaz (Home-Appliance-as-a-Service)

Önerilen model, Hizmet-olarak-Cihaz uygulamalarını da mümkün kılmaktadır. Bu hizmeti sunmak isteyen üretici veya araçlar, öncelikle Cihaz'ı ve dijital ikizini kendi mülkiyetlerine alarak, dijital ikiz üzerine Hizmet-olarak-Cihaz uygulamasını kendi dijital mülkiyetleri olarak yüklemelidir. Bu uygulama Cihaz'ı, dijital ikizinden onay sinyali almadığı sürece devre dışı bırakacak şekilde yapılandıracaktır. Tabii ki Cihaz'ın donanımının bu devre dışı bırakma özelliğini kurcalamaya dayanıklı bir şekilde gerçekleştirebilecek şekilde tasarlandığı ve üretildiği varsayılmaktadır. Hizmet satın alımı sonrası, dijital ikize bağlanan Cihaz kiracısının, Kabuk-B'de bir kripto-cüzdan tanımlanması ve de ilgili akıllı sözleşmeyi onaylaması sonrasında, bu hizmeti sağlayan üretici veya aracı ilgili DLT üzerinden mülkiyet haklarını sözleşme koşullarınca kiracıya transfer eder. Yine sözleşme uyarınca Cihaz anlaşılan süre boyunca dijital ikizinden aldığı sinyalle aktif kalmak üzere Kabuk-A'nın oluşturduğu bağlaşım ve çekirdekle kurduğu güvenli haberleşme üzerinden bilgilendirilir.

4.3.1 Kullanım veya kalite bazlı ücretlendirme

Hizmet-olarak-Cihaz uygulamasının akıllı sözleşmesinin koşullarının, Cihaz'ı devre dışı bırakmak yerine, Cihaz'ın kullanım süresi, miktarı veya sağladığı servisin ölçülebilen kalitesine (örneğin garanti edilen kullanım ömrünü sağlama, belirtilen performanstan sapmama, teknik özelliklerde söz verilen enerji verimliliği ile çalışma gibi) göre ödeme gerçekleştirilecek şekilde programlanması bu alternatifi de mümkün kılacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, ilham aldığı

Akıllı Ev ortamındaki Cihazların, insanların sosyal medyada kurduğuna benzer şekilde katıldıkları ağlar üzerinde sosyal ilişkiler kurarak ve donatıldıkları bilişsel yeteneklerle insanların ev ortamındaki konforlarını ve yaşam kalitelerini yükseltmek üzere hayatlarına ve karar süreçlerine sezgisel ve pürüzsüz bir biçimde dahil olup gerçek anlamda katma değer katabilmesi

motivasyonu ile yola çıkmıştır. Bu amaçla, öncelikle tüketicinin Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Akıllı Ev teknolojilerine olan mesafeli tutumuna dair yapılan araştırma ile bu tutuma neden olan tereddütler özel hayatın gizliliği, insan-merkezli yaklaşımın yoksunluğu, Bilgi'nin özgürlüğünün kısıtlanması ile gerçek değerinin altında kullanılması, güvenlik endişeleri ve de IoT ve beraber çalıştığı teknolojilerin henüz gerçek potansiyeline ulaşmamış olması olarak belirlenmiştir. Sonrasında, bu tereddütlerin direkt veya dolaylı olarak altında yatan IoT zorlukları Kenar sistemlerinin kaynak fakirliği, ölçeklenebilirlik, servis kalitesi, mobilite, heterojenlik, beraber-çalışabilirlik, siber güvenlik, gizlilik, esneklik, genişletilebilirlik, uyarlanabilirlik ve yenilikçilik şeklinde ortaya konulmuş ve stratejik öneme sahip Dijital İkiz (DT), Dağıtık Hesap Defteri Teknolojileri (DLT) ve Sis Bilişim teknolojilerinin bu zorluklara getirdiği çözüm potansiyeli detaylıca incelenmiştir. İşte bu teknolojilerin bu potansiyelini kullanmak adına, Akıllı Ev ortamındaki akıllı ev tipi cihazlarının dijital ikizlerini, Sis Bilişim'in bir elemanı olan Akıllı Ev ağ geçidine yerleştiren ve bu dijital ikizlerin Dağıtık Hesap Defteri Teknolojilerine katılımıyla Sosyal ve Bilişsel Nesnelerin İnterneti uygulamalarına imkân veren özgün bir model önerilmiştir. Son olarak bu çalışmanın motivasyonuna kaynak oluşturan öngörücü bakım yanında, Cihaz verisi satışı, kullanım eniyilemesi, Hizmet-olarak-Cihaz ve kullanım/kalite bazlı ücretlendirme gibi dağıtık uygulama senaryolarının bu model üzerindeki çalışması incelenmiştir.

Önerilen model, kendisi için belirlenen çift yönlü ve güvenli Cihaz – Dijital İkiz bağlaşımı, dijital kuklaların engellenmesi, Cihaz sahibinin mutlak mülkiyet haklarını

kullanımı ve dijital ikizlerin liberalleşmesi gereksinimlerini karşılamanın yanında oluşturduğu teknoloji sentezi ile IoT'nin zorluklarını hafifletmiş ve böylece tüketicilerin tereddütlerini giderebilecek Bilgi'nin serbestliğini ve ekonomik özgürlüğünü destekleyen, açık, demokratik, katılımcı ve aynı zamanda güvenlik, gizlilikten ödün vermeyen, Cihazların sosyal ve bilişsel yetenekleri ile insanların yararına çalışmak amacıyla akıllı olduğu bir ekosistemin mümkün ve de faydalı olabileceğini göstermiştir.

5.1 Modelin ve Kullanım Senaryolarının Değerlendirmesi

Önerilen modelin katkı ve performansı şu şekilde değerlendirilebilir:

- Bu tez çalışmasının amaçladığı Bölüm 1.3.1'de özetlendiği şekilde teknoloji sentezi gerçekleştirilmiş, dijital ikizlerin sahiplerinin kontrolünde güvenli ve gizlilik farkında liberalleşmeleri sağlanmış ve de Bilgi'nin serbest dolaşımı ile hedeflenen bilişsel gelişime ulaşılmıştır.
- Önerilen model, hafıza, işlemci gücü ve enerji gereksinimi ve kullanımında ve de ortalama gecikme zamanlarında merkezî ve kenarda hesaplama yapan modellere oranla %40 ila %60 iyileşme (Muthanna, 2019) sağlamaktadır. Kenar düğümlerinin her birinin gelişmiş kaynaklara sahip olmasındansa ortak kaynaklara sahip olup, bunları bir arada ve verimli kullanması da bu iyileşmede önemli bir etkidir.
- Sis Bilişim ve DLT'nin getirdiği altyapılar ve Akıllı Ev ağ geçidinin yarattığı soyutlama katmanı ile hem Cihazların güvenliklerini ve gizliliklerini koruyarak sosyalleşmeleri hem de kurulan dağıtık yapı ve yerel işlem kapasitesi ile ölçeklenebilirliğin iyileştirilmesi mümkün olmuştur.
- Cihazların ortamlarına yakın konumlanan dijital ikizlerinin bilişsel algoritmaları ve Büyük Veri indirgeme yöntemlerini yerelde ve daha konsantre veri kümeleri ile çalıştırabilmesi sonucu hem bilişsel IoT uygulamalarının daha kolay entegre edilebilmesi sağlanmış hem de dolaşımdaki veri hacminin potansiyel olarak %70 ila %90 (Rehman, 2016) azalması ile ölçeklenebilirlik ve servis kalitesi iyileştirilmiştir.

- Cihaz-dijital ikiz etkileşiminin ağ gecikmelerinden ve müsaitliğinden etkilenmeyecek şekilde hızlı bir hale gelmesi daha tepkisel ve hatta gerçek zamanlı bilişsel algoritmaların kullanımının da önünü açmıştır.
- Çevrimdışı ve otonom işlemlerin daha akıllı hâle gelmesi sağlanmıştır.
- Özellikle ilerici ve sürekli gelişen DLT'lerin kullanımı ile uygulama çeşitliliği artırılmış, uygulama pazarı için daha demokratik bir ortam oluşturulmuş, daha yenilikçi ve genişletilebilir bir yapı mümkün kılınmıştır.
- Bulut sistemleri üzerindeki baskı hafifletilmiş dolayısıyla ile hesaplama, depolama ve ağ hizmetlerinin daha kaliteli ve düşük maliyetli arzı için fırsat yaratılmıştır.

Bunun yanında, modelle birlikte olanaklı hale gelen Cihaz verilerinin güvenlik ve gizlilik farkında satışı uygulaması özellikle tüketicilerin çeşitli tereddütlerini gidermiş görünmektedir. Bu uygulama, tüketicinin gizliliğe ve güvenliğe dair olan endişelerini giderecek şekilde kurulan altyapı ile Bölüm 1.2.1.3'te vurgulandığı üzere tüketicilerin yeterli maddi teşvik gördükleri durumda verilerini paylaşmaya duyduğu isteğini göz önünde bulundurarak oluşturduğu teşvik mekanizması ile Bilgi'nin özgür olarak paylaşıldığı bir ekosistem olmaya, IoT'yi bir adım daha yaklaştırmıştır.

Yine öngörücü bakım uygulaması da Cihazların birbirleriyle kurduğu sosyal ilişkiler üzerinden bilişsel yetilerinin gerektirdiği öğrenme, düşünme ve karar verme mekanizmaları ile Cihazların birbirleriyle nasıl etkileşim kuracağını ve insanlara nasıl bir hizmet sunabileceğini kanıtlamıştır.

Son olarak, önerilen modelin ve analiz edilen kullanım senaryolarının karşılaşması muhtemel zorluklar ise şöyle sıralanabilir:

- Üreticilerin ve ilgili kuruluşların gösterdiği ortak çaba ile örgütsel beraber-çalışabilirlik derecesine ulaşılması,
- Satın alma, kiralama veya devretme sonrasında gerçekleşen mülkiyet iddia sürecinin sahteciliklere ve dolandırmalara karşı dayanıklı olması,
- Uzlaşma ve teşvik mekanizmalarının, art niyetli şekilde dijital kukla oluşturulmasını veya Cihazların dijital kukla gibi kullanımını (örneğin bir Cihaz grubunu alınıp oynanmış veriler yaratmak üzere özel ortamlarda çalıştırılması veya bir kullanıcı grubunun belirli bir Cihaz modeli için kendi çıkarlarını gözeterek belirli bir kullanım hilesine başvurması) özendirilmeyecek şekilde

tasarlanması ve dijital kuklaların oluşması durumunda yanlış yönlendirilmiş istatistik ve verilerle başa çıkabilmesi,

- DT ve DLT teknolojilerinin hala belirli olgunluğa ulaşmamasından dolayı kullanılacak altyapıları seçmenin zorluğu,
- Cihazların sahip olduğu çok sayıda parçanın farklı Cihaz modellerinde ortak kullanılması, aynı veya farklı tedarikçilerden temin edilmiş olması gibi durumların yarattığı karmaşıklık.

5.2 Gelecekteki Çalışmalar

Bir çalışma önerdiği çözümler kadar ortaya çıkardığı problemler, tetiklediği fikirler ve ön ayak olacağı çalışmalara sağlayacağı çıkış noktaları ile de değerlidir. Bir sistemler sistemi araştırması olan ve birçok alandan faydalanarak bir model ortaya koyan bu tez çalışması da ortaya koyduğu yaklaşımdan faydalanmak üzere önerilen modeli kullanmak ve geliştirmek isteyen araştırmacılara, aşağıda listelediği çalışma konusu alternatifleri ile ilham vermeyi hedeflemiştir. Bu alternatifler, sadece bu çalışmaya dahil olan araştırmacıların hayal gücü ve donanımıyla sınırlı olarak öneri niteliği taşımakta olup, bu çalışma, okuyucusuna yeni araştırmalar için heyecan verdiği ve okuyucusunun zihninde bu alternatiflerin ötesinde yeni araştırma fikirlerini de tetiklediği takdirde amacına ve başarıya ulaşmış demektir.

- Son dönemde kullanımı gittikçe yaygınlaşan konteynır çözümlerinin model üzerinde hem dijital ikizlerin oluşturulması ve konuşlandırılması için hem de dağıtık uygulamaların entegrasyonu için kullanımı,
- Akıllı Ev ortamına giren ve sabit olmayan mobil cihazların bu ortamı terk ettiği takdirde dijital ikizleri ile olan iletişimlerinin incelenmesi; farklı yerlerde dijital ikizleri bulunması durumu (örneğin düzenli olarak ev ve iş yeri ortamında bulunan Cihazlar) ve bu dijital ikizlerin senkronizasyonlarının, görevlerinin ve içeriklerinin (örneğin ev profili ve iş yeri profiline sahip olma durumu) incelenmesi,
- Üreticinin semantik araçları tanımlarken ki rolünün, bu semantik araçların oluşturulma, dağıtım ve kullanım süreçlerinin araştırılması,

- Bilişsel yetenekleri geliştirebilecek Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ yöntemlerinin bu model üzerinde dağıtık olarak uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi,
- Mülkiyeti devredilen bir şekilde planlanan dijital ikizlerin, doğuşundan itibaren Cihaz'ın geliştirilme ve üretim süreçlerinde edindiği verilerin, mülkiyeti el değiştirdiğinde nasıl saklanacağı, kime ait olacağı ve Cihaz üreticisi ile son sahibi arasında nasıl bir dijital kullanım/erişim hakkı paylaşımının olması gerektiğinin teknik ve yasal çerçevede incelenmesi,
- Cihazın dijital ikizinin, sahip olduğu parçaların dijital ikizlerinin de kullanılarak oluşturulması; bu şekilde yaratılan hiyerarşik yapının uygulamalar tarafından kullanılabilir olması,
- Cihazların dijital ikizlerinin kullanımı ile Akıllı Ev dijital ikizinin oluşturulması,
- Referans Dijital İkiz ve Bileşik Dijital İkizlerin yapılarının, oluşturulma şekillerinin ve uygulamalarda kullanımının daha derin olarak araştırılması,
- Karşılaştırmalı analizler ve kullanılabilirlik değerlendirmeleri ile modele ve uygulamalara uygun DLT tiplerinin, uzlaşma yöntemlerinin seçilmesi veya var olan DLT alternatiflerinin bu amaçla detaylı olarak incelenmesi veya uygulamaya-özel DLT'ler tasarlanması,
- Cihazların, Çizelge 2.2'de örnekleri bulunan özellikle dağıtık hesaplama ve belki de dağıtık depolama DLT'lerine kısıtlı da olsa sahip oldukları hesaplama ve depolama kaynakları ile servis sunucusu olarak katılabilmesi,
- Cihazların garanti ihlallerini belirleyecek ve bunu mutlak mülkiye hakları ve kişisel gizliliği tehdit etmeyecek uygulamaların geliştirilmesi,
- Birlikte enerji verimliliği eniyilemesi gibi Akıllı Ev içinde kalan ve Sis – Bileşik Dijital İkiz üzerinde koşabilecek uygulamaların geliştirilmesi,
- Farklı alanlarda hizmet sağlayabilecek dağıtık uygulamaların önerimi ve bu uygulamaların getireceği iş modellerinin Cihaz, dijital ikizi, Cihaz üreticisi, Cihaz sahibi, üçüncü parti servis sağlayıcılar açısından değerlendirilmesi,
- Ve son olarak belirlenen teknoloji sentezi ve modelin Akıllı Ev dışındaki alanlarda kullanımının değerlendirilmesi.

KAYNAKLAR

- Ackoff, R. L.** (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, Cilt 16, Sayı 1, ss. 3–9.
- Aivaliotis, P., Georgoulas, K., Alexopoulos, K.** (2019). Using Digital Twin for Maintenance Applications in Manufacturing: State of the Art and Gap Analysis. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, ss. 1-5.
- Ala-Laurinaho, R.** (2019). *Sensor Data Transmission from a Physical Twin to a Digital Twin* (Aalto University). Adres: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/37926> alındığı tarih:02.03.2020
- Alam, K. M., El Saddik, A.** (2017). C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems. *IEEE Access*, Cilt 5, ss. 2050-2062.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., Ayyash, M.** (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Cilt 17, Sayı 4, ss. 2347-2376.
- Almadhoun, R., Kadadha, M., Alhemeiri, M., Alshehhi, M., Salah, K.** (2018). A User Authentication Scheme of IoT Devices using Blockchain-Enabled Fog Nodes. *IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, ss. 1-8.
- Arias, O., Wurm, J., Hoang, K., Jin, Y.** (2015). Privacy and Security in Internet of Things and Wearable Devices. *IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems*, Cilt 1, Sayı 2, ss. 99-109.
- Atzori, L., Girau, R., Pilloni, V., Uras, M.** (2019). Assignment of Sensing Tasks to IoT Devices: Exploitation of a Social Network of Objects. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 6, Sayı 2, ss. 2679-2692.
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G.** (2011). SIIoT: Giving a social structure to the internet of things. *IEEE Communications Letters*, Cilt 15, Sayı 11, ss. 1193-1195.
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., Nitti, M.** (2012). The social internet of things (SIIoT) - When social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization. *Computer Networks*, Cilt 56, Sayı 16, ss. 3594-3608.
- Baccarelli, E., Scarpiniti, M., Naranjo, P. G. V., Vaca-Cardenas, L.** (2018). Fog of Social IIoT: When the Fog Becomes Social. *IEEE Network*, Cilt 32, Sayı 4, ss. 68-80.
- Bagozi, A., Bianchini, D., De Antonellis, V., Garda, M., Melchiori, M.** (2019). Services as Enterprise Smart Contracts in the Digital Factory. *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, ss. 224-228.

- Baig, M. N., Himarish, M. N., Pranaya, Y. C., Ahmed, M. R.** (2018). Cognitive Architecture Based Smart Homes for Smart Cities. *2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, ss. 461-465.
- Balakrishnan, S., Vasudavan, H., Murugesan, R. K.** (2018). Smart Home Technologies. *6th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City (ICIT)*, ss. 120-127.
- Bamakan, S. M. H., Motavali, A., Babaei Bondarti, A.** (2020). A Survey of Blockchain Consensus Algorithms Performance Evaluation Criteria. *Expert Systems with Applications*, Cilt 154, s. 113385.
- Bandyopadhyay, D., Sen, J.** (2011). Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. *Wireless Personal Communications*, Cilt 58, Sayı 1, ss. 49-69.
- Barnett, T., Sumits, A., Jain, S., Andra, U., Khurana, T.** (2016). *Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2015–2020*. Cisco Public.
- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., Fogli, D.** (2019). A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications. *IEEE Access*, Cilt 7, ss. 167653-167671.
- Barthelme, A., Lee, E., Hana, R., Deuse, J.** (2019). Dynamic Digital Twin for Predictive Maintenance in Flexible Production Systems. *45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, ss. 4209-4214.
- Block, M. P., Schultz, D. E.** (2020). Segmenting Consumers Based on Willingness to Share Data for Marketing Purposes. *Applied Marketing Analytics*, Cilt 5, Sayı 3, ss. 243-255.
- Bonomi, F.** (2011). Connected vehicles, the internet of things, and fog computing. *Proceedings of the Eighth ACM International Workshop on Vehicular Inter-Networking (VANET)*, ss. 13–15.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., Addepalli, S.** (2012). Fog computing and its role in the internet of things. *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC '12)*, s. 13.
- Bormann, C., Ersue, M., Keranen, A.** (2014). Terminology for Constrained-Node Networks. İçinde *Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments (RFC)*.
- Braten, A. E., Kraemer, F. A.** (2018). Towards Cognitive IoT: Autonomous Prediction Model Selection for Solar-Powered Nodes. *IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT)*, ss. 118-125.
- Bucherer, E., Uckelmann, D.** (2011). Business Models for the Internet of Things. İçinde *Architecting the Internet of Things* (ss. 253-277).
- Bugeja, J., Jacobsson, A., Davidsson, P.** (2016). On Privacy and Security Challenges in Smart Connected Homes. *European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, ss. 172-175.
- Cearley, D., Burke, B.** (2018). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2019*. Gartner Inc. Adres: <https://www.gartner.com/en/doc/3891569-top-10-strategic-technology-trends-for-2019> alındığı tarih:16.04.2020

- Cearley, D., Burke, B., Searle, S., Walker, M.** (2017). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2018*. Gartner Inc. Adres: <https://www.gartner.com/en/doc/3811368-top-10-strategic-technology-trends-for-2018> alındığı tarih: 18.04.2020
- Cearley, D., Jones, N., Smith, D., Burke, B., Chandrasekaran, A., Lu, C. K.** (2019). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2020*. Gartner Inc. Adres: <https://www.gartner.com/en/doc/432920-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> alındığı tarih: 28.05.2020
- Cech, H. L., Grossmann, M., Krieger, U. R.** (2019). A Fog Computing Architecture to Share Sensor Data by Means of Blockchain Functionality. *IEEE International Conference on Fog Computing (ICFC)*, ss. 31-40.
- Cervantes-Solis, J. W.** (2018). *A Human Centric Approach to the Internet of Things* (University of Birmingham). Adres: <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/8924/> alındığı tarih: 28.05.2020
- Chalhoub, G., Flechais, I., Nthala, N., Abu-Salma, R., Tom, E.** (2020). Factoring User Experience into the Security and Privacy Design of Smart Home Devices: A Case Study. *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20)*, ss. 1-9.
- Chen, Y.-Y., Li, C.-M., Liang, J.-C., Tsai, C.-C.** (2018). Health Information Obtained From the Internet and Changes in Medical Decision Making: Questionnaire Development and Cross-Sectional Survey. *Journal of Medical Internet Research*, Cilt 20, Sayı 2, s. e47.
- Chiang, M., Zhang, T.** (2016). Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 3, Sayı 6, ss. 854-864.
- Christidis, K., Devetsikiotis, M.** (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, Cilt 4, ss. 2292-2303.
- Chung, T.-Y., Mashal, I., Alsaryrah, O., Hsu, T.-H., Chang, C.-H., Kuo, W.-H.** (2014). Design and Implementation of Light-Weight Smart Home Gateway for Social Web of Things. *Sixth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, ss. 425-430.
- Cisco Public.** (2019). *Redefine Connectivity by Building a Network to Support the Internet of Things*, Cisco. Adres: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/a-network-to-support-iot.html> alındığı tarih: 23.01.2020
- Cisco Public.** (2020). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023)*, Cisco Public.
- Clement, J.** (2020). *Global Digital Population as of April 2020*. Adres: <https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/> alındığı tarih: 28.04.2020
- Čolaković, A., Hadžialić, M.** (2018). Internet of Things (IoT): A Review of Enabling Technologies, Challenges, and Open Research Issues. *Computer Networks*, Cilt 144, ss. 17-39.
- Coleman, G.** (2019). How has the Fight for Anonymity and Privacy Advanced Since Snowden's Whistle-Blowing? *Media, Culture & Society*, Cilt 41, Sayı 4, ss. 565-571.
- Consumers International.** (2017). *Testing Our Trust: Consumers and the Internet of Things*.

- Cui, P., Guin, U., Skjellum, A., Umphress, D.** (2019). Blockchain in IoT: Current Trends, Challenges, and Future Roadmap. *Journal of Hardware and Systems Security*, Cilt 3, Sayı 4, ss. 338-364.
- Curry, E., Derguech, W., Hasan, S., Kouroupetroglou, C., ul Hassan, U., Fabritius, W.** (2020). Building Internet of Things-Enabled Digital Twins and Intelligent Applications Using a Real-time Linked Dataspace. İçinde *Real-time Linked Dataspace* (ss. 255-270).
- Cvitić, I., Peraković, D., Periša, M., Botica, M.** (2019). Novel Approach for Detection of IoT Generated DDoS Traffic. *Wireless Networks*.
- Cyr, B., Horn, W., Miao, D., Specter, M.** (2014). *Security Analysis of Wearable Fitness Devices (Fitbit)*. Adres: [https://www.semanticscholar.org/paper/Security-Analysis-of-Wearable-Fitness-Devices-\(-\)-Cyr-Horn/f4abebef4e39791f358618294cd8d040d7024399](https://www.semanticscholar.org/paper/Security-Analysis-of-Wearable-Fitness-Devices-(-)-Cyr-Horn/f4abebef4e39791f358618294cd8d040d7024399) alındığı tarih: 13.06.2020
- Dachyar, M., Zagloel, T. Y. M., Saragih, L. R.** (2019). Knowledge Growth and Development: Internet of Things (IoT) Research, 2006–2018. *Heliyon*, Cilt 5, Sayı 8, s. e02264.
- Dale, R.** (2016). *Future of Smart Home Study - Global Report 2016*. Growth from Knowledge.
- Datoo, A.** (2018). Data in the Post-GDPR World. *Computer Fraud & Security*, Cilt 2018, Sayı 9, ss. 17-18.
- Datta, S. P. A.** (2017). Emergence of Digital Twins - Is This the March of Reason? *Journal of Innovation Management*, Cilt 5, Sayı 3, ss. 14-33.
- Di Francesco Maesa, D., Mori, P.** (2020). Blockchain 3.0 Applications Survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Cilt 138, ss. 99-114.
- Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R.** (2017). Towards an Optimized BlockChain for IoT. *Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation*, 17(9), ss. 173-178.
- Eberhardt, J., Heiss, J.** (2018). Off-chaining Models and Approaches to Off-chain Computations. *Proceedings of the 2nd Workshop on Scalable and Resilient Infrastructures for Distributed Ledgers (SERIAL)*, ss. 7-12.
- Eclipse IoT Working Group, AGILE IoT, IEEE, Open Mobile Alliance.** (2018). *IoT Developer Survey Results*.
- Farris, I., Girau, R., Nitti, M., Atzori, L., Bruschi, R., Iera, A., Morabito, G.** (2015). Taking the SIoT down from the cloud: Integrating the Social Internet of Things in the INPUT architecture. *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, ss. 35-39.
- Gamage, H. T. M., Weerasinghe, H. D., Dias, N. G. J.** (2020). A Survey on Blockchain Technology Concepts, Applications, and Issues. *SN Computer Science*, Cilt 1, Sayı 2, s. 114.
- Gartner Inc.** (2018). Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018. Adres: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> alındığı tarih: 12.12.2019
- Gartner Inc.** (2020). Dark Data Definition. Adres: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/dark-data> alındığı tarih: 15.05.2020

- Gill, S. S., Garraghan, P., Buyya, R.** (2019). ROUTER: Fog Enabled Cloud Based Intelligent Resource Management Approach for Smart Home IoT Devices. *Journal of Systems and Software*, Cilt 154, ss. 125-138.
- Gimpel, G.** (2020). Bringing Dark Data into the Light: Illuminating Existing IoT Data Lost within Your Organization. *Business Horizons*.
- Girau, R., Martis, S., Atzori, L.** (2017). Lysis: A platform for iot distributed applications over socially connected objects. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 4, Sayı 1, ss. 40-51.
- Gopinath, V., Srija, A., Neethu Sravanthi, C.** (2019). Re-design of Smart Homes with Digital Twins. *Journal of Physics: Conference Series*, Cilt 1228, s. 12031.
- Grieves, M.** (2016). *Origins of the Digital Twin Concept* (C. 23).
- Guhr, N., Werth, O., Blacha, P. P. H., Breitner, M. H.** (2020). Privacy Concerns in the Smart Home Context. *SN Applied Sciences*, Cilt 2, Sayı 2, s. 247.
- Guoqiang, S., Yanming, C., Chao, Z., Yanxu, Z.** (2013). Design and Implementation of a Smart IoT Gateway. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*, ss. 720-723.
- Gupta, H., Singh, M.** (2019). Cyber Threat Analysis of Consumer Devices. İçinde *Advances in Computing and Data Sciences* (ss. 32-45).
- Hardjono, T., Smith, N.** (2016). Cloud-based commissioning of constrained devices using permissioned blockchains. *Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on IoT Privacy, Trust, and Security (IoTPTS), Asia CCS 2016*, ss. 29-36.
- Hassan, M. U., Rehmani, M. H., Chen, J.** (2019). Privacy Preservation in Blockchain Based IoT Systems: Integration Issues, Prospects, Challenges, and Future Research Directions. *Future Generation Computer Systems*, Cilt 97, ss. 512-529.
- Hjorth, L., Hinton, S.** (2019). *Understanding Social Media* (2. bs). SAGE Publishing.
- Hong, A., Nam, C., Kim, S.** (2020). What Will Be the Possible Barriers to Consumers' Adoption of Smart Home Services? *Telecommunications Policy*, Cilt 44, Sayı 2, s. 101867.
- Hsieh, C.-H., Jung, P.** (2015). A Fault Diagnosis Method for Smart Home Services. *17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, ss. 452-455.
- Hu, P., Dhelim, S., Ning, H., Qiu, T.** (2017a). Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues. *Journal of Network and Computer Applications*, Cilt 98, Sayı April, ss. 27-42.
- Hu, P., Ning, H., Qiu, T., Zhang, Y., Luo, X.** (2017b). Fog Computing Based Face Identification and Resolution Scheme in Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Cilt 13, Sayı 4, ss. 1910-1920.
- Internet Society.** (2019). *The Trust Opportunity: Exploring Consumers' Attitudes to the Internet of Things*. Adres: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2019/trust-opportunity-exploring-consumer-attitudes-to-iot/> alındığı tarih:12.05.2020

- Isaak, J., Hanna, M. J.** (2018). User Data Privacy: Facebook, Cambridge Analytica, and Privacy Protection. *Computer*, Cilt 51, Sayı 8, ss. 56-59.
- Jadhav, B., Patil, S. C.** (2016). Wireless Home monitoring using Social Internet of Things (SIoT). *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, ss. 925-929.
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., Hicks, B.** (2020). Characterising the Digital Twin: A Systematic Literature Review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Cilt 29, ss. 36-52.
- Kamilaris, A., Pitsillides, A.** (2010). Social Networking of the Smart Home. *21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, ss. 2632-2637.
- Katenbrink, F., Seitz, A., Mittermeier, L., Muller, H., Bruegge, B.** (2018). Dynamic Scheduling for Seamless Computing. *IEEE 8th International Symposium on Cloud and Service Computing (SC2)*, ss. 41-48.
- Kelaidonis, D., Somov, A., Foteinos, V., Poullos, G., Stavroulaki, V., Vlacheas, P., ... Giaffreda, R.** (2012). Virtualization and cognitive management of real world objects in the internet of things. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*, ss. 187-194.
- Khanghahi, N., Ravanmehr, R.** (2013). Cloud Computing Performance Evaluation: Issues and Challenges. *International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture*, Cilt 3, Sayı 5, ss. 29-41.
- Kireev, V. S., Filippov, S. A., Guseva, A. I., Bochkaryov, P. V., Kuznetsov, I. A., Migalin, V., Filin, S. S.** (2018). Predictive Repair and Support of Engineering Systems Based on Distributed Data Processing Model within an IoT Concept. *6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, ss. 84-89.
- Krotov, V.** (2019). Predicting the Future of Disruptive Technologies: The Method of Alternative Histories. *Business Horizons*, Cilt 62, Sayı 6, ss. 695-705.
- Kuhn, T.** (2017). Digitaler Zwilling. *Informatik-Spektrum*, Cilt 40, Sayı 5, ss. 440-444.
- Leminen, S., Westerlund, M., Rajahonka, M., Siuruainen, R.** (2012). Towards IoT Ecosystems and Business Models. İçinde S. Andreev, S. Balandin, & Y. Koucheryavy (Ed.), *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking* (ss. 15-26).
- Li, D., Peng, W., Deng, W., Gai, F.** (2018). A Blockchain-Based Authentication and Security Mechanism for IoT. *27th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, ss. 1-6.
- Lim, K. Y. H., Zheng, P., Chen, C.-H.** (2019). A State-of-the-art Survey of Digital Twin: Techniques, Engineering Product Lifecycle Management and Business Innovation Perspectives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Sayı 0123456789.
- Lin, H., Bergmann, N.** (2016). IoT Privacy and Security Challenges for Smart Home Environments. *Information*, Cilt 7, Sayı 3, s. 44.

- Lindsay, G., Woods, B., Corman, J.** (2016). *Smart Homes and the Internet of Things*. Adres: <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/smart-homes-and-the-internet-of-things/> alındığı tarih: 15.04.2020
- Luan, T. H., Gao, L., Li, Z., Xiang, Y., Wei, G., Sun, L.** (2015). *Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge*. ss. 1-11.
- Machado, C., Frohlich, A. A.** (2018). IoT data integrity verification for cyber-physical systems using blockchain. *IEEE 21st International Symposium on Real-Time Computing (ISORC)*, ss. 83-90.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., Aharon, D.** (2015). *The Internet of Things: Mapping the Value beyond the Hype*. McKinsey Global Institute.
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., Marrs, A.** (2013). *Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy*. McKinsey Global Institute.
- Marín-Tordera, E., Masip-Bruin, X., García-Almiñana, J., Jukan, A., Ren, G.-J., Zhu, J.** (2017). Do We All Really Know What a Fog Node Is? Current Trends Towards an Open Definition. *Computer Communications*, Cilt 109, ss. 117-130.
- Markets and Markets.** (2019). *IoT Security Market - Global Forecast to 2023*. Adres: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-security-market-67064836.html> alındığı tarih: 17.03.2020
- Marquesone, R. de F. P., da Silva, É. A., Gonzalez, N. M., Langona, K., Goya, W. A., Frota Redígolo, F., ... Sefidcon, A.** (2017). Towards Bandwidth Optimization in Fog Computing using FACE Framework. *Proceedings of the 7th International Conference on Cloud Computing and Services Science, (Closier)*, ss. 491-498.
- Martin, A., Gerhardt, S.** (2017). *More People Firmly Agree with Sharing Personal Data in Return for Rewards, than Firmly Disagree*. Growth from Knowledge.
- Martinez-Velazquez, R., Gamez, R., Saddik, A. E.** (2019). Cardio Twin: A Digital Twin of the Human Heart Running on the Edge. *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, ss. 1-6.
- McCandless, D., Evans, T., Barton, P., Starling, S., Geere, D.** (2020). *World's Biggest Data Breaches & Hacks*. Adres: <https://www.informationisbeautiful.net/visualizations/worlds-biggest-data-breaches-hacks/> alındığı tarih: 19.06.2020
- Merkle, L., Segura, A. S., Torben Grummel, J., Lienkamp, M.** (2019). Architecture of a Digital Twin for Enabling Digital Services for Battery Systems. *IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*, ss. 155-160.
- Miloslavskaya, N., Nikiforov, A., Plaksiy, K., Tolstoy, A.** (2019). Standardization Issues for the Internet of Things. İçinde *Advances in Intelligent Systems and Computing* (C. 931, ss. 328-338).
- Misra, S., Sarkar, S.** (2016). Theoretical Modelling of Fog Computing: A Green Computing Paradigm to Support IoT Applications. *IET Networks*, Cilt 5, Sayı 2, ss. 23-29.

- Mittal, S., Tam, T. W., Ko, C.** (2018). Internet of Things - The Pillar of Artificial Intelligence. İçinde *DBS Asian Insights*. DBS Group Research.
- Mohammadi, N., Taylor, J. E.** (2017). Smart City Digital Twins. *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, ss. 1-5.
- Moody, D., Walsh, P.** (1999). Measuring the Value Of Information - An Asset Valuation Approach. *Seventh European Conference on Information Systems (ECIS'99)*, ss. 496-512. Copenhagen: Copenhagen Business School.
- Motaghare, O., Pillai, A. S., Ramachandran, K. I.** (2018). Predictive Maintenance Architecture. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, ss. 1-4.
- Munot, K., Mehta, N., Mishra, S., Khanna, B.** (2019). Importance of Dark Data and its Applications. *IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, ss. 1-6.
- Muralidharan, S., Yoo, B., Ko, H.** (2020). Designing a Semantic Digital Twin Model for IoT. *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, ss. 1-2.
- Muthanna, A., Ateya, A. A., Khakimov, A., Gudkova, I., Abuarqoub, A., Samouylov, K., Koucheryavy, A.** (2019). Secure and reliable IoT networks using fog computing with software-defined networking and blockchain. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, Cilt 8, Sayı 1.
- Nakamoto, S.** (2009). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.
- Ng, J.** (2019). Rethinking the Cybersecurity of Consumer Internet of Things (IoT): How to Incentivise Companies to Produce Cyber-Secure Consumer IoT Products. İçinde *Information Security Group - Royal Holloway University of London*.
- Nitti, M., Atzori, L., Cvijikj, I. P.** (2015). Friendship Selection in the Social Internet of Things: Challenges and Possible Strategies. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 2, Sayı 3, ss. 240-247.
- Nitti, M., Pilloni, V., Colistra, G., Atzori, L.** (2016). The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Cilt 18, Sayı 2, ss. 1228-1240.
- Nokia Networks.** (2014). *Technology Vision 2020 Reducing Network Latency to Milliseconds*.
- Novo, O.** (2018). Blockchain Meets IoT: An Architecture for Scalable Access Management in IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 5, Sayı 2, ss. 1184-1195.
- Ogawa, K., Sekine, H., Kanai, K., Nakamura, K., Kanemitsu, H., Katto, J., Nakazato, H.** (2019). Performance Evaluations of IoT Device Virtualization for Efficient Resource Utilization. *Global IoT Summit (GIoTS)*, ss. 1-6.
- Ortiz, A. M., Hussein, D., Park, S., Han, S. N., Crespi, N.** (2014). The Cluster Between Internet of Things and Social Networks: Review and Research Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 1, Sayı 3, ss. 206-215.

- Ouaddah, A., Abou Elkalam, A., Ait Ouahman, A.** (2016). FairAccess: A New Blockchain-based Access Control Framework for the Internet of Things. *Security and Communication Networks*, Cilt 9, Sayı 18, ss. 5943-5964.
- Palo Alto Networks.** (2020). *2020 Unit 42 IoT Threat Report*. Palo Alto Networks.
- Patsakis, C., Charemis, A., Papageorgiou, A., Mermigas, D., Pirounias, S.** (2018). The Market's Response Toward Privacy and Mass Surveillance: The Snowden Aftermath. *Computers & Security*, Cilt 73, ss. 194-206.
- Perera, C., Qin, Y., Estrella, J. C., Reiff-Marganiec, S., Vasilakos, A. V.** (2017). Fog Computing for Sustainable Smart Cities. *ACM Computing Surveys*, Cilt 50, Sayı 3, ss. 1-43.
- Ploennigs, J., Ba, A., Barry, M.** (2018). Materializing the Promises of Cognitive IoT: How Cognitive Buildings Are Shaping the Way. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 5, Sayı 4, ss. 2367-2374.
- Rahimi, M., Songhorabadi, M., Kashani, M. H.** (2020). Fog-Based Smart Homes: A Systematic Review. *Journal of Network and Computer Applications*, Cilt 153, s. 102531.
- Ramirez, P. L. G., Taha, M., Lloret, J., Tomas, J.** (2020). An Intelligent Algorithm for Resource Sharing and Self-Management of Wireless-IoT-Gateway. *IEEE Access*, Cilt 8, ss. 3159-3170.
- Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., Clarke, S.** (2016). Middleware for Internet of Things: A Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 3, Sayı 1, ss. 70-95.
- Rehman, M. H. ur, Liew, C. S., Abbas, A., Jayaraman, P. P., Wah, T. Y., Khan, S. U.** (2016). Big Data Reduction Methods: A Survey. *Data Science and Engineering*, Cilt 1, Sayı 4, ss. 265-284.
- Richter, J.** (2019). *Smart Homes: Not Yet Smart Enough*. Growth from Knowledge.
- Rogers, E. M.** (1962). *Diffusion of Innovations*. Free Press.
- Rothstein, M. A., Tovino, S. A.** (2019). California Takes the Lead on Data Privacy Law. *Hastings Center Report*, Cilt 49, Sayı 5, ss. 4-5.
- Routh, K., Pal, T.** (2018). A Survey on Technological, Business and Societal Aspects of Internet of Things by Q3, 2017. *3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, ss. 1-4.
- Safaei, B., Monazzah, A. M. H., Bafroei, M. B., Ejlali, A.** (2017). Reliability Side-Effects in Internet of Things Application Layer Protocols. *2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)*, ss. 207-212.
- Saleem, J., Hammoudeh, M., Raza, U., Adebisi, B., Ande, R.** (2018). IoT Standardisation - Challenges, Perspectives and Solution. *2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems (ICFNDS)*, ss. 1-9.
- Salimitari, M., Chatterjee, M., Fallah, Y. P.** (2020). A Survey on Consensus Methods in Blockchain for Resource-constrained IoT Networks. *Internet of Things*, s. 100212.

- Samaniego, M., Deters, R.** (2017). Internet of Smart Things - IoST: Using Blockchain and CLIPS to Make Things Autonomous. *IEEE 1st International Conference on Cognitive Computing (ICCC)*, ss. 9-16.
- Saracco, R.** (2019). Digital Twins: Bridging Physical Space and Cyberspace. *Computer*, Cilt 52, Sayı 12, ss. 58-64.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., Davies, N.** (2009). The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. *IEEE Pervasive Computing*, Cilt 8, Sayı 4, ss. 14-23.
- Schiefer, M.** (2015). Smart Home Definition and Security Threats. *Ninth International Conference on IT Security Incident Management & IT Forensics*, ss. 114-118.
- Sehgal, A., Perelman, V., Kuryla, S., Schonwalder, J.** (2012). Management of Resource Constrained Devices in the Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, Cilt 50, Sayı 12, ss. 144-149.
- Seitz, A., Johanssen, J. O., Bruegge, B., Loftness, V., Hartkopf, V., Sturm, M.** (2017). A Fog Architecture for Decentralized Decision Making in Smart Buildings. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering (SCOPE)*, ss. 34-39.
- Shafiq, M., Ahmad, M., Khalil Afzal, M., Ali, A., Irshad, A., Choi, J.-G.** (2019). Handshake Sense Multiple Access Control for Cognitive Radio-Based IoT Networks. *Sensors*, Cilt 19, Sayı 2, s. 241.
- Shahaab, A., Lidgely, B., Hewage, C., Khan, I.** (2019). Applicability and Appropriateness of Distributed Ledgers Consensus Protocols in Public and Private Sectors: A Systematic Review. *IEEE Access*, Cilt 7, ss. 43622-43636.
- Shahrokh, N.** (2018). Consumers' Perceptions on Smart Home and Smart Living. *Twenty-Sixth European Conference on Information Systems (ECIS)*.
- Shamszaman, Z. U., Ali, M. I.** (2018). Toward a smart society through semantic virtual-object enabled real-time management framework in the social internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 5, Sayı 4, ss. 2572-2579.
- Sheth, A.** (2016). Internet of Things to Smart IoT Through Semantic, Cognitive, and Perceptual Computing. *IEEE Intelligent Systems*, Cilt 31, Sayı 2, ss. 108-112.
- Shvedenko, V. N., Mozokhin, A. E.** (2019). Methodological Foundations for the Formation of Information Space and Digital Twin Objects in Smart Homes. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, Cilt 53, Sayı 6, ss. 303-308.
- Silver, L., Huang, C.** (2019). In Emerging Economies, Smartphone and Social Media Users Have Broader Social Networks. İçinde *Pew Research Center*. Pew Research Center.
- Sleuters, J., Li, Y., Verriet, J., Velikova, M., Doornbos, R.** (2019). A Digital Twin Method for Automated Behavior Analysis of Large-Scale Distributed IoT Systems. *14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE)*, ss. 7-12.

- Son, J.-Y., Lee, J.-H., Kim, J.-Y., Park, J.-H., Lee, Y.-H.** (2012). RAFD: Resource-Aware Fault Diagnosis System for Home Environment with Smart Devices. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Cilt 58, Sayı 4, ss. 1185-1193.
- Srinivasan, V., Stankovic, J., Whitehouse, K.** (2008). Protecting Your Daily In-Home Activity Information from a Wireless Snooping Attack. *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp)*, s. 202.
- Srivastava, A., Bhattacharya, P., Singh, A., Mathur, A., Pradesh, U., Pradesh, U.** (2018). A Systematic Review on Evolution of Blockchain Generations. *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering*, Cilt 7, Sayı 6, ss. 1-8.
- STMicroelectronics.** (2018). *Predictive Maintenance Solutions – Not Just for Industrial Applications*. The ST Blog. Adres: <https://blog.st.com/predictive-maintenance-solutions-not-just-for-industrial-applications/> alındığı tarih:15.11.2019
- Stojkoska, B. R., Trivodaliev, K.** (2017). Enabling Internet of Things for Smart Homes through Fog Computing. *25th Telecommunication Forum (TELFOR)*, ss. 1-4.
- Tang, B., Chen, Z., Hefferman, G., Pei, S., Wei, T., He, H., Yang, Q.** (2017). Incorporating Intelligence in Fog Computing for Big Data Analysis in Smart Cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Cilt 13, Sayı 5, ss. 2140-2150.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F.** (2018). Digital Twin-Driven Product Design, Manufacturing and Service with Big Data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 94, Sayı 9-12, ss. 3563-3576.
- Tschofenig, H., Fossati, T.** (2016). *Transport Layer Security (TLS) / Datagram Transport Layer Security (DTLS) Profiles for the Internet of Things*, Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments (RFC). Adres: <https://tools.ietf.org/html/rfc7925> alındığı tarih:27.05.2020
- Tseng, C.-L., Lin, F. J.** (2018). Extending Scalability of IoT/M2M Platforms with Fog Computing. *IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, ss. 825-830.
- Upadhyay, N.** (2020). Demystifying Blockchain: A Critical Analysis of Challenges, Applications and Opportunities. *International Journal of Information Management*, Cilt 54, Sayı March, s. 102120.
- Utton, P., Scharf, E.** (2004). A Fault Diagnosis System for the Connected Home. *IEEE Communications Magazine*, Cilt 42, Sayı 11, ss. 128-134.
- Van Der Veer, H., Wiles, A.** (2008). *Achieving Technical Interoperability: The ETSI Approach*, European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Adres: <https://portal.etsi.org/CTI/Downloads/ETSIApproach/IOP> alındığı tarih:18.04.2020
- Varshney, P., Simmhan, Y.** (2017). Demystifying Fog Computing: Characterizing Architectures, Applications and Abstractions. *IEEE 1st International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)*, ss. 115-124.

- Voutyras, O., Bourellos, P., Kyriazis, D., Varvarigou, T.** (2014). An architecture supporting knowledge flow in social internet of things systems. *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, ss. 100-105.
- Wafa, A., Zayani, C. A., Amous, I., Sèdes, F.** (2019). User-Centric IoT : Challenges and Perspectives. *The Twelfth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM)*, ss. 27-34. Adres: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02299242>
alındığı tarih: 13.05.2020
- Warren, S. D., Brandeis, L. D.** (1890). The Right to Privacy. *Harvard Law Review*, Cilt 4, Sayı 5, s. 193.
- Wolverton, T.** (2019). *Hey Apple, What Happens on iPhones Doesn't Stay There, and Your "Clever" CES Ad is Promoting a Dangerous Illusion*, Business Insider. Adres: <https://www.businessinsider.com/apples-ces-ad-las-vegas-misleading-2019-1?r=DE&IR=T> alındığı tarih: 23.03.2020
- Wu, Q., Ding, G., Xu, Y., Feng, S., Du, Z., Wang, J., Long, K.** (2014). Cognitive internet of things: A new paradigm beyond connection. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 1, Sayı 2, ss. 129-143.
- Xu, R., Chen, Y., Blasch, E., Chen, G.** (2018). BlendCAC: A BLockchain-Enabled Decentralized Capability-Based Access Control for IoTs. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), IEEE Green Computing and Communications (GreenCom), IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, ss. 1027-1034.
- Yamin, M.** (2019). Information Technologies of 21st Century and Their Impact on the Society. *International Journal of Information Technology*, Cilt 11, Sayı 4, ss. 759-766.
- Yang, H., Lee, H., Zo, H.** (2017). User acceptance of smart home services: an extension of the theory of planned behavior. *Industrial Management & Data Systems*, Cilt 117, Sayı 1, ss. 68-89.
- Yang, L., Li, W., Ghandehari, M., Fortino, G.** (2018). People-Centric Cognitive Internet of Things for the Quantitative Analysis of Environmental Exposure. *IEEE Internet of Things Journal*, Cilt 5, Sayı 4, ss. 2353-2366.
- Yannuzzi, M., Milito, R., Serral-Gracia, R., Montero, D., Nemirovsky, M.** (2014). Key Ingredients in an IoT Recipe: Fog Computing, Cloud Computing, and More Fog Computing. *IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, ss. 325-329.
- Yaqoob, I., Ahmed, E., ur Rehman, M. H., Ahmed, A. I. A., Al-garadi, M. A., Imran, M., Guizani, M.** (2017). The Rise of Ransomware and Emerging Security Challenges in the Internet of Things. *Computer Networks*, Cilt 129, Sayı 2017, ss. 444-458.
- Yee, K.-P.** (2004). Aligning Security and Usability. *IEEE Security & Privacy Magazine*, Cilt 2, Sayı 5, ss. 48-55.

- Yeow, K., Gani, A., Ahmad, R. W., Rodrigues, J. J. P. C., Ko, K.** (2018). Decentralized Consensus for Edge-Centric Internet of Things: A Review, Taxonomy, and Research Issues. *IEEE Access*, Cilt 6, ss. 1513-1524.
- Yi, S., Hao, Z., Qin, Z., Li, Q.** (2015). Fog Computing: Platform and Applications. *Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb)*, ss. 73-78.
- Zhang, Y., Ma, X., Zhang, J., Hossain, M. S., Muhammad, G., Amin, S. U.** (2019). Edge Intelligence in the Cognitive Internet of Things: Improving Sensitivity and Interactivity. *IEEE Network*, Cilt 33, Sayı 3, ss. 58-64.
- Zheng, S., Apthorpe, N., Chetty, M., Feamster, N.** (2018). User Perceptions of Smart Home IoT Privacy. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Cilt 2, Sayı CSCW, ss. 1-20.
- Zhu, X., Badr, Y.** (2018). Fog Computing Security Architecture for the Internet of Things Using Blockchain-Based Social Networks. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), IEEE Green Computing and Communications (GreenCom), IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, ss. 1361-1366.
- Zhu, X., Badr, Y., Pacheco, J., Hariri, S.** (2017). Autonomic Identity Framework for the Internet of Things. *International Conference on Cloud and Autonomic Computing (ICCAC)*, ss. 69-79.
- Ziegler, M. H., Grobmann, M., Krieger, U. R.** (2019). Integration of Fog Computing and Blockchain Technology Using the Plasma Framework. *IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, ss. 120-123.
- Zoll, M., Jack, D., Vogt, M. W.** (2018). Evaluation of Predictive-Maintenance-as-a-Service Business Models in the Internet of Things. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, ss. 1-9.

Url-1 <https://coinmarketcap.com/all/views/all/> alındığı tarih:05.06.2020

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Cankal Altun
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.03.1987 / Ankara
E-posta : cankalaltun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Bilkent Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2012, Stuttgart Üniversitesi,
Information Technology (INFOTECH),
Embedded Systems Engineering.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2012	Daimler A.G., Stuttgart	Stajyer Mühendis
2012	Robert Bosch Power Tools GmbH, Stuttgart	Master Tez Projesi
2013	TOBB ETÜ, Ankara	Burslu Doktora Öğrencisi
2013	Otonom Teknoloji, Ankara	Elektrik-Elektronik Müh.
2017	Robert Bosch Power Tools GmbH, Stuttgart	Elektronik-Yazılım Müh.

YABANCI DİLLER:

İngilizce, Almanca.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Altun, C.**, Tavli, B. and Yanikomeroğlu, H., 2019. Liberalization of Digital Twins of IoT-Enabled Home Appliances via Blockchains and Absolute Ownership Rights, IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 12, pp. 65-71.
- **Altun, C.** and Tavli, B., 2019. Social Internet of Digital Twins via Distributed Ledger Technologies: Application of Predictive Maintenance, 27th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, pp. 1-4.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Işıkman, A.Ö., Yıldırım, S.A., **Altun, C.**, Uludağ, S. and Tavlı, B., 2013. Optimized scheduling of power in an islanded microgrid with renewables and stored energy, IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Atlanta, GA, 2013, pp. 855-860.
- Işıkman, A.Ö., **Altun, C.**, Uludağ, S. and Tavlı, B., 2016. Power scheduling in privacy enhanced microgrid networks with renewables and storage, 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 2016, pp. 405-410.