

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NESNELERİN İNTERNETİ İÇİN GENEL AMAÇLI YENİ BİR MİMARİ
MODELİN ÖNERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Müh. Ercüment ÖZTÜRK

OCAK 2018
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Ercüment ÖZTÜRK Tarafından Hazırlanan**

**NESNELERİN İNTERNETİ İÇİN GENEL AMAÇLI YENİ BİR MİMARİ MODELİN
ÖNERİLMESİ**



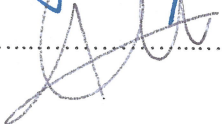
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 19 / 12 / 2017 gün ve 1732 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Burhan ERGEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim SAVRAN


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüz internet yapısı, uzun süre önce önerilen, makineler arasındaki iletişim için TCP / IP protokol yığıtını kullanmaktadır. Çok sayıda internete bağlı nesne ile birlikte Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) ağının daha da geniş bir hal almasıyla bu protokol ve mimari yapı ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, çok sayıda nesnenin bağlı olduğu bir IoT ağında büyük miktarda veri üretilecek olması ve merkezi olmayan heterojen bir yapının olmasından dolayı çeşitli terminolojilere sahip çok sayıda mimari model önerilmiştir.

IoT, günlük yaşamda kullanılacak ve hemen her denetlenebilen elektronik aygıtın ağ ortamına bağlanmasını öngörmektedir. Böylesi büyük ölçekli bir ağda; ağ yapısının tasarlanması, mimari yapısı, veri iletişimi, web hizmetleri ve uygulamaları, iş süreçleri ve modellemeleri, süreç izleme gibi durumların olması; veri işleme, süreklilik, sürdürülebilirlik, güvenlik ve gizlilik gibi birçok alanda eksiklikleri ve problemleri de beraberinde getirmektedir. Ayrıca teknik açıdan bakıldığında, heterojen bir sistemde nesnelere arasında genişletilebilirlik, ölçeklenebilirlik, modülerlik, güvenilirlik ve birlikte çalışabilirlik gibi durumların da göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, IoT yapısının anlaşılmasını sağlamak, ortak bir IoT mimari çerçevesinin (referans modelin) oluşturulmasına yardımcı olmak ve mimari tasarımını sistemleştirerek somut IoT sistemlerinin tasarlanması konusunda yardımcı olmak amacıyla yeni, katmanlı bir mimari model önerisinde bulunulmuştur.

Çalışmalarım süresince bilgi, görüş ve önerileriyle bana yardımcı olan çok değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR'a teşekkürlerimi bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince sabır, destek ve sevgisiyle hep yanımda olan değerli eşime, çalışmalarımda destek olan değerli mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Ahmet ULU, Arş. Gör. Çağatay Murat YILMAZ ve Arş. Gör. M. Talha KAKIZ'a teşekkür eder şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Ercüment ÖZTÜRK

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Nesnelerin İnterneti İçin Genel Amaçlı Yeni Bir Mimari Modelin Önerilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri / örnekleri kendim topladığımı, deneyleri / analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı / yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/01/2018

Ercüment ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. IoT Nedir?	4
1.3. IoT'nin Tarihçesi	6
1.4. Mevcut Mimari Modeller	8
1.4.1. Genel Amaçlı Mimari Modeller	9
1.4.1.1. James-Smit Genel Amaçlı Mimari Modeli.....	9
1.4.1.2. ITU Genel Amaçlı Mimari Modelleri	11
1.4.1.2.1. ITU-T M.3010	11
1.4.1.2.2. ITU-T Y.2060	12
1.4.1.3. Diğer Genel Amaçlı Mimari Modeller	14
1.4.2. Özel Amaçlı Mimari Modeller	30
1.5. IoT Uygulama Alanları.....	42
1.5.1. Sağlık Hizmetleri.....	43
1.5.2. Eğitim Hizmetleri	44
1.5.3. Endüstriyel Alan	45
1.5.4. Savunma Sanayii	46
1.5.5. Taşımacılık	47
1.5.6. Kamu Hizmetleri	47
1.5.7. Enerji Sektörü.....	48
1.5.8. Tarım Uygulamaları	48

1.5.9.	Akıllı Ev ve Şehir Uygulamaları	49
1.6.	Büyük Veri	50
1.7.	IoT’de Kullanılabilen Teknolojiler.....	51
1.7.1.	Kablosuz Duyarga Ağlar	52
1.7.2.	Yazılım Tanımlı Ağ.....	52
1.7.3.	Radyo Frekanslı Tanımlama.....	53
1.7.4.	Yakın Alan İletişimi	54
1.7.5.	ZigBee	54
1.7.6.	Düşük Enerjili BlueTooth.....	55
1.7.7.	6LoWPAN	57
1.7.8.	IPv6.....	58
1.8.	IoT’de Kullanılabilen Diğer Protokoller	59
1.8.1.	Sınırlı Uygulama Protokolü.....	59
1.8.2.	Mesaj Kuyruğu Telemetri Ulaşımı	60
1.8.3.	Genişletilebilir Mesajlaşma ve Durum Protokolü	60
1.8.4.	Gelişmiş Mesaj Kuyruk Protokolü	61
1.8.5.	IEEE 802.15.4	62
1.8.6.	Küresel Elektronik Ürün Kodu.....	62
1.8.7.	Gelişmiş Uzun Vadeli Evrim.....	63
1.8.8.	Z-Dalgası	63
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	65
2.1.	Algılama Katmanı.....	68
2.1.1.	Karar Alt Katmanı	69
2.2.	İnternet / Ağ Katmanı	72
2.2.1.	Dönüşüm Alt Katmanı.....	73
2.3.	Aktarım Katmanı	74
2.4.	Uygulama Katmanı.....	75
2.5.	IoT Kilit Öncüller – Servis Kalitesi Kriterleri.....	76
2.5.1.	Güvenilirlik.....	76
2.5.2.	Heterojenlik	77
2.5.3.	Birlikte Çalışabilirlik	78
2.5.4.	Güvenlik / Gizlilik	79

2.5.5.	Performans.....	80
2.5.6.	Yeniden Kullanılabilirlik.....	81
2.5.7.	Fonksiyonellik ve Dinamiklik	81
3.	BULGULAR	83
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	88
5.	ÖNERİLER	91
6.	KAYNAKLAR.....	92
	ÖZGEÇMİŞ.....	102



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

NESNELERİN İNTERNETİ İÇİN GENEL AMAÇLI YENİ BİR MİMARİ MODELİN
ÖNERİLMESİ

Ercüment ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR
2018, 101 Sayfa

Günümüz internet yapısı, uzun zaman önce önerilen, makineler arasındaki iletişim için TCP / IP protokol yığını kullanmaktadır. Çok sayıda internete bağlı nesne ile birlikte IoT ağının daha da geniş bir hal almasıyla bu protokol ve mimari yapı yetersiz kalmakta ve ihtiyaçları yeterince karşılamakta güçlük çekmektedir. Bu nedenle, çok sayıda nesnenin bağlı olduğu bir IoT ağında büyük miktarda veri üretilecek olması ve merkezi olmayan heterojen bir yapının olmasından dolayı çeşitli terminolojilere sahip çok sayıda mimari model önerilmiştir.

Bu çalışmada, literatürdeki genel ve özel amaçlı mimari modeller taranmış ve IoT yapısının anlaşılmasını sağlamak, ortak bir IoT mimari çerçevesinin oluşturulmasına yardımcı olmak ve mimari tasarımını sistemleştirerek somut IoT sistemlerinin tasarlanması konusunda yardımcı olmak amacıyla yeni, katmanlı bir mimari model önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Nesnelerin İnterneti Mimarisi, Katmanlı Mimari, Referans Mimari Model

Master Thesis

SUMMARY

PROPOSING A NOVEL GENERAL PURPOSED ARCHITECTURAL MODEL
FOR THE INTERNET OF THINGS

Ercüment ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Tuğrul ÇAVDAR
2018, 101 Pages

Today's Internet architecture uses the TCP / IP protocol stack for communications between machines, which was proposed a long time ago. This protocol and architectural structure is inadequate due to the widening of the IoT network with a large number of internate connected objects, and it is difficult to adequately meet the needs. For this reason, a large number of architectural models with various terminologies have been proposed because of the decentralized heterogeneous structure and large amount of data to be generated in an IoT network.

In this study, general and special purpose architectural models in the literature have been investigated and a new tiered architectural model has been proposed to help understand the IoT structure, assist in the creation of a common IoT architecture framework, and assist in designing concrete IoT systems by systematizing the architectural design.

Key Words: Internet of Things, Internet of Things Architecture, Layered Architecture, Reference Architectural Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.3.1. Trojan Room kahve makinesi ve görüntüsünün alınması	6
Şekil 1.3.2. Kahve makinesinin belirli zaman aralıklarında alınan görüntüleri	7
Şekil 1.4.1. James ve Smit'in önerdiği mimari modelin yapısı	9
Şekil 1.4.2. ITU tarafından 2012 yılında önerilen beş katmanlı mimari model	13
Şekil 1.4.3. IoT-A mimari modeli	15
Şekil 1.4.4. Amr El-Mougy ve diğerleri tarafından önerilen model	16
Şekil 1.4.5. Z. Bozdoğan tarafından önerilen mimari model	17
Şekil 1.4.6. IoT kuramsal mimari modeli	18
Şekil 1.4.7. Yedi katmanlı mimari model	19
Şekil 1.4.8. Jian An ve diğerlerinin önerdiği 5 katmanlı mimari model	20
Şekil 1.4.9. SOA tabanlı beş katmanlı mimari model	21
Şekil 1.4.10. Bulut ve sis tabanlı üç katmanlı mimari model	22
Şekil 1.4.11. Khan ve diğerlerinin önerdiği beş katmanlı mimari model.....	23
Şekil 1.4.12. Milic ve Jelenkovic dört katmanlı mimari modeli	24
Şekil 1.4.13. Dört katmanlı IoT mimari modeli	25
Şekil 1.4.15. Lopes ve diğerlerinin geliştirdiği dört katmanlı mimari model	26
Şekil 1.4.16. Miao Wu ve diğerlerinin önerdiği beş katmanlı mimari model	27
Şekil 1.4.17. SDN tabanlı IoT Controller mimarisi	28
Şekil 1.4.19. Patil ve diğerlerinin önerdiği dört katmanlı mimari modelin yapısı	30
Şekil 1.4.20. ICN IoT mimari modeli.....	31
Şekil 1.4.21. QoS IoT mimari modeli	33
Şekil 1.4.22. Chang-Le Zhong ve diğerleri tarafından önerilen mimari model	34
Şekil 1.4.23. Enerji tüketimi / tasarrufu için önerilen mimari model (Green IIoT)	36
Şekil 1.4.24. Web tabanlı IoT uygulamaları için geliştirilmiş mimari model	37
Şekil 1.4.25. IoT Football mimari modeli	38
Şekil 1.4.26. DIAT mimari modelinin yapısı	39
Şekil 1.4.27. Engelli insanlara yardımcı olmak amacıyla önerilmiş mimari model	42
Şekil 1.8.1. MQTT yayımcı ve abone arası veri iletimi	60
Şekil 1.8.2. AMQP mesaj formatı	61
Şekil 2.1. Önerilen mimari modelin yapısı.....	67

Şekil 2.2. Önerilen mimari modelin katmanları ve protokol yığın yapısı	66
Şekil 2.3. Karar alt katmanının iç yapısı ve işleyiş biçimi	70
Şekil 2.4. Karar alt katmanı akış şeması.....	71
Şekil 2.5. IPv4 ün IPv6'ya dönüştürülme işlemi	73
Şekil 2.6. Dönüşüm alt katmanı iç yapısı	74
Şekil 2.7. HTTP-CoAP dönüşümü	76
Şekil 2.9. Önerilen modelin heterojenlik kriteri başarımlar oranı	78
Şekil 2.10. Önerilen modelin 50,000 farklı nesne ile performans kriteri başarımlar oranı	80
Şekil 3.2. İnternete açılan paket sayısına göre değerlendirme	84
Şekil 3.3. 15,000 nesne ile önerilen mimari modelin kullanıldığı ağın test edilmesi.....	85
Şekil 3.4. Beş milyon nesne ile oluşturulan ağdaki veri yoğunluğunun karşılaştırılması ...	86

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Algılama teknolojilerinin karşılaştırılması	56
Tablo 1.2. IoT mimarilerinde en sık kullanılan protokoller.....	64
Tablo 4.1. Önerilen mimari modelin diğer mimari modeller ile karşılaştırılması.....	87



SEMBOLLER DİZİNİ

IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
NFC	Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası İletişim Birliği)
BDT	Bilgisayar Destekli Teknolojiler
M2M	Machine-to-Machine (Makineden makineye)
RC	Remote Control (Uzaktan Kontrol)
WSN	Wireless Sensor Networks (Kablosuz Duyarga Ağlar)
SDN	Software Defined Networks (Yazılım Tanımlı Ağlar)
MIP	Mobile Internet Protocol (Mobil (Taşınabilir) İnternet Protokolü)
BLE	BlueTooth Low Energy (Düşük Enerjili BlueTooth)
ICMP	Internet Control Message Protocol (İnternet Kontrol Mesaj Protokolü)
NAT	Network Adress Translation (Ağ Adres Dönüştürme)
UDP	User Datagram Protocol (Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü)
IM	Instant Messaging (Anlık Mesajlaşma)
TCP	Transmission Control Protocol (Aktarım Kontrol Protokolü)
QoS	Quality of Service (Servis Kalitesi)
MAC	Medium Access Control (Orta Erişim Kontrolü)
MTC	Machine Type Communication (Makine Tipi İletişim)
CR	Core Network (Çekirdek Ağ)
RAN	Radio Access Network (Radyo Erişim Ağı)
TMN	Telecommunication Management Network (İletişim Yönetim Ağları)
SOA	Service Oriented Architecture (Servis Odaklı Mimari)
DHT	Distributed Hash Table (Dağıtık Hash Tablosu)
NDN	Named Data Network (İsmlendirilmiş Veri Ağı)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Gelişmekte olan ve gündelik yaşantımız ile ayrılmaz bir bütün haline gelmiş olan bilişim ve iletişim teknolojileri alanındaki yenilik ve ilerlemeler özellikle son 30 yılda artan bir ivme ile gelişmekte ve gelişmeye devam etmektedir. İnternet kullanımının yayılmaya başlamasıyla bilgi paylaşımı hızlanmış ve teknik ilerlemeler uzun mesafeler kat etmiştir. 19. Yüzyılın en büyük icadı olarak kabul gören elektrik günümüzde yerini internet ve bilişim teknolojilerine bırakmış, özellikle geçtiğimiz çeyrek asırda bilişim teknolojilerindeki gelişmeler vasıtasıyla bilimde çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Öyle ki, dünyanın asırlar boyunca bilim ve teknoloji alanında kat etmiş olduğu yolun daha fazlasını bu çeyrek asırda almıştır [1]. Bilişim teknolojileri ve internetin olduğu yıllar, bilişimin olmadığı yıllara göre bire yedi oranında gelişmişlik farkı gösterir. Yani bilişim teknolojileri ve internetin aktif kullanıldığı bir yılda hiç kullanılmadığı yedi yıldan daha fazla gelişmeler gözlemlenir [2].

Küreselleşen dünyada bilişim teknolojileri ve internet artık üretim, tüketim hatta sosyal yaşamları bile yönlendirmeye başlamıştır. Topluları etkileme ve değiştirme anlamında çok büyük etkileri bünyesinde barındırır. Günümüzde çok yeni ve esnek iletişim modelleri üretilmektedir. Bu artan üretimler önümüzdeki on yıl içerisinde ağ ortamına bağlı düğüm sayısını çarpan 100 ile (%10,000) artması tahmin edilmektedir [3].

Dijitalleşme ve sayısallaşmanın her geçen gün hayatımıza biraz daha fazla entegre olduğu ve üretim, tüketim, eğitim, savunma, sağlık gibi alanlardaki büyük ilerlemeler neticesinde bilişim ve iletişim teknolojilerinden uzak bir toplumun var olması söz konusu dahi olamamaktadır. İleri seviye teknolojik cihazların hayatımızın bölünmez bir parçası haline gelmesiyle birlikte literatüre birçok isim de girmiştir. Bunlardan bazıları; Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT), Akıllı Gezegen (Smart Planet – SP) ve Makineden Makineye Haberleşme (Machine to Machine Communication – M2M)'dir [4].

Nesnelerin interneti konusu, günümüzde milyarlarca cihazın ortak bir ağ ortamına bağlı olmasını ve verilerin bu ağ üzerinden paylaşılmasını ön görmektedir. Böylesi büyük bir ağ ortamı oluşturabilmek için farklı teknolojilerin ve platformların bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte kurulacak olan sistem birçok problemi de

beraberinde getirecektir. Bu problemlerin çözümü konusunda kısmen çözümler üretilmiş olsa da literatürde nesnelere interneti için referans kabul edilebilecek bir mimari yapının olmaması böylesine büyük ölçekli bir ağın kurulmasını da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, IoT gibi büyük ölçekli bir ağın veya sistemin oluşturulması için referans bir modelin olması şarttır. Çünkü, kurulacak olan sistemin yol haritası hem sistemin anlaşılmasını, yönetimini hem de oluşabilecek problemlerin üstesinden gelebilmeyi sağlar.

Literatürde IoT için önerilmiş çok sayıda mimari model bulunmaktadır ancak henüz referans mimari modelinin oluşturulamamış olması IoT teknolojisinin ilerleme hızını düşürmüştür. Önerilmiş mimari model havuzunda kendisinden sonraki mimari modellere örnek olmuş dört tane mimari model vardır. Bunlar, ITU beş katmanlı modeli [5], üç katmanlı [6], beş katmanlı [7], SOA tabanlı ve ara yazılım tabanlı [8] mimari modellerdir. Önerilen bu mimari modellerin IoT yapısını desteklemesinin yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; veri algılama, analiz ve iletim konusundaki eksikliklerdir. Bu konuda teorik anlamda bilgiler verilmiş olmasına rağmen herhangi bir benzetim yapılmamış olması başarı oranlarının düşük olmasına nedendir. Bu mimari modeller ve diğer önerilmiş mimari yapılar bu bölümde detaylı bir biçimde açıklanmış ve önerilen mimari model ile kıyaslamaları 4. Bölümde verilmiştir.

IoT ağ bütünü kurulurken öncelikle sisteme dahil edilecek ve gelecekte de eklenebilecek olan nesnelere değerlendirmek gerekir. Aksi takdirde büyük bir ağın oluşturulmasında meydana gelebilecek problemlerin temeli daha ilk adımda atılmış olacaktır. Bu nedenle IoT ile birlikte gündeme gelebilecek olan veri iletimi, bant genişliği, spektrum yetersizliği, büyük veri kümeleri, veri madenciliği gibi alanların da düşünülmesi gerekir. Günümüze dek sistemleşmiş bir mimari yapının olmamasının en büyük nedenlerinden biri de budur. Ayrıca IoT yapısının tam anlaşılmasını da literatürde karşımıza çok sayıda önerilmiş mimari modelin çıkmasından görülebilmektedir. Görünüşte farklılıkları var gibi görünen ancak temelinde birbirine benzeyen bu mimari modeller IoT yapısının anlaşılmasını sağlamak konusunda eksik kalmışlardır.

Tasarlanacak olan bir IoT mimari modelinin öncelikle belirli kriterleri ve ihtiyaçları karşılayabiliyor olması gerekir. Ancak önerilmiş mimari modellerde bu durum çok fazla değerlendirilmemiş, daha çok var olan teknolojilerin belirli bir kurala göre birleştirmeyi hedeflemişlerdir. Ancak sadece var olan teknolojileri adresleyerek ve birbirine bağlayarak kurulacak olan sistemin sağlıklı bir sistem olması mümkün değildir. Milyarlarca aygıtın böylesi bir durumla birbirine bağlandığı düşünüldüğünde çok yüksek maliyetli olacağı ve

maddi yükünün büyük zararlara yol açabileceği de görülmektedir. Günümüzde teknolojik gelişmeler ile birlikte büyüyen internet ağ ortamı, karmaşık sistemlerin çoğalması ve kullanıcılara hizmet sunmasında çeşitli aksaklıklar yaşanmaktadır. Ancak yeni ve daha karmaşık, daha büyük bir sistemin kurulması problemlerin de büyümesi anlamına gelmektedir.

Var olan mimari modellerin literatürde servis kalite kriterlerinin sağlanması konusunda herhangi bir benzetim veya bitirilmiş büyük ölçekli bir proje bulunmadığından, servis kalite kriterlerinin sağlanması konusunda teorik bilgiler sunulmuştur. Bunun yanı sıra, mimari model havuzunda bulunan modellerin eksik ve ortak olan bir diğer yönleri ise verilerin algılanıp iletilmesi konusundadır. Verilerin algılanması, işlenmesi ve iletilmesi IoT ağı için çok büyük bir problem teşkil edeceğinden tüm değişkenlerin değerlendirilmesi ve optimize edilmesi gerekir. Ayrıca bu aşamalarda meydana gelebilecek problemlerin de düşünülerek hareket edilmesi gerekmektedir. Bu anlamda önerilen mimari model sadece genişletilmiş bir ağ yapısını değil, bu ağda meydana gelebilecek olası tüm problemler düşünülerek ve çözümler geliştirilerek önerilmiştir. Servis kalite kriterlerinin sağlanması ve bu kriterlerin hangi koşullarda sağlandığının gösterilmesi, önerilen mimari modelin kriterler bazında ve performans bazında değerlendirmeleri yapılarak literatüre nasıl bir katkı sağladığı konusunda detaylı bilgiler verilmesi sistemleştirilmiş bir IoT mimari modelinin oluşturulması amaç edinilmiştir.

Farklı platform ve teknolojilerin bir arada bulunmasıyla kurulacak olan yeni yapıda disiplinler arası değerlendirmelerin yapılması gerekir. Bu nedenledir ki, literatürde çok sayıda özel amaçlı IoT mimari modeller de bulunmaktadır. Zira sistematikleştirilmiş bir yapı kurulduğu an itibariyle uygulama ve projeler bazındaki üretim hızlarında artış ve sistemleşmiş yapıda gelişme ve geliştirmelerden söz edilebilir.

IoT'nin kavramsal, yapısal ve mimari anlamda anlaşılmasını sağlamak, ortak bir IoT mimari modelinin oluşturulmasına yardımcı olmak ve mimari yapısının referanslaştırılarak somut IoT uygulama ve sistemlerinin tasarlanması konusunda yardımcı olmak, ihtiyacı karşılamada yetersiz kalan geleneksel ağ mimarisinde ele alınması gereken problemlerin de üstesinde gelebilmek amacıyla katmanlı bir mimari model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen mimari modelin diğer mimari modeller ile karşılaştırılması, benzetim sonuçları ve IoT servis kalite kriterlerinin sağlanması konusundaki sonuçlar 2. Bölümde anlatılmıştır.

1.2. IoT Nedir?

IoT günlük yaşamda kullanılan hemen tüm adreslenebilir nesnelerin önceden belirlenmiş kriterler ve kurallar çerçevesinde veri toplama, işleme, analiz, görüntüleme ve depolama gibi işlemlerin yapıldıktan sonra farklı nesnelere ile paylaşılmasına imkân vermektedir. IoT yapısının karmaşıklığı ve sistem bütünü düşünüldüğünde farklı platformlar, farklı yapıdaki nesnelere, sürekli veri paylaşımı gibi değişkenlerin tüm yönleriyle ele alınması gerekir. Çünkü IoT olgusunda farklı yapı ve platformların ortak bir ağda koordineli, güvenli ve süreklilik arz eden bir durumda olması gerekmektedir.

ZigBee, Bluetooth, NFC, RFID, 6LoWPAN, 6TISCH, WiFi gibi çok farklı teknolojiler ve platformlardan meydana gelmektedir [9]. Bu yapılar ile bir bütün oluşturmuş olan IoT'nin günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmesinin en büyük nedeni ise ciddi bir ihtiyaç olması. Akıllı evler, akıllı şehirler, sağlık, savunma sanayii, endüstri, eğitim ve daha çok sayıda alanda ciddi bir ihtiyacın olması hasebiyle araştırma ve literatür konusu olmaktan öteye gitmiş ve bir yaşamı kolaylaştırma ve yönlendirme aracı haline gelmiştir. Hemen her alanda bulunan bilişim teknolojileri ürünlerinin / nesnelere bir ağ ortamına her birine farklı bir IP numarası verilerek bağlanması ve hizmet vermesi var olan sistem işleyişinin çok daha aktif hale getirilmesini sağlamış olur ve günlük yaşantılarımızı ve işlerimizi işlevsellik ve dinamiklik açısından apayrı bir noktaya taşıyacaktır.

Sensör teknolojisindeki gelişmeler ve iletişim araçlarının gelişmesi ile birlikte gelişim ivmesini hızla arttıran IoT, çok farklı yapıda ve çok sayıda nesnenin IP üzerinden iletişime geçmesiyle meydana aşırı miktarda büyük veri toplanmış olacak ve böylece büyük veri (Big Data) kavramını da beraberinde getirmiş olacak. Sadece yazılımsal ve donanımsal olmaktan öte bir yatırım ve Ar-Ge konusu olan IoT yatırımları için şimdiden gelişmiş ülkeler çok büyük maliyetler harcamaya başlamışlardır. Ayrıca IoT ile toplanan büyük veri kümelerinin içindeki anlamsız veri topluluğundan ilişkilendirilmiş anlamlı veriler çıkarılarak analizler yapılır ve bu verilerin kullanılması hemen bütün sektörler için büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü işlenmiş ve ilişkilendirilmiş bu yeni veriler geri besleme anlamında olduğu gibi yeni ufukların açılması veya bu verinin reel kazançlar kazanmasını sağlayacağı bir gerçektir. Güvenlik, güvenilirlik, performans, kalite ve içinde bulunulan sistem veya firmayı anlamak adına çok önemlidir ve işlenmiş büyük veri kümeleriyle bu kriterleri sağlamak mümkün olacaktır. Ayrıca süreç yönetimleri, hızlı kararlar alabilme, etkili ve kaliteli üretim, piyasada rekabet gibi önemli faydalar yine IoT sayesinde kazanılabilir.

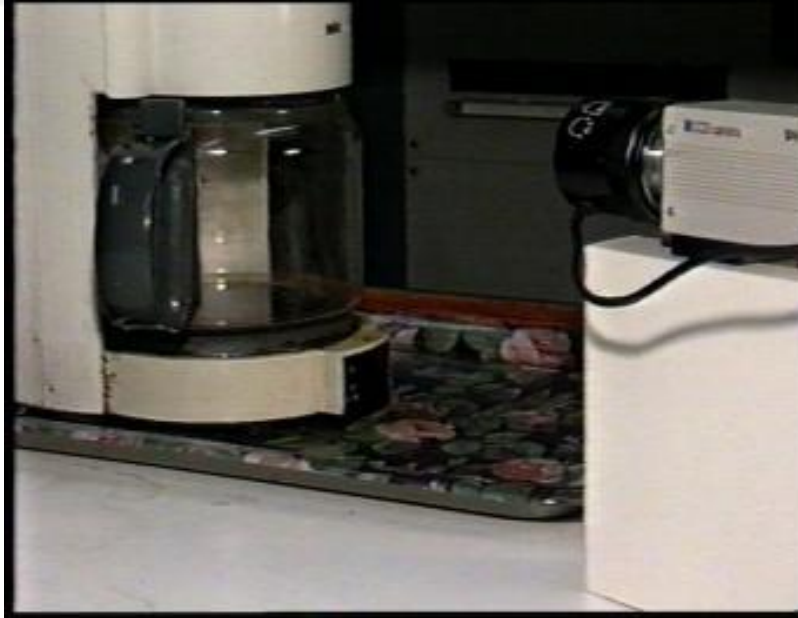
Bir kahve makinesiyle başlayıp bağı nesnelere kavramını gündeme getiren ve büyük veri kümelerinin oluşmasını sağlayan IoT giderek gelişmekte ve daha karmaşık bir yapı halini almaktadır. Sayısız bilgisayar ve mobil cihazların / nesnelere internet ortamını kullanarak birbirine bağlandığı, bilgi paylaşımında bulunduğu ve etkileşim içerisinde olduğu sistem bütünü, teknolojinin de gelişmesiyle akıllı arabalar, akıllı evler, akıllı şehirler ve daha birçok kavramı beraberinde getirmiştir. Tüm bu nesnelere farklı birer IP ile adreslenip birbirine bağlanmasıyla oluşan karmaşık nesnelere bütünü insanlığın gelecekteki yaşama biçimlerinden birisi olacaktır. Nesnelere interneti ile birlikte gelişen bir diğere kavram ise Endüstri 4.0'dır. Özellikle son yıllarda çok büyük gelişmeler kaydeden endüstri alanı IoT'yi bir anahtar olarak görmekte ve Endüstri 4.0'ın başlangıç noktası ya da miladı olarak kabul edilmektedir [10].

Çok fazla sayıda nesnenin bir araya getirilerek oluşturulan geniş ölçekli bir ağ içerisinde ileriye yönelik optimizasyon, iyileştirme ve yeni teknolojilere açık olabilme durumlarının değerlendirilmesi gerekir. Bu noktada IoT, sayısız nesneyi bünyesinde barındırmakla kalmayıp, tüm bu aygıtların bağlantı, veri iletimi ve performans konularında da avantajlar sağlar. Dünya genelinde verilerin paylaşılması ve dünyanın herhangi bir noktasından başka bir noktada bulunan bir nesnenin ağ üzerinden kontrol edilebilmesiyle insanlar için yaşam refah düzeyini çok ileri bir seviyeye taşıyabilen bir olgudur.

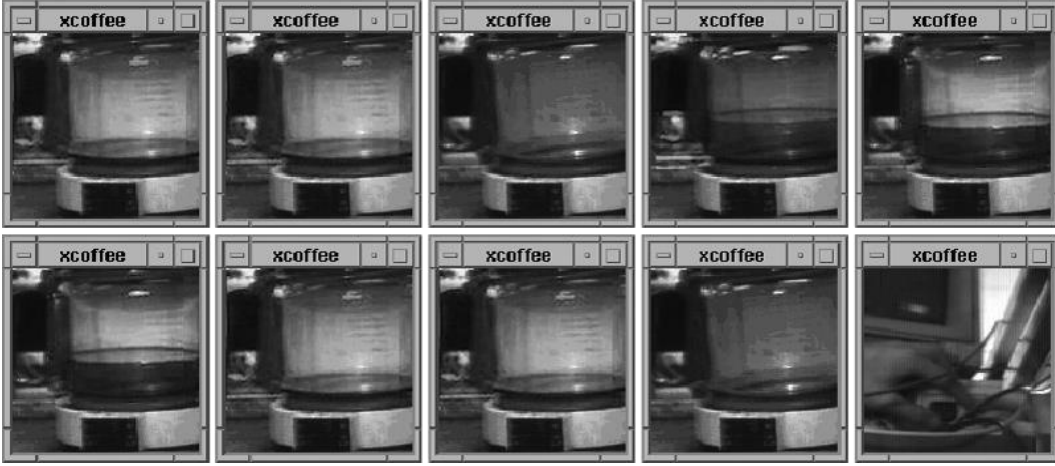
Sonuç olarak, literatürde IoT için söylenmiş çok sayıda tanım bulunmaktadır. Örneğin; A. Al-Fuqaha ve diğerelelerinin "IoT fiziksel nesnelere görmesini, algılamasını, düşünmesini ve karar vermesini, veri paylaşımını, birbirleri ile iletişim içinde olmasını denetleyen veya düzenleyen sistemler bütünüdür." şeklinde bir tanım olmuştur [11]. Yine Uluslararası İletişim Birliği (International Telecommunication Union - ITU)'nin "Herhangi bir zamanda herhangi bir yerde her nesnenin/cihazın birbirine bağlanabileceği bir teknolojidir." şeklinde bir tanım da bulunmaktadır [5]. Ancak daha geniş kapsamlı ve farklı nesnelere de göz önüne alındığında bizim tanımımız şu şekildedir; nesnelere (akıllı mobil cihazlar, televizyonlar, arabalar, vb...) adreslendirilip, her an ve her yerde kullanılabilmesine olanak tanıyan küresel ölçekteki sistemler bütünüdür [12].

1.3. IoT'nin Tarihçesi

1980'li yılların son çeyreğinde internet kısıtlı bir oranda hayata girmiş ve internete bağlı cihaz sayısında artışlar olmuştur. İlk dönemlerinde sadece kısıtlı veri paketlerinin paylaşımı için kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında 1990'lı yılların başlarında Quentin Stafford-Fraser, Paul Jardetzky ve arkadaşlarının çalıştığı Cambridge Üniversitesi bünyesinde bulunan Trojan Room isimli yazılım geliştirme biriminde, buldukları kattan farklı bir katta olan kahve makinesindeki kahvenin bittiğini ancak makinenin bulunduğu kata çıktıklarında görebiliyorlardı ve haliyle boşuna zaman kaybetmiş üstelik yorulmuş oluyordular. Bu nedenle Fraser, Jardetzky ve arkadaşları birimde bulunan kahve makinesindeki kahvenin miktarını gözlemlemek ve bunu ortak bir ağa aktarmak için kahve makinesine (Şekil.1.3.1) bir kamera bağladılar ve belirli aralıklarla (30 saniyede bir resim) resimlerini çekerek (Şekil.1.2) ağ ortamına attılar ve böylece kahve makinesine gitmeden hemen önce makinedeki kahve miktarını görebiliyorlardı. Geliştirilen bu sistem ilk nesnelerin interneti uygulaması olarak kabul edilir [2].



Şekil 1.3.1. Trojan Room kahve makinesi ve görüntüsünün alınması [13]



Şekil 1.3.2. Kahve makinesinin belirli zaman aralıklarında alınan görüntüleri [13]

Sonrasında her nesnenin farklı bir IP numarası ile numaralandırılıp internet ortamında aktif olarak kullanılabilmesi fikri doğmuş ve hemen sonrasında internet üzerinden açılıp kapatılabilen bir tost makinesi John Romkey tarafından icat edilmiştir [14]. Uygulama olarak günlük hayatta yerini çok küçük bir ölçekte almış olan IoT kavramsal olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından Procter & Gamble isimli bir firma için hazırladığı sunumda kullanıldı. IoT’de nesne kavramı internet ortamına bağlanabilen ve veri gönderebilen/alabilen her türlü cihaz / aygıt olarak tanımlanır [12].

Sonraki yıllarda artan bir ivme ile gelişen ve büyük bir araştırma ve yatırım alanı haline gelen IoT hem akademik anlamda hem de pazar anlamında büyük bir yatırım alanına dönüşmüştür. Gelişmiş ülkeler eğitim, sağlık, teknoloji ve savunma sanayii gibi önemli alanlarda IoT’yi uygulamak ve yüksek bir verim elde edebilmek için çok büyük yatırımlar yapmakta ve bu konuda ciddi Ar-Ge çalışmaları yürütmektedirler. Özellikle son dönemlerde Avrupa Birliği’nin desteklediği ve proje aşamasında olan IoT-A gibi büyük ölçekli çalışmalar bulunmaktadır [15].

Gelişen teknolojik altyapıyla birlikte akıllı cihazlar, cep telefonları ve internet ortamına bağlanabilen çok sayıda farklı cihazlar / nesnelere üretilmiş ve üretilmeye de devam etmektedir. Bilişim teknolojileri pazar piyasasında büyük paylara sahip olan Intel, IBM, Cisco gibi firmalar da IoT kapsamında çeşitli ürünler geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedirler [16].

1.4. Mevcut Mimari Modeller

Bütün disiplinlerde olduğu gibi bilişim alanında da bir proje üretileceği zaman ilk olarak belirli bir yol haritası oluşturulur ve bu yol haritasına bağlı olarak istekler ve talepler belirlenerek çalışmaya başlanır. Bilişim teknolojilerinde de bu durum benzerlik göstermektedir. Örneğin yerel bir ağ ortamı oluşturulacak ise öncelikle hangi amaçla oluşturulacağı, talepler ve beklentilerin neler olacağı belirlenir ve buna göre bir çizelge çıkartılır. Bilişim teknolojileri alanında yol haritası ve kurallar bütünü olarak ta söylenebilen yapı ya da yol haritası referans modeldir. Bu nedenle, IoT’de bir uygulama ya da bir proje geliştirileceği zaman belirli bir mimari modelin referans alınarak yapılması hem yapılacak işlem adımlarının hızlı yapılmasını hem de sistemden alınacak verimin artırılmasını sağlayacaktır.

Çok sayıda internete bağlı nesne ile birlikte IoT ağının daha da geniş bir hal almasıyla günümüzde kullanılan protokoller ve mimari yapılar yetersiz kalmakta ve ihtiyaçları karşılamakta güçlük çekecektir. Bu nedenle, çok sayıda nesnenin bağlı olduğu bir IoT ağında büyük miktarda veri üretilecek olması ve merkezi olmayan heterojen bir yapının olmasından dolayı çeşitli terminolojilere sahip çok sayıda mimari model önerilmiştir. IoT için literatürde çok sayıda önerilen mimari model bulunması referans bir mimari modelin olmamasından kaynaklanmaktadır.

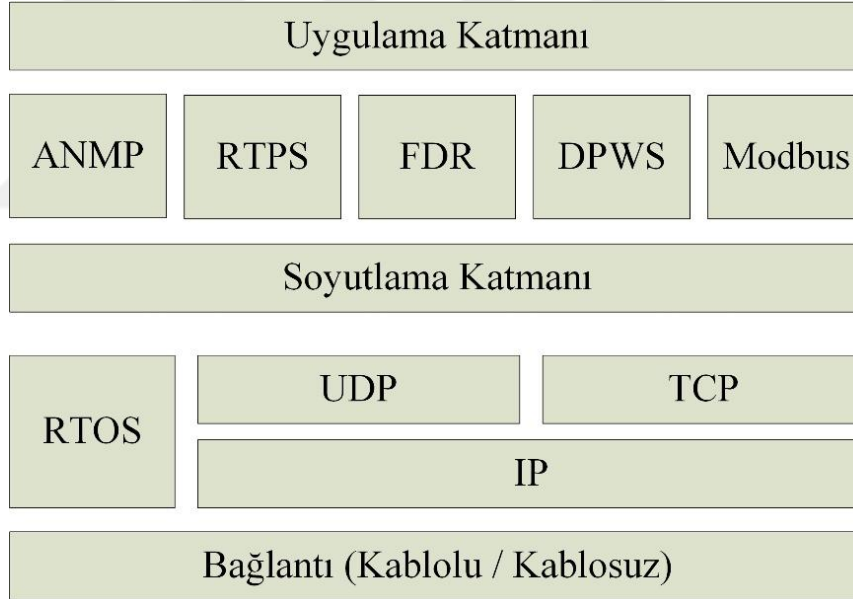
IoT için önerilmiş mimari model havuzuna bakıldığında, genel ve özel amaçlı tüm mimari modeller temelinde önerilmiş iki mimariye dayanmaktadır. Bunlardan birincisi James ve Smit [6] tarafından önerilen üç katmanlı model, diğeri ise ITU tarafından önce 2000 yılında İletişim Yönetim Ağları (Telecommunications Management Networks - TMN) için önerilen (ITU-T M.3010) ardından 2012 yılında güncelleştirilerek yeniden önerdiği (ITU-T Y.2060) beş katmanlı mimari modeldir. Mimari model havuzu incelenirken öncelikle bu iki modelin iyice analiz edilip anlaşılması gerekir. Zira diğer mimari modellerin temelini teşkil eden bu mimari yapılar standartlaştırılmamış olsalar da günümüzde temel kabul edilen mimari modellerdir.

Önerilen mimari model havuzundaki yapıların bazıları özel, bazıları ise genel amaçlı olarak önerilmişlerdir. Bu bölümde önerilen mimari modellerin bir literatür taraması yapılmış olup önerilen mimari modellerin özellikleri, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

1.4.1. Genel Amaçlı Mimari Modeller

1.4.1.1. James-Smit Genel Amaçlı Mimari Modeli

James ve Smit [6] tarafından 2005 yılında esasen nesnelerin interneti için olmasa da Gerçek Zamanlı Gömülü Ağ Uygulamaları (Real – Time Embedded Networked Applicatons) için bir servis altyapısını oluşturmak ve gelecekteki gömülü sistem ve aygıtların daha verimli bağlanıp kullanılabilmesi amacıyla tasarlanan, özellikle endüstriyel otomasyon sektörü düşünülerek, hizmet odaklı ve üst düzey protokollere dayalı akıllı nesne / cihaz ağı için tasarlanmış üç katmanlı bir mimari modeldir. Bu model, servis odaklı mimari (Service Oriented Architecture - SOA) yapısının üzerine kurulmuş olup temelinde web servislerini ve buna bağlı protokolleri barındırır.



Şekil 1.4.1. James ve Smit'in önerdiği mimari modelin yapısı [6]

Şekil 1.4.1'de gösterilen James ve Smit'in önerdiği bu modelin katmanları sırasıyla; bağlantı, soyutlama ve uygulama katmanlarıdır. Ancak daha sonra önerilen mimari modellerde bu modelin SOA temelli olması hasebiyle IoT'nin kabul gören temel mimari yapısının da üç katmanlı olması kabul edilmiş ve bunlar sırasıyla; Algılama, ağ ve uygulama katmanları olmuştur [17], [7].

Sürekli gelişen teknoloji ve IoT çalışmalarının da belirli bir ivme kazanmasıyla Zhihong Yang ve diğerleri [19] James ve Smit modelini referans alarak bu mimari modelin IoT yapısının standartlaştırılması amacıyla, algılama, ağ ve uygulama katmanlarından oluşan 3 katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Bu mimari model sonraki yıllarda önerilen çok sayıda mimari modelin de temelini teşkil etmiş ancak IoT olgusunu açıklamada yetersiz kaldığından, IoT sisteminin gelişmiş bir sensör teknolojisi olarak algılanmasına neden olmuştur. Aksine IoT, sadece sensörleri değil adreslenebilen ve ağ ortamında kullanılabilen tüm nesnelere bünyesinde barındırır ve bu sayede küresel ölçekli bir ağ halini almayı hedefler. Aksi takdirde küçük ölçekli ve özel amaçlı birtakım duyargaların kullanıldığı bir sistem olmaktan çıkıp bir uygulama halini alacaktır ki bu da IoT tanımına ve küresel ağ düşüncesine aykırıdır.

Bu mimari modelde, RFID, WSN gibi algılama teknolojilerini kullanarak nesnelere algılanması ve çevresel verilerin toplanmasını algılama katmanı sağlar. Alınan bu verilerin IP adreslerinin verilip UDP ve TCP kurallarına bağlı kalınarak uygulama katmanına iletilip kullanıcılara hizmet sunabilmesini ağ katmanı, gelen verilerin analizlerinin yapılarak son kullanıcılara anlamlı sonuçları olan verileri görüntülemeyi de uygulama katmanı sağlar. James-Smit modeli esasen servis odaklı ve özel amaçlı olduğundan soyutlama katmanı bulunmakta ve bu katman Yang ve diğerlerinin önermiş olduğu mimari modelde ağ katmanına tekabül etmektedir. Ağ katmanında ise veriler günümüzde kullanılan klasik kablolu ve kablosuz ağlar aracılığıyla uygulama katmanına gönderilir. Önerilen bu mimari model, IoT yapısının anlaşılması için referans kabul edilen mimari modellerden sayılmakta olup IoT'nin anlaşılması için de katkıda bulunmuştur. Ancak, bu düşünceleri temel alan mimari modeller IoT yapısının sensör tabanlı olduğu düşüncesini doğurmuş ve diğer nesnelere / cihazları dahil etme konusunda kısıtlı kalmışlardır.

Günümüzde temel olabilecek mimari modellerin arasında sayılmasının nedeni, IoT yapısında bulunan ve olması gereken kriterlerden bazılarını taşıyor olmasıdır. Çünkü SOA, otonom ve birlikte çalışabilirlik ilkesine dayalı bir dizi mimari ilkedir oluşmaktadır. SOA için bu tanım kısıtlı ve eksik kalmaktadır ancak burada IoT için önemli olan iki kelime bulunmaktadır; otonom ve birlikte çalışabilirlik. Ayrıca IoT'de önemli bir yeri olan yönetilebilirlik kavramı da yine bu modelde ele alınan kriterlerden birisidir. Sonraki yıllarda önerilen mimari modellerin bazıları bu mimari modeli temel alarak önerilmişlerdir.

1.4.1.2. ITU Genel Amaçlı Mimari Modelleri

1.4.1.2.1. ITU-T M.3010

ITU tarafından 2000 yılında TMN için önerdiği mimari model [20] beş katmanlı olup ITU'nun 2012 yılında yeni bir mimari model önermesine kadar önerilen mimari modellerin çoğu bu modeli esas alır. Bu mimari model dört katmandan oluşmakta ve bu katmanlar sırasıyla; öge yönetim katmanı, ağ yönetim katmanı, servis yönetim katmanı, iş yönetimi katmanıdır. Ağ elemanlarının kolektif olarak kontrol ve koordine edilmesini ve kontrol kapsamındaki unsurlar / elemanlarla ilgili istatistiksel, log ve diğer verileri tutan öge yönetim katmanıdır. Ağ yönetim katmanı, ağın yönetiminde öge yönetim katmanı tarafından desteklendiği sorumlulukları taşıyan katmandır. Bunlar; tüm ağın görünürlüğü, servis yönetim katmanına platform bağımsız bir görünüm sağlamak, tüm ağ elemanlarının ağ görünümü, kontrol ve koordinasyonu, ağ hizmetlerinin durdurulması ve değiştirilmesi, ağ ile ilgili istatistiksel, günlük ve diğer verilerin korunması, performans, kullanılabilirlik, kullanım ve bakım ayrıca servis yöneticisi katmanı ile etkileşim kuran katmandır. Servis yönetim katmanı, istemciye sağlanan veya farklı yeni istemcilere sağlanacak olan servislerin protokollere dayalı tutulduğu katmandır.

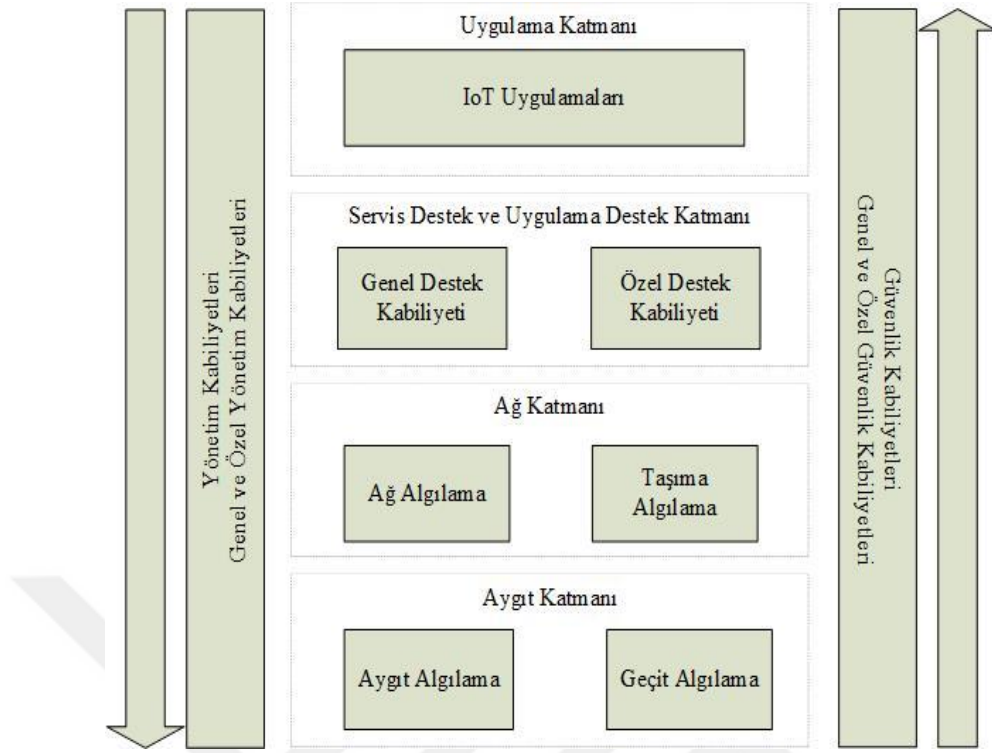
Servis sağlayıcılarla etkileşim, istatistiksel verilerin (örneğin; servis kalitesi – Quality of Services - QoS) korunması ve servisler arası etkileşimden sorumlu olan ve bunları denetleyen katmandır. İş yönetimi katmanı, genel işleyiş ve sistem bütününden sorumlu olan, işlevsel, diğer katmanlardaki bilgi ve verilere erişebilen, karar verme sürecini etkileyen ve sistem bütünlüğünü koordine ederek verileri muhafaza eden katmandır. Günümüz IoT mimarilerinde uygulama katmanı ile eşdeğer düşünülebilir.

2012 yılında ITU daha önce önerilmiş olan bu mimari modelin IoT yapısının anlaşılabilmesi, sistem bütünlüğünün korunabilmesi ve güvenilirlik ilkelerinin korunabilmesi konularında yetersiz kaldığını gözlemlemiş ve IoT için daha gelişmiş (TMN mimarisinin güncellenmiş ve geliştirilmiş hali) bir mimari model önerisinde bulunmuştur. Önerilen bu mimari model daha kapsamlı ve IoT servis kalite kriterlerini sağlama konusunda teorik olarak daha fazla bilgiler sunmaktadır. Ancak diğer önerilmiş tüm mimari modeller gibi ITU mimari modellerinin de herhangi bir benzetimi ya da tamamlanmış projesi bulunmamaktadır.

1.4.1.2.2. ITU-T Y.2060

IoT mimari yapısı üzerine uzun süreler çalışmalarını sürdüren ITU, şimdiye kadarki en büyük ve kapsamlı mühendislik ürünü olan iletişim ağının ve gündelik yaşamların bilişim teknolojilerine olan ihtiyaçlarının da düşünülerek ortak bir zemine oturtulabilmesi ve modern dünyanın dijitalize edilebilmesi için çalışmalarını uzun zamandır sürdürmektedir. Bununla birlikte küresel kablosuz teknolojileri ve uydu yörüngelerini tahsis eden ITU, şebeke ve teknolojilerin kesintisiz bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlayan standartlar geliştiren bir kuruluştur. IoT'nin standart bir mimari yapıya sahip olması için ITU tarafından 2012 yılında beş katmanlı bir mimari model önerilmiştir [5]. Önerilen model aygıt, ağ, servis ve uygulama destek, uygulama ve yönetim katmanlarından oluşmaktadır. Şekil 1.4.2'de gösterilen mimari modelin yönetim katmanı, çapraz katman (cross layer) olarak görev yapar ve bütün katmanları yönetebilme yeteneğine sahiptir.

Aygıt katmanı, nesnelerin algılanması, çevresel verilerin alınmasını sağlayan fiziksel duyarga ve nesnelerin bulunduğu katmandır. Ağ katmanı, algılanan verilerin güvenli bir biçimde bir üst katmana iletilmesinden sorumlu olan katmandır. Servis ve uygulama destek katmanı, ağ katmanından gelen verilerin analizleri yapılarak uygulama katmanına isteğe göre gönderildiği yazılımsal katmandır. Uygulama katmanı, son kullanıcıya verilerin analizler sonucunda monitörize edilerek sunulduğu ve anlamlı sonuçların son kullanıcılar ve nesneler tarafından görülebildiği katmandır. Yönetim katmanı ise, çapraz katman olarak görev alan, bütün katmanları görebilen ve denetleyebilen katmandır. Bu katmanın olması sistem bütünlüğünün incelenmesi ve kontrol edilmesini, güvenlik ve gizlilik ilkelerinin korunmasını sağlar.



Şekil 1.4.2. ITU tarafından 2012 yılında önerilen beş katmanlı mimari model [5]

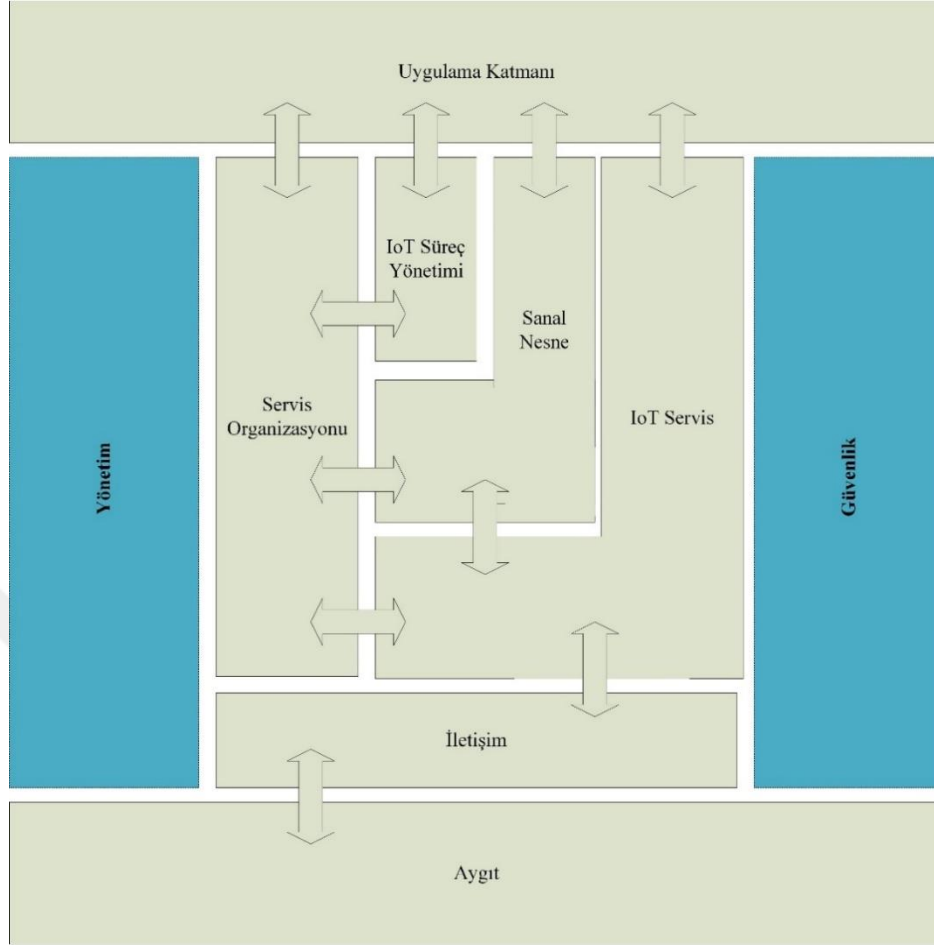
Algılama katmanında fiziksel nesnelere ilişkin veriler RFID, ZigBee gibi algılama teknolojileri kullanılarak yapılır. Farklı nesnelere arasında kablolulara da kablosuz bağlantıları gerçekleştirebilmek için de geçit algılama yapısı bulunmaktadır ve bu yapı bir alt katman görevi görmektedir. Mobil yönetim, kimlik doğrulama, erişim, ulaşım, uygulamaya özel bilgilerin taşınmasını sağlamak ve kaynak kontrolü gibi işlemler de ağ katmanının görevidir. Servis ve uygulama destek katmanında, iki farklı işlev bulunmaktadır. Bunlar genel ve özel destek yetenekleridir. Genel destek yeteneği veri işleme ve depolama görevlerini yürütürken, özel destek yeteneği sayesinde çeşitli özel amaçlı uygulamaların servis ihtiyaçlarını yürütür ve işlem akışını sağlar.

1.4.1.3. Diğer Genel Amaçlı Mimari Modeller

Çok sayıda önerilmiş mimari model olmasına rağmen, IoT yapısının anlaşılması ve mimari modelinin referans bir yapıya kavuşturulması için literatürde bulunan çalışmaların hemen hepsi ITU ve Yang ve diğerlerinin önerdiği mimari modelleri baz aldığından temelde önerilmiş tüm mimari yapılar birbirleri ile benzerlikler göstermekte ve odaklanması gereken asıl problemlere değinmemişlerdir. Bu problemlerden en önemlisi kuşkusuz yüksek veri miktarı ve bu yüksek veri miktarının nasıl iletileceğidir. Ayrıca hangi katmanda, hangi yapının, protokolün ve işlemin nasıl ve hangi koşullar altında gerçekleştiği de belirtilmemiştir.

Sadece teorik olarak önerilen bu modellerden bazıları proje aşamasında olsa da reel sonuçların olmaması referans bir yapının ortaya koyulmasını da güçleştirmiştir. Bu yüzden, katmanlı yapının detaylandırılması, verilerin hangi koşullar altında iletileceği ve diğer servis kalite kriterlerinin sağlanması konusundaki benzetim sonuçları ile birlikte yeni bir mimari model tarafımızdan önerilmiştir.

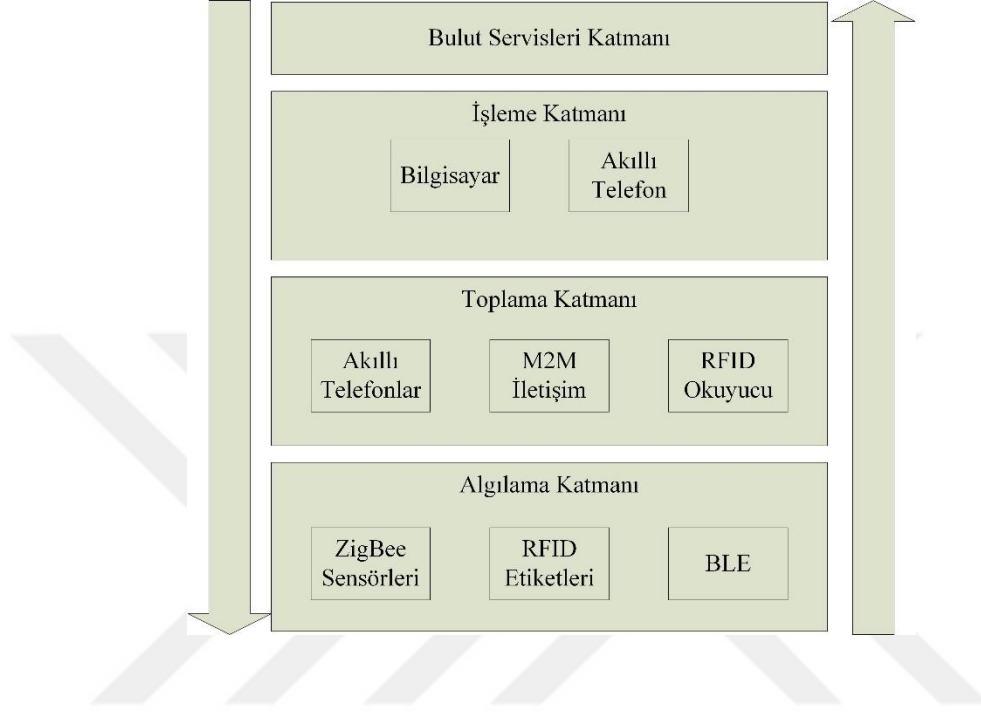
Martin Bauer ve diğerleri [15], [21] IoT-A adı altında AB destekli bir mimari model geliştirmişlerdir. Önerilen mimari model temelinde, aygıt, ağ ve uygulama olmak üzere üç katmana dayanmaktadır. Aygıt katmanında, diğer mimari modellerde de olduğu gibi algılama teknolojilerinin kullanıldığı, verilerin algılanarak dijitalize edildiği ve ağ ortamına iletildiği katmandır. Ağ katmanı, kendi içerisinde çoklu bir yapıya bölünüp IoT servisleri, servis organizasyonu, süreç yönetimi, ağ yönetimi, veri iletişimi, güvenlik ve gizlilik gibi ilkelerin temel alınarak veri işleme ve iletim işlemlerinin gerçekleştiği katmandır. Uygulama katmanı ise parçalara bölünmüş bir alt katmandan gelen verilerin görüntülenmesini ve mantıksal sonuç analizlerinin son kullanıcıların hizmetine sunulmasını sağlayan katmandır.



Şekil 1.4.3. IoT-A mimari modeli [15]

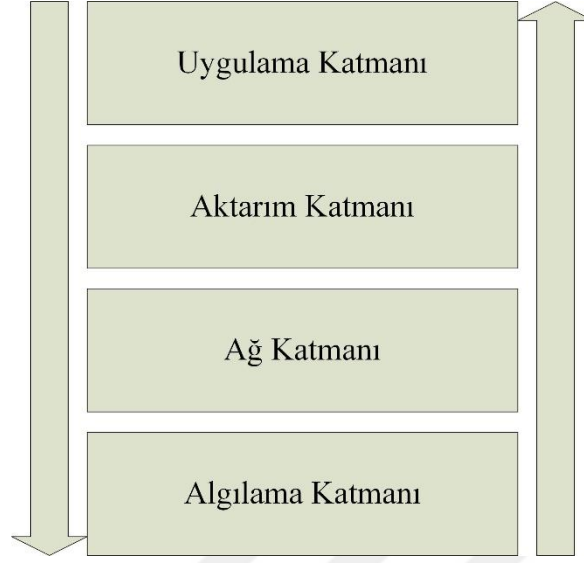
Amr El-Mougy ve diğerleri [22] çok sayıda farklı yapıdaki nesnelerin birbirine kablolu ya da kablosuz ağları kullanarak iletişim kurduğu IoT yapısındaki verimi en üst düzeye çıkartmak, farklı uygulama gereksinimlerini giderebilmek, içerik duyarlı anlamsal bilgi alışverişi gerçekleştirmek, kaynakları hızlı ve kolay kullanmak, QoS kriterlerini sağlayabilmek, heterojen nesneleri iletişim teknolojileri ve ağ mimarileri arasında dinamik olarak kullanmak ve yönetmek için yeni bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Bu mimari model, kaynak yönetimi ve ağ işlevlerinin adaptasyonu için SDN kullanmayı öngörür. SDN, sisteme adaptasyon ve esneklik sağladığından, WSN, mobil ağlar, farklı ağ türleri, ICN için kullanılması, bulut işlevselliği için servis algılama hizmeti (Sensing-as-a-Service - SaaS) sağlayan ve IoT yapısına da uygun olması nedeniyle bu mimari modelin temelini teşkil etmiştir. Önerilen mimari model 4 katmandan oluşmakta ve bunlar sırasıyla; algılama, toplama, işleme ve bulut katmanlarıdır. Algılama katmanı, tüm sensörlerin, RFID ve WSN teknolojilerinin aktif olarak kullanıldığı katmandır. Toplama katmanı, algılama

katmanı tarafından algılanan verilerin toplanmasını sağlayan ve işleme katmanına gönderen katmandır. İşlenen veriler, çok sayıda kullanıcı tarafından kullanılabilen bir ağ yoluyla bulut ortamına yüklenir ve bu 4. katman (bulut katmanı) olarak kullanıcılara hizmet sunar.



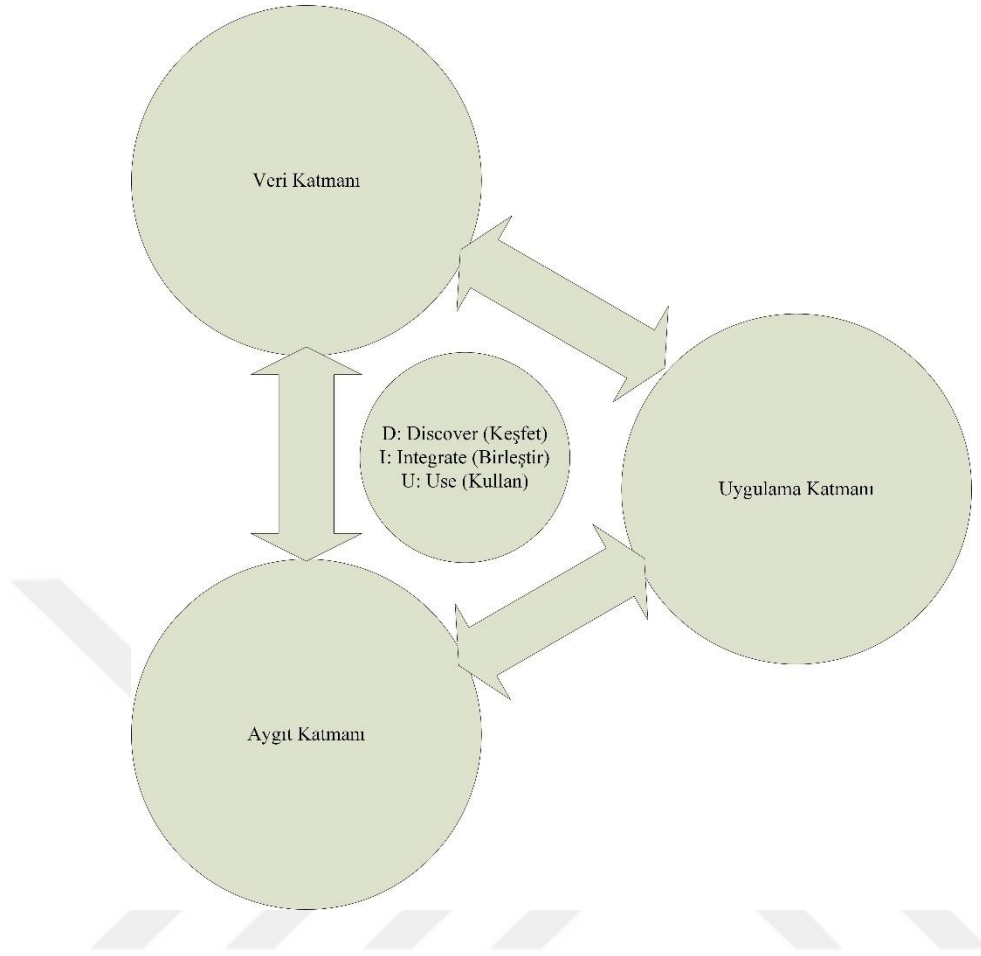
Şekil 1.4.4. Amr El-Mougy ve diğerleri tarafından önerilen model [22]

Z. Bozdoğan [16] 2015 yılında OSI ve TCP / IP modelleri referans alınarak, şekil 1.4.5'te katmanlı yapısı gösterilen, katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuştur. Algılama, ağ, aktarım ve uygulama katmanlarından oluşan mimari model önerilen diğer mimari modeller gibi genel amaçlı olup, veri trafiği, veri iletimi, güvenilirlik, güvenlik / gizlilik, birlikte çalışabilirlik gibi temel kriterlerin sağlanmasına yönelik bir amaç taşımaktadır. Ancak diğer önerilmiş mimari modellerde de olduğu gibi veri işleme ve veri trafiği konusu dikkate alınmamış, TCP/IP modeli baz alınarak tasarlanmıştır. Ancak IoT mimari modeli tasarlanırken dikkate alınması gereken en önemli unsurlardan bir tanesi de verinin değerlendirilmesi ve iletilmesi olayıdır. Bu modelin sadece teorik olarak değerlendirilen ve günümüzde ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kalan TCP modelinin referans alınarak önerilmesi zaten ihtiyaçları karşılayamayan bir teknolojik yapı bütünü daha da genişletilerek büyütülmesi anlamına gelmektedir ki bu da çok daha büyük problemleri beraberinde getirecektir.



Şekil 1.4.5. Z. Bozdoğan tarafından önerilen mimari model [16]

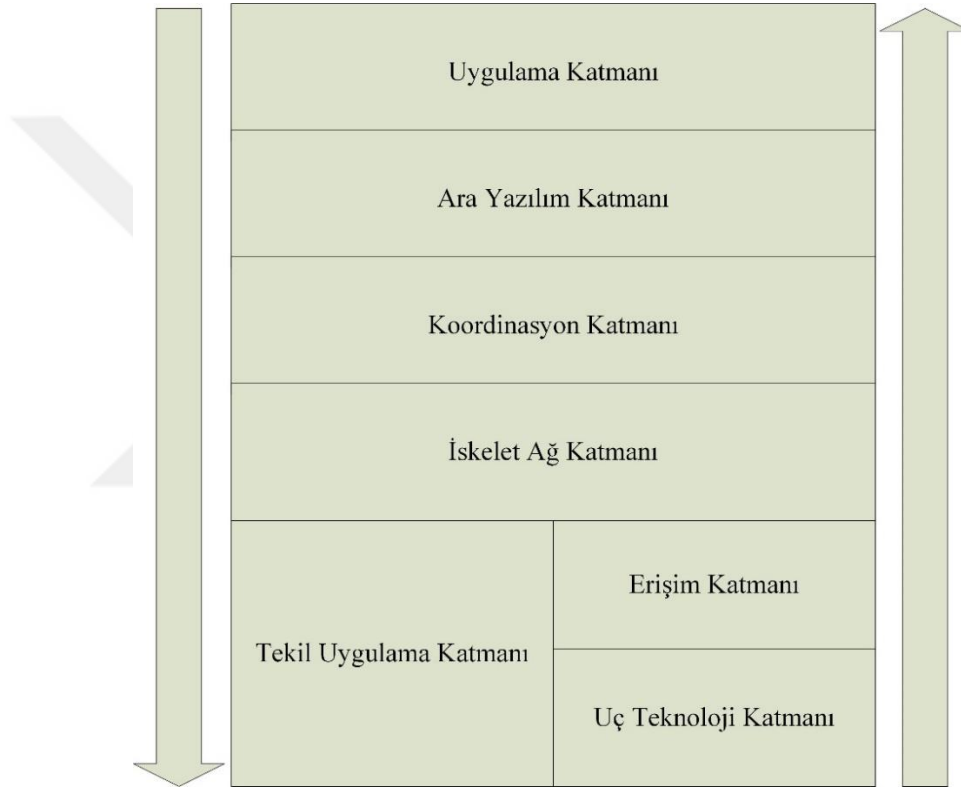
Dimitrios Georgakopoulos ve diğerleri [23] IoT uygulamaları geliştirmek için ihtiyaç duyulan, dinamik, düzenlenebilen, mevcut verileri analiz edebilen, görselleştirme ve uygulama servislerinin yanı sıra nesnelerin entegrasyonu ve bulut depolama gibi teknolojileri temel alan üç katmanlı (aygıt, veri (siber gösterim), uygulama) bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Aygıt katmanı, fiziksel olarak verilerin algılandığı kablosuz algılayıcılar, mobil cihazlar, sosyal medya algılayıcıları gibi sanal aygıtlardan oluşan katmandır. Veri katmanı, sensörlerden gelen verilerin uygulama katmanındaki ihtiyaçlara göre birleştirmeden sorumlu olan katmandır. Depolama ve veri işleme gibi hizmetleri sağlayan bulut bilişim bu katmanda ele alınır. Uygulama katmanı, gelen verilerin analizi, web günlüklerinin analiz edilmesi, süreç akışı gibi işlemlerin yapılabildiği katmandır. Üç katmanlı IoT kuramsal modelinin katmanlı çizimi şekil 1.4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.4.6. IoT kuramsal mimari modeli [23]

Lu Tan ve Neng Wang [24] RFID ve diğer algılama teknolojilerinin gelişmesiyle temel taşları oluşturulan IoT'nin standart / iskelet bir yapıya sahip olabilmesi için 2010 yılında katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Kenar / uç teknolojinin yoğun bir şekilde kullanılacağı IoT yapısının uç teknolojilerin dikkate alınarak standartlaştırılması düşüncesi ilk olarak 2008 yılında Anthony Furness tarafından ortaya atıldı [8]. IoT için önerilen bu mimari modelin büyük bir veri ağında oluşacak veri kümelerini taşıyabilecek bir ağ omurgasının olması gerektiğini düşünerek önerilen bu modeli geliştirerek şekil 1.4.7'de gösterilen, yedi katmanlı yeni bir mimari model geliştirmişlerdir. Önerilen mimari modelde uygulama, ara-yazılım, koordinasyon, iskelet ağ, tekil uygulama sistemi, erişim ve uç teknoloji katmanları bulunmaktadır. Uç teknoloji katmanı, RFID, WSN gibi teknolojileri kullanarak verilerin algılandığı katmandır. Erişim katmanı, uç teknoloji katmanında algılanan ve işlenen verileri iskelet ağ ortamına iletir. Tekil uygulama katmanı ise uygulamalardan gelecek olan işlenmiş verilerin (doğrudan ağa aktarılması gerektiği için)

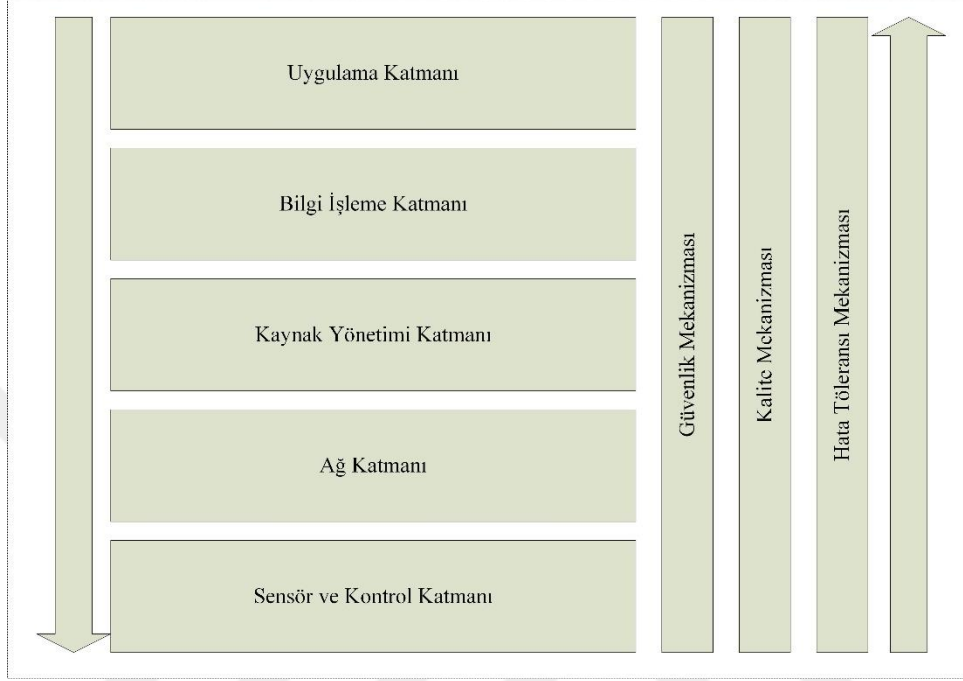
iskelet ağ katmanına iletildiği katmandır. İskelet ağ katmanı, gelişmiş teknolojik altyapı ve protokoller kullanan günümüz internet yapısının daha gelişmiş bir modelidir. Koordinasyon katmanında, gelen verilerin analizleri, güvenlik ve gizlilik ilkelerine bağlı kalınması durumları gerçekleşir. Ara-yazılım katmanı, gelen tüm verilerin verimli, güvenli ve güvenilir bir biçimde uygulama katmanına aktarmayı amaçlayan bir katmandır. Uygulama katmanı ise diğer mimari modellerde olduğu gibi, son kullanıcının verileri alıp görüntüleyebildiği, inceleyebildiği ve çıkarımlarda bulunabildiği uygulamaları barındıran katmandır.



şekil 1.4.7. Yedi katmanlı mimari model [24]

Jian An ve diğerleri [25] IoT yapısının standartlaştırılmasının açık kaynak ya da geliştirilebilir bir modelin önerilmesi ile yapılabileceğini düşünüp, sensör ve kontrol, ağ, kaynak yönetimi, bilgi işleme ve uygulama olmak üzere toplamda beş katmandan oluşan yeni bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Ji An ve diğerlerine göre IoT mimarisi, mevcut ağ uygulamalarını destekleyen, açık protokolleri kullanan, veri entegrasyonunu destekleyen, güvenlik, ölçeklenebilirlik, semantik gibi gösterim katmanlarını içeren açık bir mimari olmalıdır. Önerilen modelde, güvenlik, sistem kalitesinin ölçülmesi ve hata toleransı

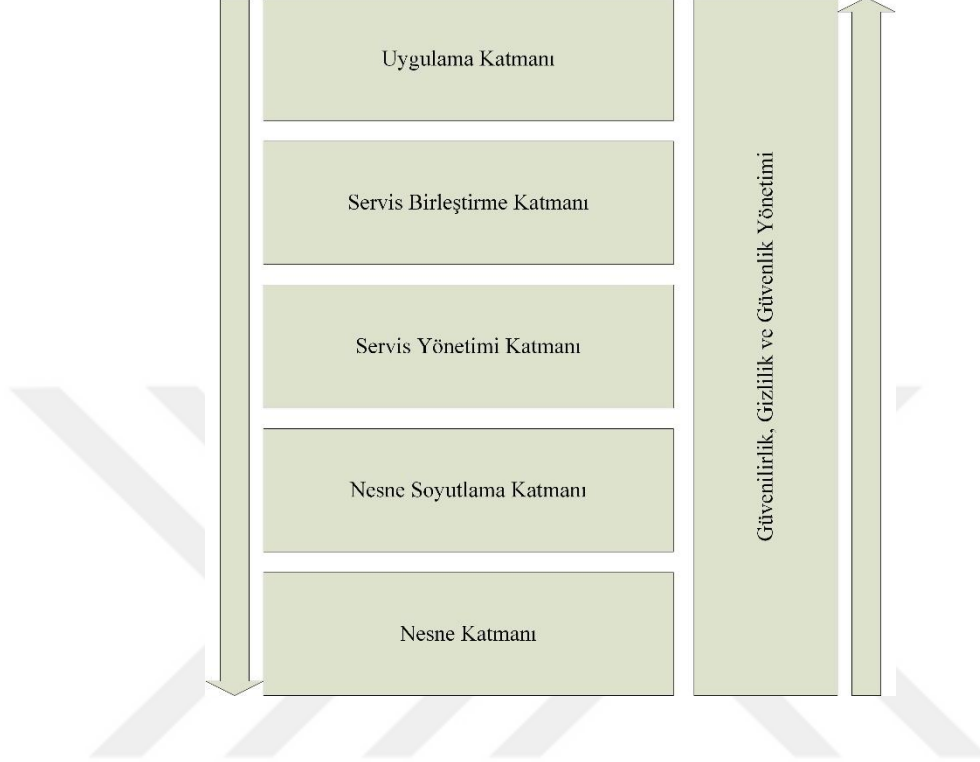
gibi işlemler sistemin her katmanında yapılır. Şekil 1.4.8’de önerilen mimari modelin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.4.8. Jian An ve diğerlerinin önerdiği beş katmanlı mimari model [25]

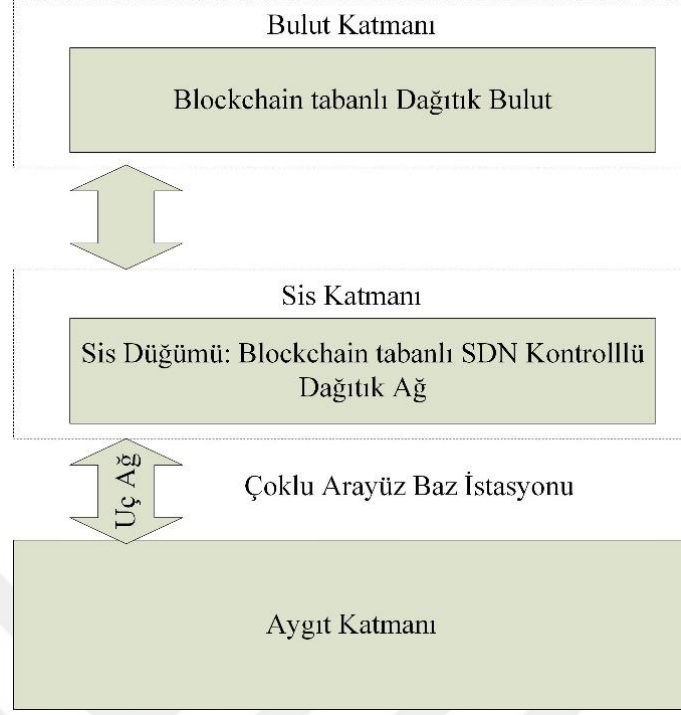
Luigi Atzori ve diğerleri [26], SOA yapısındaki gelişmeler karmaşık ve alt katmanların yönetilebilirliğini sağlamış ve bu nedenle servis tabanlı olan beş katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Nesne, nesne soyutlama, servis yönetimi, servis birleştirme ve uygulama katmanlarından oluşan mimari modelde güvenlik ve gizlilik gibi ilkelerin yönetimi ise her katmanda yapılmaktadır. Nesne katmanında çevresel ve nesnelere gelen veriler algılanır ve bir üst katmana iletilir. Nesne soyutlama katmanı, heterojen sistemin ortak bir dil ve prosedür ile uyumlu hale getirebilen katmandır. Servis yönetimi, kullanıcılara sunulacak hizmetler içerisinde uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için gereken servisleri bünyesinde barındıran, durum izleme ve servis yapılandırması gibi işlemlerin gerçekleştiği katmandır. Servis birleştirme katmanı, SOA tabanlı bir ara katman mimarisi üzerine kurulmuş, belirli uygulamalar oluşturmak için ağa bağlı nesnelere tarafından sunulan tekil servislerin birleştirilmesi için işlevsellik sağlayan ve tüm servis örneklerinin tutulduğu bir havuzun bulunduğu katmandır. Uygulama katmanı ise, servislerin ve diğer tüm hizmetlerin

son kullanıcıya mantıklı sonuçlar ve grafikler halinde görüntülenebildiği ve sunulabildiği katmandır.



Şekil 1.4.9. SOA tabanlı beş katmanlı mimari model [26]

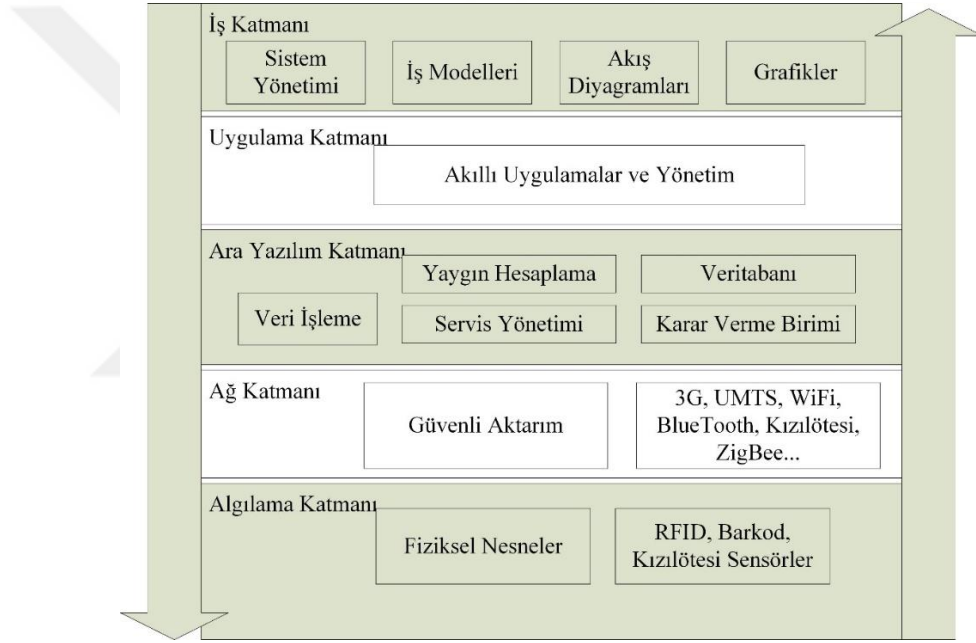
Pradip Kumar Sharma ve diğerleri [27] son zamanlarda IoT'nin gelişmesi ve akıllı nesnelerin ürettiği veri hacminde büyük artışların olması, veri kümelerinin belirlenmiş veri merkezlerine aktarılması ihtiyacının doğması, bulut depolama teknolojisinin gelişmesi, yüksek kullanılabilirlik, gerçek zamanlı veri iletimi, ölçeklenebilirlik, güvenlik, esneklik sağlamak için tasarlanmış internet bağlantılı cihazların artması gibi sorunları çözebilmek için önerilmiş, SDN yapısını kullanan ve denetleyici sis düğümleri olan yeni bir blok zincir tabanlı mimari modeldir. IoT ağ yapısının en uç noktasında bulunan SDN ve blok zincirleme teknikleri güvenli veri iletimi, düşük gecikme hızı ve maliyetin düşürülmesi avantajlarını sağlar. Aygıt, sis ve bulut katmanlarından oluşan mimari modelin detaylı yapısı şekil 1.4.10'da gösterilmiş olup, standart bir IoT mimari yapısını oluşturmak yerine, büyük veri kümelerinin işlendikten sonra ağ ortamına aktarılmasını öngören bir modeldir.



Şekil 1.4.10. Bulut ve sis tabanlı üç katmanlı mimari model [27]

Rafiullah Khan ve diğerleri [7] IoT'yi makineler arası (Machine to Machine - M2M) öğrenmeyi gerçekleştiren gelecekteki internet yapısı olarak değerlendirmişlerdir. Her nesneyi bağlamayı amaç edinen IoT için yeni, katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen model, algılama, ağ, ara yazılım, uygulama ve iş katmanı olmak üzere toplamda beş katmandan oluşur. Aygıt katmanı olarak ta bilinen algılama katmanı, fiziksel nesnelere ve sensörlerden oluşmaktadır. Sensörler nesnelere tanımlama yöntemine bağlı olarak RFID, kızılötesi, 2D-barkod sistemlerini kullanabilirler. Genel olarak nesnelere algılayıcılar tarafından algılandığı, nesne bilgilerinin tanımlama ve toplama katmanıdır. Toplanan veriler güvenli bir şekilde aktarılması amacıyla ağ katmanına iletilir. Ağ katmanı, iletim katmanı olarak ta tanımlanabilen katman 3G, UMTS, WiFi, BlueTooth, kızılötesi, ZigBee gibi teknolojik yapıları kullanarak gelen verileri bilgi işleme sistemine / ara yazılım katmanına aktarır. Ara-yazılım katmanı, uygulama katmanının altında yer alır ve IoT yapısına bağlı farklı nesnelere farklı servis türlerini uygulamasından dolayı bu farklılıkları kaldırmayı amaç edinir. Servis yönetiminden sorumlu olup veri tabanına bağlantı içerir ve ağ katmanından gelen bilgileri saklar, sonuçlara bağlı olarak otomatik kararlar alabilen katmandır. Uygulama katmanı, ara-yazılım katmanında işlenen bilgilere dayalı olarak uygulamanın genel yönetimini sağlayan, akıllı hizmetlerin sunulmasında başvurulan ilk

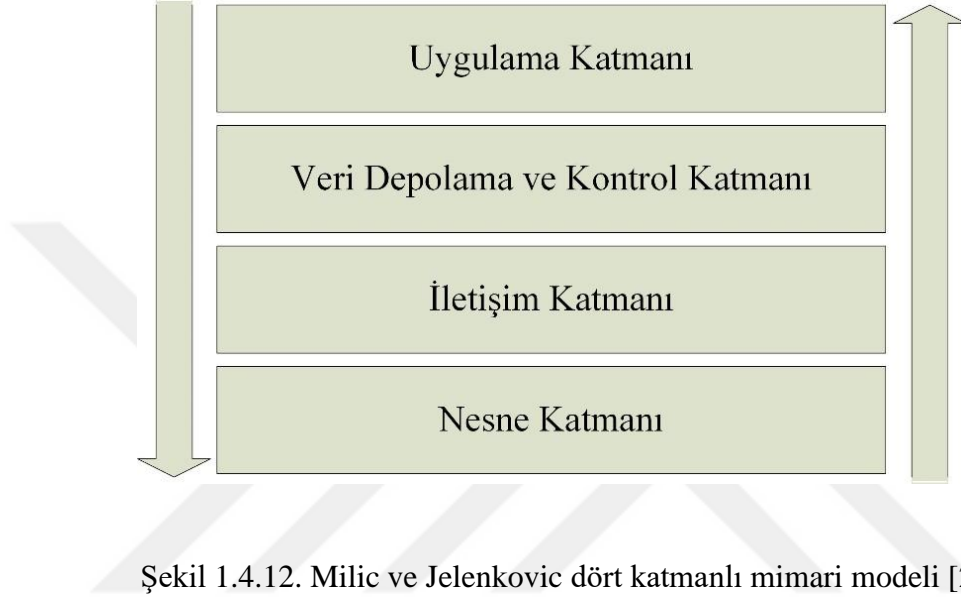
katmandır (akıllı sağlık, akıllı tarım, akıllı ev...vs). İş katmanı ise genel yapıya hâkim olan, uygulamalar ve servisler dahil olmak üzere IoT sistem bütününden sorumlu olan, iş modelleri, grafikler ve akış şemalarını oluşturabilen, sonuçların analizlere dayanarak gelecekteki eylem ve iş planlarını belirlemeye yardımcı olan katmandır. Khan ve diğerleri şekil 1.4.11’de detaylı iç yapısı gösterilen mimari modeli, TCP/IP protokol yığınının kullanımının IoT yapısında yetersiz kalacağı öngörülerek önermişlerdir. Bu nedenle, önerilen yeni mimari model, ölçeklenebilirlik, birlikte çalışabilirlik, güvenilirlik ve diğer QoS kriterleri, nesne – insan, insan – insan, insan – nesne ve nesne – nesne etkileşimi düşünülerek tasarlanmıştır.



Şekil 1.4.11. Khan ve diğerlerinin önerdiği beş katmanlı mimari model [7]

Luka Milic ve Leonardo Jelenkovic [28] klasik ancak uygulama katmanının geliştirilerek ya da eklemeler yapılarak geliştirilebileceği düşünülen dört katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Mimari model; nesne, iletişim, veri depolama / kontrol ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır. Nesne katmanında, veriler sensörler ve diğer cihazlardan alınarak bir üst katmana iletilir. İletişim katmanı, veri depolama ve kontrol katmanı arasında bağlantı görevi gören, ağ geçitlerinin bir üst katmana iletilmesi (TCP/IP veya bazı uygulama protokollerini kullanarak) görevini üstlenen katmandır. Veri depolama ve denetim katmanı, nesnelere, kullanıcılar ve denetlenecek olan veriler hakkındaki bilgileri

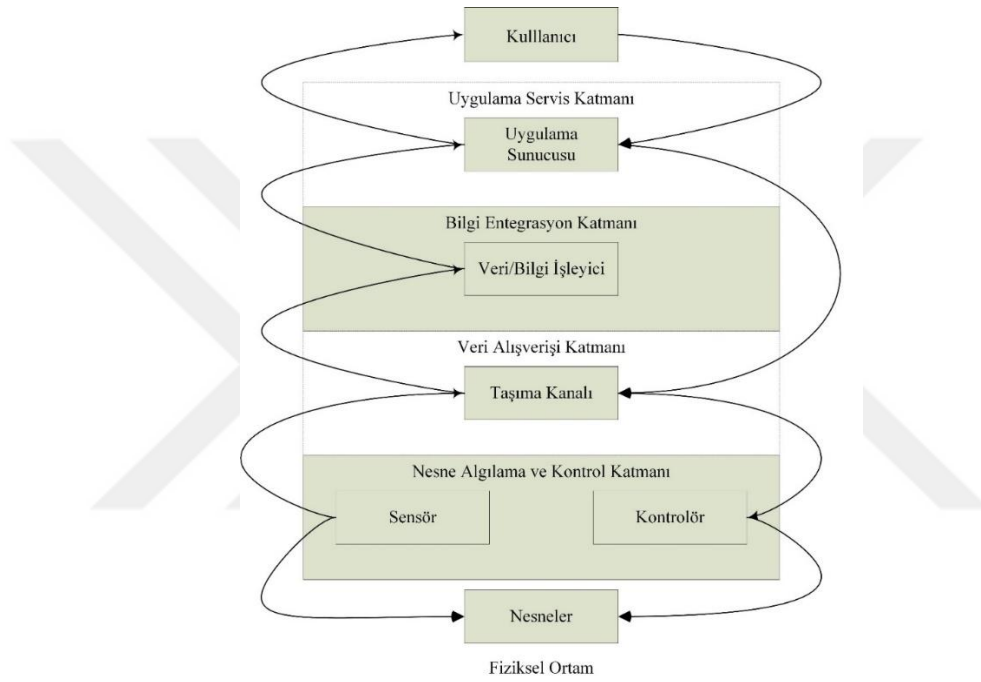
içeren veri tabanlarının bulunduğu katmandır. Alınan verilerin değerlendirilmesi, veri tabanındaki verilerin kombinasyonu ve tetikleyiciler gibi bilgileri içeren yapıdır. Uygulama katmanı, verilere ve işlemlere sahip olan nesnelere, sensör verilerinin, uzaktaki cihazlara komut gönderme gibi son kullanıcılar için çeşitli uygulama ve monitörize edilen verilerin görüldüğü katmandır.



Şekil 1.4.12. Milic ve Jelenkovic dört katmanlı mimari modeli [28]

Huadong Ma ve diğerleri [29] IoT'nin geliştirilmesi için arka planda bulunan ağ problemlerinin çözülmesi için sistemin ağ perspektifinden incelenerek büyük ölçekli heterojen ağ elemanlarını birbirine bağlama ve verimli bir şekilde veri iletimini gerçekleştirmek için dört katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen mimari model, nesne algılama ve kontrol, veri değişimi, bilgi entegrasyon ve uygulama servis katmanlarından oluşmaktadır [30]. Şekil 1.4.13'te gösterilen mimari modelin nesne algılama ve kontrol katmanı, sensör ve kontrolör olmak üzere iki ayrı alt yapıdan oluşmaktadır. Bu katmanda nesnelere ile ilgili veriler sensörler vasıtasıyla algılanır ve bu veriler sayısal verilere dönüştürülerek üst katmanlara iletilir. Sensörler fiziksel durumları elektrik sinyallerine dönüştürürken, kontrolörler üst katmandan aldığı kontrol bilgilerini anlayıp fiziksel nesnelere karşı spesifik fonksiyonel davranışlar sergiler. Ayrıca kontrolörlere gelen cevap sinyalleriyle de çevresel nesnelere cevaplar verilir. Kontrolörler vasıtasıyla nesnelere fiziksel alandaki davranışlarını kontrol ederler. Veri alışverişi katmanı, yapılandırılmış verileri kullanarak nesne algılama ve denetleme katmanı ile etkileşim içerisinde olup verilerin iletiminden sorumlu olan katmandır. Bilgi entegrasyon

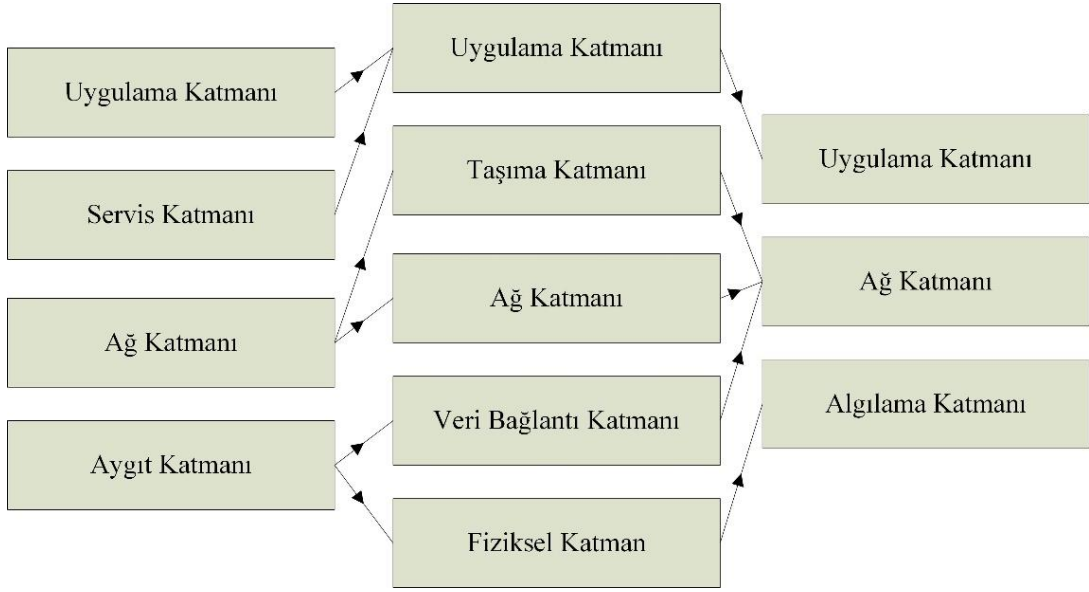
katmanı, uygulama servisleri için alt ağlar ile ilgili verileri korur, algılanan verilerin kimlikleri, işlevsel varlıkları ve depolama kaynakları niteliklerine sahip olan bir katmandır. Bilgi entegrasyon katmanı, yapılandırılmış bilgi, bilgi kimliği, türü, işleme ve depolama özelliklerini barındıran, bilgi işleme kısmının temel işlevlerini, veri madenciliği, bilgi sorgulama, gizlilik ve güvenlik gibi görevleri yerine getiren katmandır. Uygulama servis katmanı ise, doğrudan kullanıcılara ya da nesnelere hizmet sunan, uygulama sunucusu sayesinde geliştirilen uygulamalar aracılığıyla hizmet veren katmandır.



Şekil 1.4.13. Dört katmanlı IoT mimari modeli [29]

IoT için uygun bir mimari modelin varlığı, hesaplama, iletişim ve semantik arasında değişen çeşitli ve farklı teknolojilerin uygulamasını gerektirir. Dolayısıyla hangi teknolojinin belirli bir senaryo için en uygun olacağını bilmesi için tüm teknolojik yapıların anlaşılması gerekir. Bu nedenlerden dolayı, Nuno Vasco Lopes ve diğerleri [31] engelli insanlara yardım edebilmek amacıyla dört katmanlı bir IoT mimari model önermişlerdir. Şekil 1.4.15'te görüldüğü üzere TCP/IP modeli baz alınarak önerilmiş olan model aygıt, ağ, servis ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır. Aygıt katmanı, fiziksel dünyada bulunan varlıkların ve nesnelerin kesin olarak tanımak, tanımlamak, fiziksel durumu hakkında veri toplamak, toplanan verilerin çekirdek ağa ya da bir veri tabanına

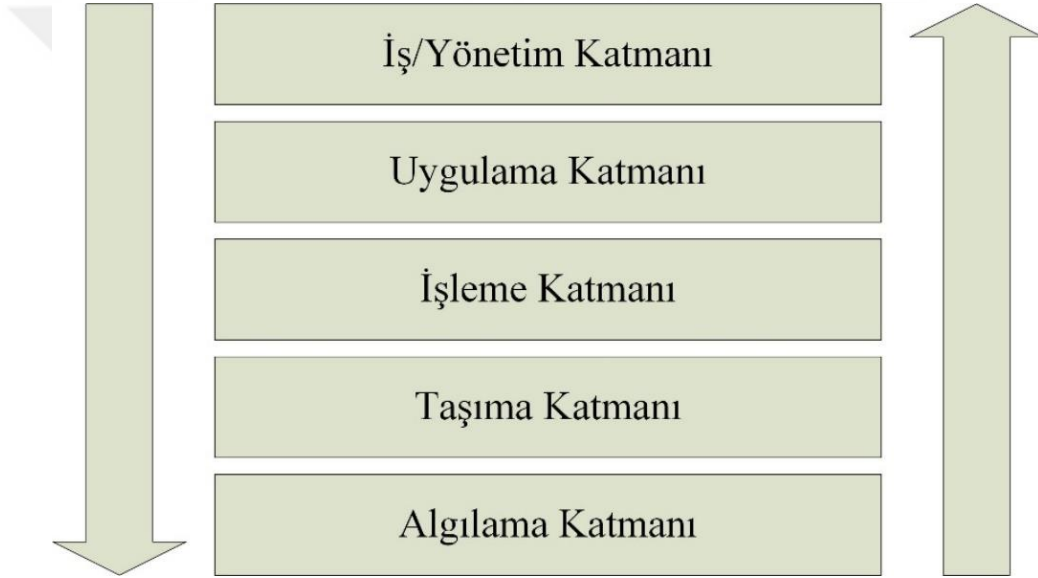
taşımayı ya da iletmeyi sağlar. Bu katmanda IPv6 ile uyumlu olmayan nesnelere / cihazlar ise Bluetooth, ZigBee, Rubee gibi kısa mesafeli iletişim standartlarıyla ağ geçidine bağlanır. Ağ katmanının temel görevi aygıt katmanından aldığı verileri servis katmanına iletmektir. Servis katmanı, uygulamalarla nesnelere arasında şeffaf bir erişim sağlayan köprü görevi görür. Yenilikçi IoT çözümlerinin oluşturulmasını kolaylaştırmak için yüksek düzeyde birlikte çalışabilirlik sağlar.



Şekil 1.4.15. Lopes ve diğerlerinin geliştirdiği dört katmanlı mimari model [31]

Var olan üç katmanlı mimari yapının, IoT'nin geliştirilmesinin ilk aşamasında IoT'nin teknik mimarisini anlamak için çok büyük bir öneme sahiptir. Ancak IoT yapısını ve sistemini tam olarak açıklamakta sınırlı kalmaktadır. Bu nedenden ötürü, bilim insanları IoT'nin tanımı ve kapsamı hakkında farklı görüşlere sahiptirler. IoT yapısının ve kapsamının daha iyi anlaşılması için Miao Wu ve diğerleri tarafından [17] 2010 yılında beş katmanlı bir mimari model önerilmiştir. Önerilen mimari model; algılama, taşıma, işlem, uygulama ve iş / yönetim katmanlarından oluşur. Şekil 1.4.16'da gösterilen modelde; algılama katmanında nesnelere ile ilgili veriler ve sensörler yardımıyla çevresel verilerin alındığı ve dijital sinyallere dönüştürüldüğü katmandır. Taşıma / ağ katmanı, algılama katmanından aldığı, kablolu ya da kablosuz ağlardan gelen verileri bir üst katmana iletir. FTTx, 3G, 4G, WiFi, Bluetooth, ZigBee, kızılötesi teknolojisi gibi teknolojiler bu katmanda yer alır. Kısaca görevi verilerin iletimi / taşınması olan bu katmanda IPv6 kullanılır. İşlem katmanı, taşıma

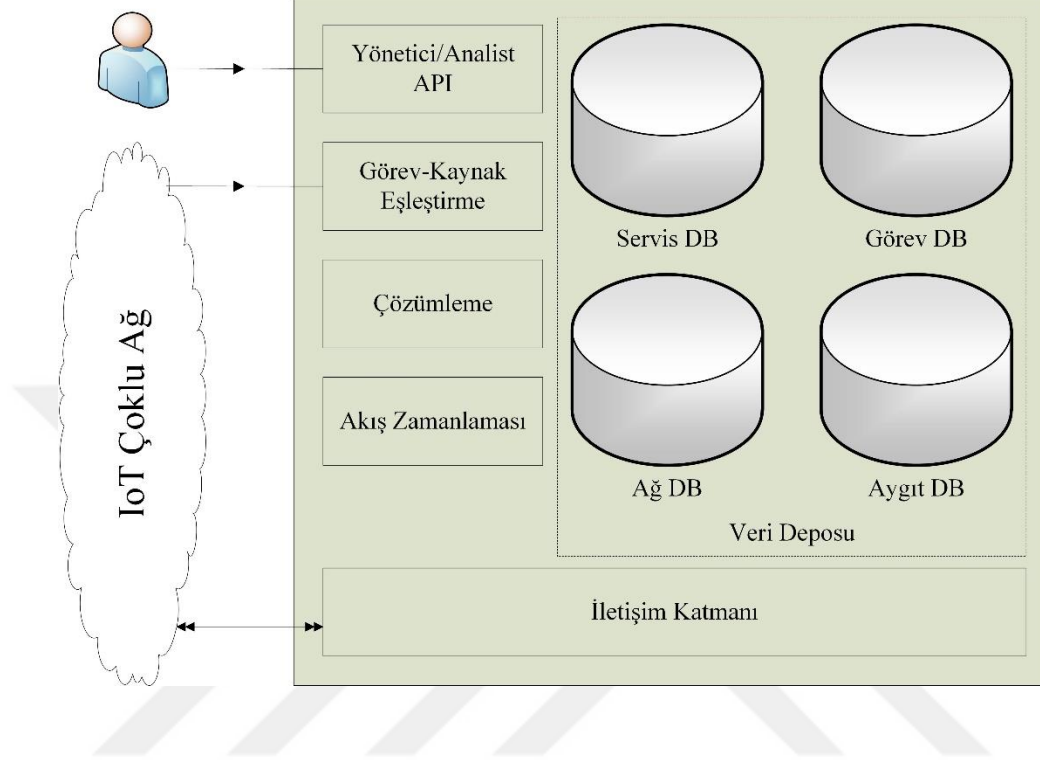
/ ağ katmanından aldığı verileri işler, analiz eder ve depolar. Depolama özelliği bakımından diğer katmanlardan daha farklı bir yapı ve yere sahiptir. Veri tabanı, akıllı işlem, bulut teknolojisi gibi teknikler yer alır. Uygulama katmanı, işlem katmanında işlenen verilerin alınıp, akıllı ulaşım, lojistik, kimlik doğrulama gibi alanlarda kullanılacak uygulamalarda görüntülendiği ve değerlendirmelerin yapılabildiği katmandır. İş / yönetim katmanı ise ilgili iş modelinin ve diğer işlemlerin yönetimi dahil olmak üzere IoT'nin yöneticisi konumunda olan katmandır. Uygulamaların ve sistem bütünlüğünün yönetilebildiği, çeşitli uygulamaların serbest bırakılması ya da durdurulmasının yapılabildiği, iş ve kâr modelleri gibi işlemlerin ve araştırmaların yapılabildiği katmandır.



Şekil 1.4.16. Miao Wu ve diğerlerinin önerdiği beş katmanlı mimari model [17]

Zhijing Qin ve diğerleri [33] özellikle son dönemlerde SDN tekniklerinin kablosuz ağlara da uyarlanması, ağ türlerinde geçişleri kolaylaştırmak, ağın daha iyi kontrol ve analiz edilebilmesi, IoT karmaşık ağ yapısını yönetmek için gerekli yapı taşlarını buldurması ve ağ heterojenliğini desteklemesi gibi özellikleri nedeniyle esas alınmış, SDN tabanlı, klasik IoT yapısına bir kontrolör yapının eklenerek oluşturulan ve kontrol edilebilen bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Şekil 1.4.17'de gösterilen, kablosuz ağlara yönelik ve tüm nesnelere bünyesinde barındırmayan bu model özel amaçlı bir mimari yapıdır. Sistem bütünlüğünün kontrolünü sağlayan yapı sistemin iç yapısının detaylandırılması gibi konularda yetersiz kalmaktadır. Zira büyük veri kümelerinin oluşması, verinin işlenmesi, analizi ve

iletimi konusunda eksiklikleri bulunmaktadır. Çünkü, IoT sistemi ya da mimarisi tasarlanırken sadece sistemi değil diğer tüm değişkenleri değerlendirmek gerekir.



Şekil 1.4.17. SDN tabanlı IoT Controller mimarisi [33]

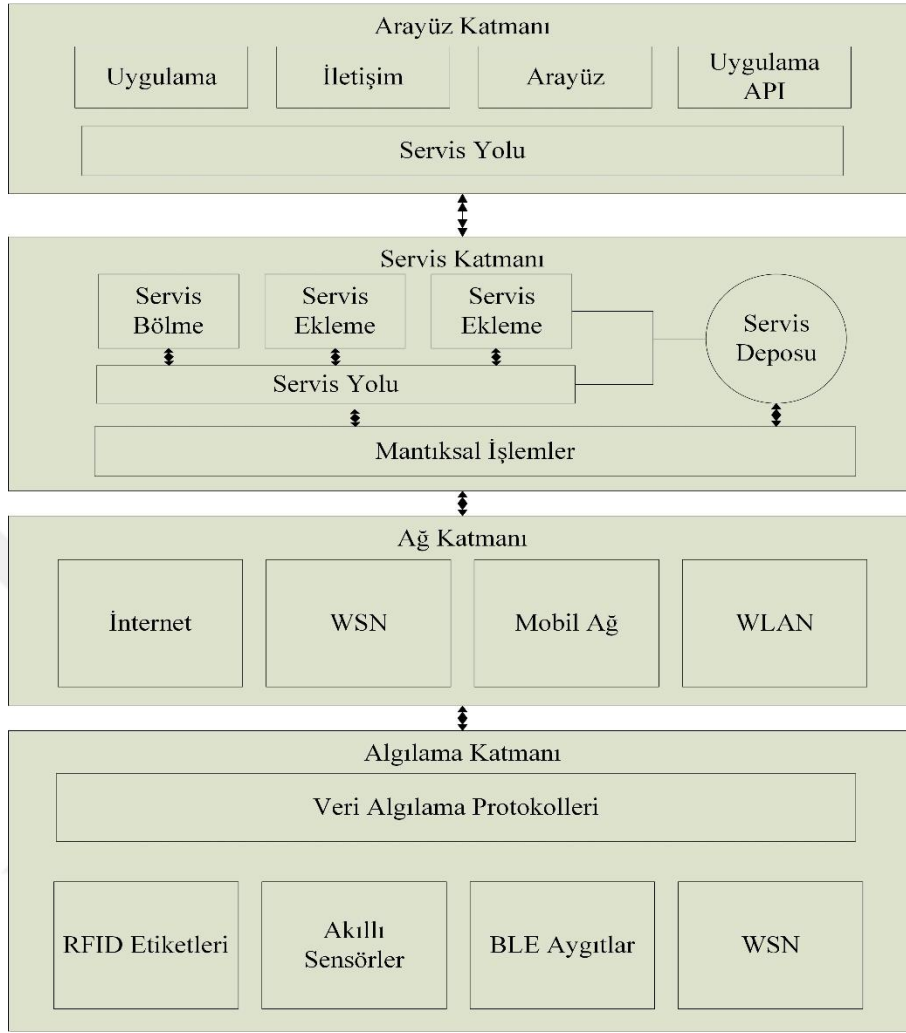
Zhang, Sun ve Cheng [34] 2012 yılında, ağın hiyerarşik yapısına dayalı, IoT ve teknolojilerinin daha iyi anlaşılıp incelenebilmesi ve RFID, WSN, SOA, Cloud Computing ve web hizmeti gibi temel teknolojileri de bünyesinde barındıran, üç katmanlı IoT mimarisini temel alan ve IoT'nin çalışma akışına bağlı olarak altı katmanlı genel amaçlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen modelde WSN, SOA, RFID gibi yapıların bir arada kullanılması IoT'nin entegrasyon fizibilitesini ya da birlikte çalışabilirlik ilkesini sunmaktadır. Özellikle sosyal ağ ortamlarında insan-nesne etkileşimini incelemek, ölçeklenebilirlik, uyarlanabilirlik ve performans maksimizasyonu açısından değerlendirmek için geliştirilmeye devam eden bir modeldir. Sırasıyla kodlama, bilgi toplama, bilgi erişim, ağ, bilgi entegrasyon ve uygulama hizmet katmanlarından oluşmaktadır. Kodlama katmanı, algılanacak her bir nesne için farklı bir kimlik numarası vermek ve IoT döngüsünde tanınmasını sağlamak amaçlamaktadır. Bilgi edinme katmanı, RFID, iki boyutlu kod, kamera, GPS ve akıllı cihazlar gibi nesnelere vasıtasıyla veriler toplanır ve tanımlamak için kullanılır. IoT'de büyük verilerin oluşması bu katmanda başlar. Bilgi erişim katmanı, bilgi

edinme katmanından gelen veriler ağ katmanına iletilir. Ağ katmanı, IPv4 ve IPv6 tabanlı bir ağ platformu olup, ağdaki tüm kaynakları kullanabilen akıllı bir ağdır. Bilgi entegrasyon katmanı, Ağdaki büyük veri kümelerini gerçek zamanlı olarak yönetmek ve kontrol etmekle görevli olup, verileri yeniden düzenler, filtreler ve entegre ederek SOA’da içerik hizmetine dönüştürür. Böylece uygulama hizmeti katmanı için iyi bir servis arabirimi sağlamış olur. Uygulama servis katmanı, servis olanaklarını bütünleştirip farklı endüstriyel ve uygulama alanları için bir uygulama servisini meydana getirir. Bu katman aracılığı ile sistemin genel yapısı incelenir.



Şekil 1.4.18. Genel amaçlı altı katmanlı mimari model [34]

Patil ve diğerlerinin 2015 yılında önerdiği servis odaklı IoT mimari model [35] dört katmandan oluşmakta ve bunlar sırasıyla; algılama, ağ, servis ve ara yüz katmanlarıdır. SOA, bulut bilişim, WSN ve araç ağları gibi araştırma alanlarında daha önce başarıyla kullanıldığı için heterojen bir sistem olan IoT için de cihazların entegrasyonunda anahtar bir teknoloji olarak kullanılabileceğini düşünmüşlerdir [36] – [43]. IoT sistem bütünü için SOA'nın heterojen sistemler arasında çok yönlü çalışabilirliği nedeniyle tercih edilmiş ve bu yaklaşım akademik camiada kabul gördüğünden böyle bir model önerisinde bulunmuşlardır [44], [45]. Önerilen mimari model şekil 1.4.19'da gösterilmiştir.

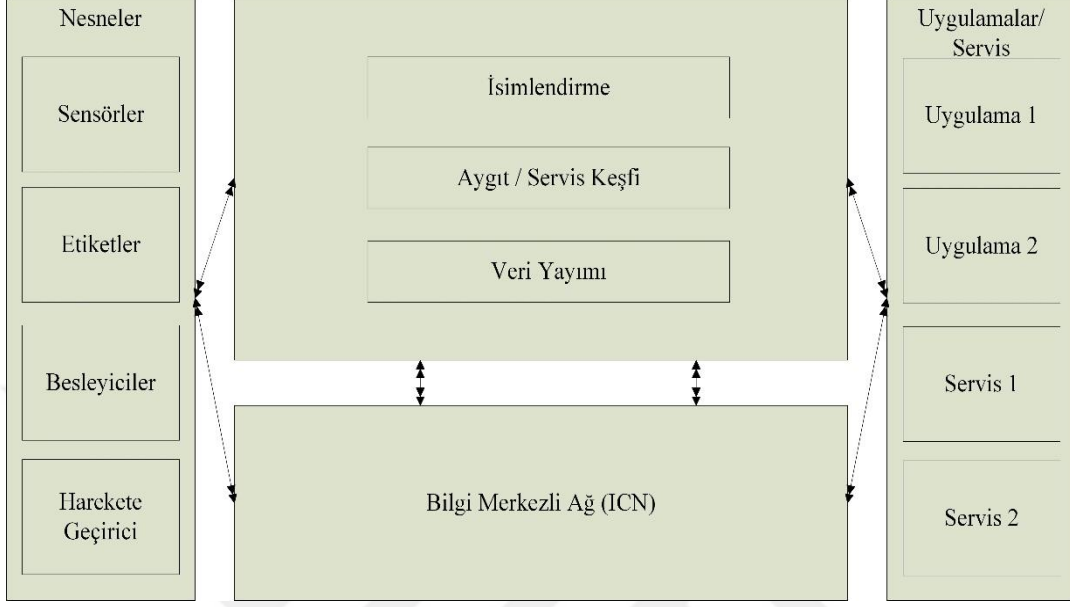


Şekil 1.4.19. Patil ve diğerlerinin önerdiği dört katmanlı mimari model [35]

1.4.2. Özel Amaçlı Mimari Modeller

Nesnelerin kuruluş ve uygulamalar tarafından erişilebileceği bir IoT platformu geliştirmek için popüler çözümler, günümüz internetinde bulunan istemci – sunucu paylaşımlarına dayanmaktadır. Li ve diğerleri 2014 yılında [47] mevcut internetin verimsizliği nedeniyle, özellikle mobilite, ölçeklenebilirlik ve iletişim güvenilirliği için Bilgi Merkezli Ağ (Information - Centric Network - ICN) mimarisini temel alarak birleşik bir IoT mimarisini önermişlerdir. Bu mimari model Mobility First Internet of Things (MF-IoT) ve Named Data Networking Internet of Things (NDN-IoT) olarak adlandırılan iki farklı ICN

mimarisini barındırır. Genel amaçlı olmaktan ziyade mobilite ve güvenilirlik açısından değerlendirilebilen bu mimari modelin detaylı çizimleri şekil 1.4.20’te verilmiştir.



Şekil 1.4.20. ICN IoT mimari modeli [47]

2015 yılında G.Fersi [48] konum bilgisi, güvenilir düğümler ve erişilebilirliği zamanında sağlamak amacıyla Dağıtık Hash Tablosu (Distributed Hash Table - DHT)'na dayalı bir mimari model önerisinde bulunmuş ve daha sonraki çalışmalarında simülasyon çalışmaları ve sonuçları ile ilgili bilgiler verileceğini belirtmiştir. DHT'ye dayanılarak esnekliği sağlanması ve etkin hareket kabiliyeti için önerilen mimari model genel amaçlı bir model olmayıp ağırlıklı olarak Chord ve Virtual Cord Protocol ile alakalı olup bu iki protokolü temelde kullanır.

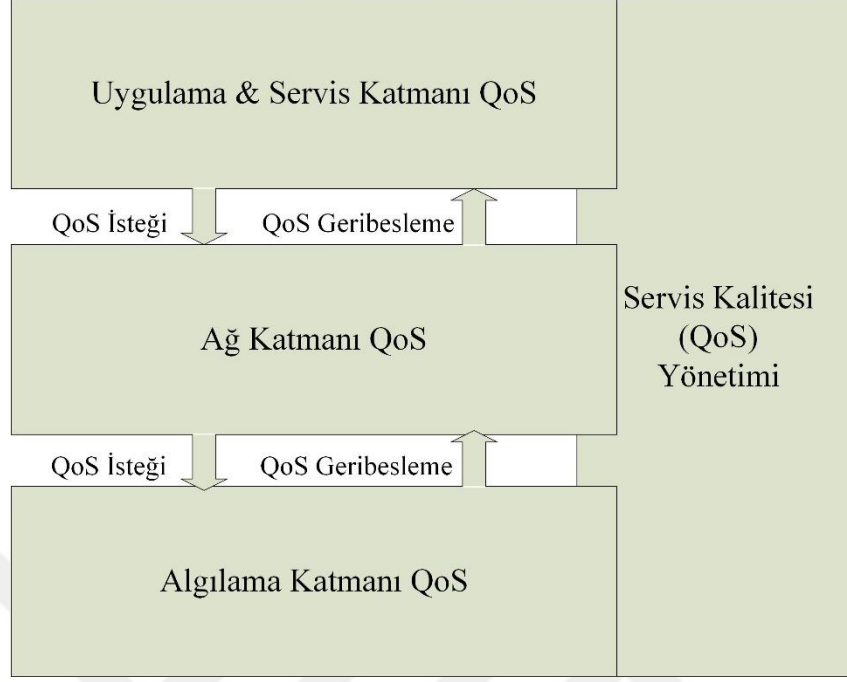
Ivan Ganchev ve diğerlerinin [49] 2014 yılında önerdikleri mimari model genel amaçlı olmayıp özel amaçlı (akıllı şehir planlama / kurma mimarisi) bir mimari modeldir. Temelinde her nesne veya uygulamanın farklı mimarilere dayanmasını esas alan model yakınsama ve sistem açıklığını hedef alan, IoT alanındaki yatırımların azaltılması için yukarıdan aşağıya doğru işlenen mimari ilkelerin izlenmesi gerektiğine ve tasarımların birleştirilmesi gerektiğini savunmuşlardır. Temel verileri IoT servis sağlayıcısı tarafından işletilen Entegre Bilgi Merkezidir. Mimari yapının en alt kısmında bulunan bu merkez konumundaki yapı, elektrik enerjisi de dahil olmak üzere bir dizi hizmet ile bağlantılı

durumdadır. Bunlar; su, merkezi ısıtma, doğal gaz, akıllı ulaşım sistemleri, yangın koruma ve güvenlik, tıbbi hizmetler...vs'dir. Ayrıca Cloud Computing (Bulut Bilişim), uygulama platformu, acil durum planı ve benzeri durumlarda destek sağlayan ek platformları içermektedir. Akıllı şehirlerin oluşturulması için önerilen model, geniş ölçekli özel bir IoT mimarisi örneğidir.

IoT, akıllı ve kısıtlı kaynaklı nesnelerin / cihazların çok çeşitli teknolojileri kullanarak internete bağlanabileceğini ortaya koyan bir yapıdır. Ancak internetin güvensiz yapısı ve IoT'nin ana bileşenlerinden olan WSN nedeniyle IoT'de güvenlik mekanizmalarının uygulanmasının zorunlu hale gelmesi, meydana gelebilecek müdahalelerle başa çıkabilmek için yeni bir saldırı tespit mimarisi olan model, 2016 yılında Mansour Sheikhan ve Hamid Bostani [50] tarafından önerilmiştir. Bu model, dağıtık algılama ve MapReduce yaklaşımı üzerine kurulu olup, saldırı tespiti için denetimli ve denetlenmemiş optimum-path forest kullanan, kötüye kullanım tabanlı saldırı tespit etmenlerinden meydana gelir. IoT yapısı için önerilmiş genel bir mimari model olmasa da güvenlik ve saldırı tespitleri açısından son derece önemli bir yapıdır ve bu nedenle genelleştirilmiş IoT yapısında da dikkat edilmesi gereken önemli bir unsurdur.

Named Data Networking (NDN) IoT yapısını desteklediğinden, IoT ekosisteminde uzun vadede sürdürülebilirlik sorununu ele alan bir mekanizma sunmaktadır. NDN'nin IoT için geleneksel internet paradigması üzerindeki avantajlarına da değinerek IoT mimarisine entegre edilmiş, ham sensör verisinden elde edilen yüksek seviyeli bilgileri, mimarinin katmanları boyunca ilgilenen kullanıcılara yaymak için S. Kanti Datta ve Christian Bonnet tarafından [51] 2016 yılında önerilen bir mimari modeldir. Taşınabilirlik, otomatik yapılandırma yönetimi, ölçeklenebilirlik, çok miktarda veri alışverişi ve ağ içi önbellekleme için NDN'in yerel desteği, IoT sistemi için avantaj sağlamaktadır. Özel amaçlı bu mimari modelin ilk halinin, NDN özellikli bir uygulaması 2015 yılında yapılmıştır [52].

Ren Duan ve diğerleri [53] James & Smit'in önerdiği IoT katmanlı mimari yapısını temel alan yine üç katmanlı bir QoS mimarisi önerisinde bulunmuşlardır. Bu mimarideki temel amaç QoS kriterlerini alt katmanlara yerleştirmek, gereksinimlerini iletmek, tutarlılığın yanı sıra mevcut QoS mekanizmalarını da her katmanda etkin bir şekilde kullanmayı amaçlayan bir modeldir. IoT servis kalitesi kriterleri yönünden büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü QoS kriterlerini sağlamayan bir mimari modelin IoT yapısı içerisinde düşünülmesi mümkün değildir. Önerilen QoS IoT mimari modeli şekil 1.4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4.21. QoS IoT mimari modeli [53]

Chang-le Zhong ve diğerleri [54] 2015 yılında pratik uygulamalar, akıllı uygulamaları vurgulamak, IoT'nin anlam ve özelliklerini daha iyi açıklamak, algılama ağının geleneksel iletişim ağına bağlayan ağ geçidi teknolojisini temel alan beş katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Genel bir mimari model olmaktan ziyade özel amaçlı (otel zinciri endüstrisi için) bir mimari modeldir. Otel zincir endüstrisinin hizmet gereksinimlerini etkili bir şekilde giderebilmek adına önerilmiştir. Sırasıyla algılama katmanı, ağ erişim katmanı, ağ taşıma katmanı, uygulama destek katmanı ve sunum katmanlarından oluşan mimari model, RFID, barkod teknolojisi, sensör ve konumlandırma teknolojisini kullanarak nesnelerin kontrol edilmesini amaçlar.



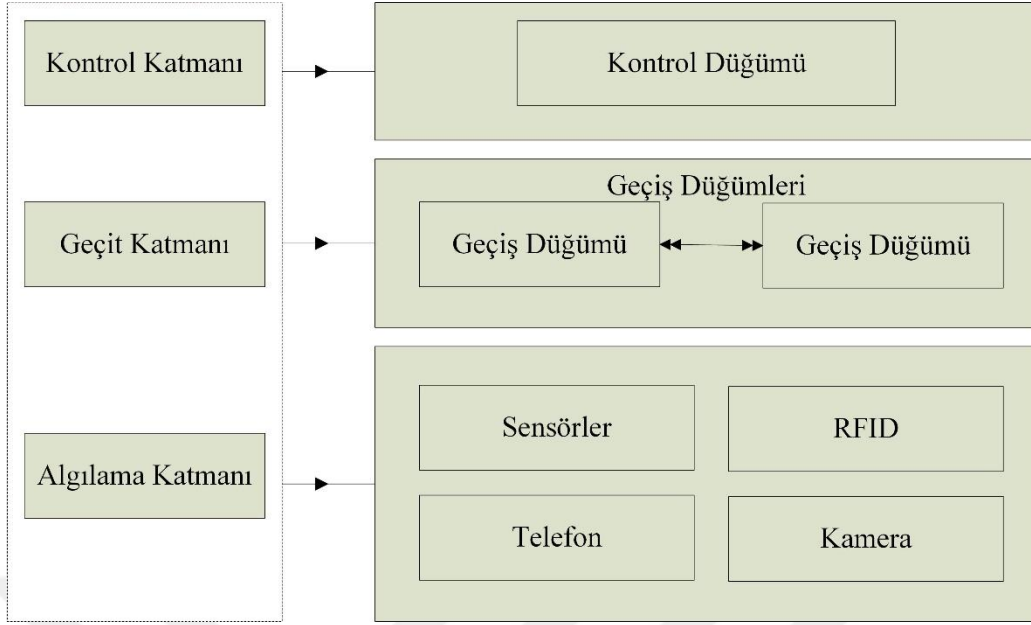
Şekil 1.4.22. Chang-Le Zhong ve diğerleri tarafından önerilen mimari model [54]

Ling Zheng ve diğerleri tarafından [55] geleneksel elektrik güç iletişim ağlarını iyileştirmek, elektrik iletiminin, trafo merkezlerinin, elektrik dağıtım ve kullanımının takip edilmesi amacıyla önerilmiş özel amaçlı katmanlı bir mimari modeldir. Kablosuz duyurga ağlarını temelinde barındıran IoT akıllı şebeke sistemleri için çok iyi bir çözüm olmaktadır ancak bu alanda herhangi bir mimari model bulunmadığından, üretim ve tüketim süreçlerinin izlenimlerini sensör ağları ile izlenmesi ve etkileşimli analizlerin yapılabilmesi için çözüm yolu niteliğinde önerilmiş üç katmanlı bir mimari yapıdır. Algılama katmanında, elektrik enerjisinin süreçleriyle ilgili güç verilerini algılayan nesnelere bulunur. Ayrıca bu katmanda ölçme, iletim, trafo, elektrik dağıtım ve kullanımı, çevresel veriler, cihaz durum bilgisi ve elektrik ile ilgili veriler ve diğer nesnelere algılanan veriler kullanıcılarla etkileşimli bir hale gelmesi için terminal cihazında (uygulama katmanında) sunulur. Önerilen modelde erişim ve çekirdek ağı olmak üzere iki kısma ayrılan ağ katmanında gerçek zamanlı toplanan veriler, güvenilir geri dönüş elde edebilmek için fiber optik ve elektrik ağı yoluyla elektrik çekirdek ağına erişen geniş bant kablosuz erişim ağları yardımıyla iletilir. Uygulama

katmanı ise, çeşitli uygulama platform sistemleri, algılama yoluyla alınan gerçek zamanlı büyük veri kümelerinin işlenmesini sağlayan katmandır.

Inge Gronbæk tarafından [56] önerilen mimari model, güvenli bir API'yi temel alan, omurga yapısını, standart bir arabirime sahip ayrı nesne ağları şeklinde yapılandırılmış, servislerin yenilenmesini ve servis mantığını protokollerden ve diğer ağ elemanlarından ayıran, sistemler arasında servis taşınabilirliği sağlayan, sistemler arasında servis taşınabilirliğini sağlayan (bir servis sürekli olarak sistem ya da sunuculara tahsis edilebilir), alanlar arası adlandırma, güvenlik, taşınabilirlik, çoklu yayın, konum, yönlendirme ve yönetim için birlikte çalışabilirlik ilkesini destekleyen bir yapıdır. Önerilen bu mimari, çoklu ziyaret ve dinamik bir yapıya sahip olan mobil ağlar yardımı ile dolaylı yoldan üçüncü taraf (kullanıcı tarafında) depolama olanağı sağlar. Platform tabanlı yöntem [57], [58] ve OSI modeli referans alınarak önerilmiş bir modeldir. Genel amaçlı olarak önerilen mimari model işlevsel olarak IoT yapısına uymaktadır ancak kullanıcı tarafında depolama durumları güvenlik açığına neden olmakta ve sistem işleyişini kullanıcıya bağımlı hale getirmektedir.

Şekil 1.4.23'te gösterilen mimari model Kun Wang ve diğerleri [59] özellikle enerji tüketiminin çok yoğun olduğu endüstriyel alana yönelik önermiş olduğu üç katmanlı bir mimari model gösterilmiştir. Genel amaçlı olmayan bu mimari model aslında mimari bir yapının iskeleti de sayılabilir. Temeli IoT sisteminin üç katmanlı yapısına benzeyen modelde sırasıyla algılama, geçiş ve kontrol katmanlarından oluşur. Endüstriyel nesnelere interneti (Industrial Internet of Things – IIoT) ya da yeşil / çevreci nesnelere interneti (Green Internet of Things – GreenIoT)'nin amacı enerjinin verimli kullanılması ve enerji tüketiminin takibi olup, büyük ve karmaşık bir yapı olan IoT sisteminde kontrol altında tutularak ciddi mali kayıpları önlemektir.



Şekil 1.4.23. Enerji tüketimi / tasarrufu için önerilen mimari model (Green IIoT)[59]

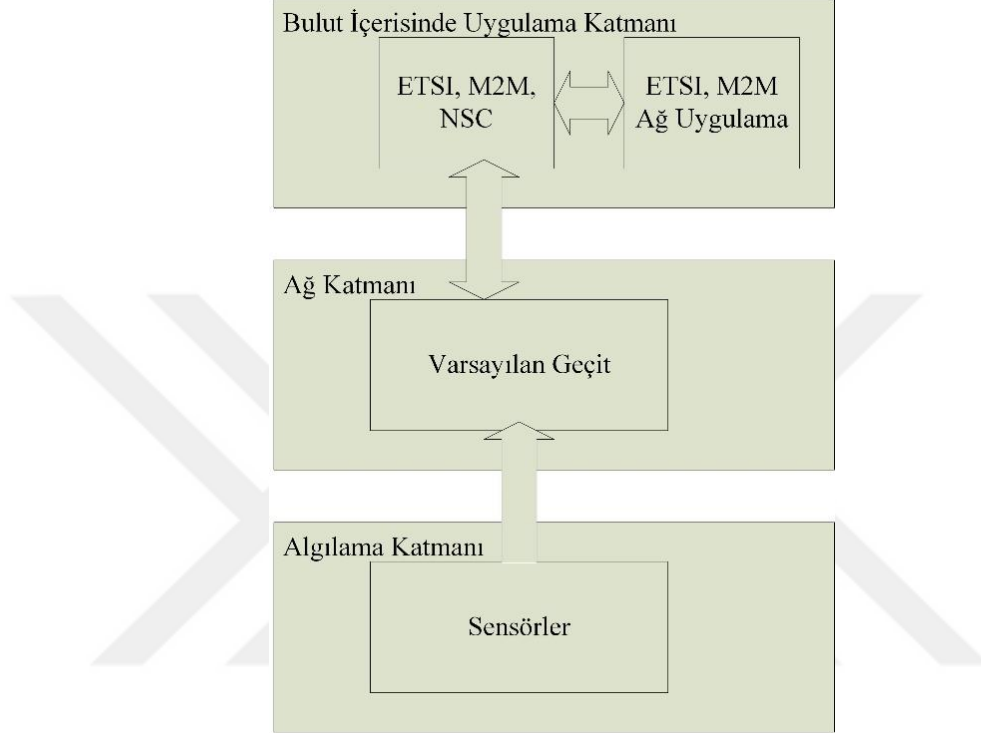
Nan Lin ve Weihang Shi [60] 2014 yılında web tabanlı IoT uygulamaları ve özellikle bilgi endüstrisinin gelişen uygulamaları için yeni bir mimari model önerisinde bulunmuşlardır. dört katmanlı olan mimari model, soyutlama erişim, kaynak toplama, akıllı servis tabanlı destek ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır. İnternet tabanlı bu mimari modelin hiyerarşik yapısı şekil 1.4.24’te gösterilmiştir. İnternete dayalı cihazların akıllı internet uygulamaları geliştirmek ve kullanımlarını kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Erişim ve soyutlama katmanı, uygulamaların fiziksel ortamdan aldıkları verilerin sürekli bir biçimde akışını ve iletimini sağlar. Algılama katmanı ile benzer görev görmektedir. Kaynak toplama katmanı, kaynak odaklı süreçlerin yönetimi ve verilerin toplanmasını sağlayan servis hizmetlerini sunan katmandır. Akıllı servis tabanlı destek katmanı, önbellek ve çizelgeleme gibi gelişmiş yönetim işlevlerini sağlamak için IoT uygulamalarıyla entegre halde çalışan katmandır. Uygulama katmanı ise web ortamında sunulan hizmetlerin son kullanıcıya ulaştığı, görüntülenebildiği ve analizlerin yapılabildiği katmandır.



Şekil 1.4.24. Web tabanlı IoT uygulamaları için geliştirilmiş mimari model [60]

M. Abdulaziz Ikram ve diğerleri [61] günümüzde milyarlarca doların harcandığı futbol sektöründe oyuncuların ciddi sakatlıklar, sarsıntı, hipoglisemi, dil yutma ve nefes darlığı hatta ölümcül olabilecek diğer durumlar yaşanabilmektedir. Bu nedenle spor kulüpleri profesyonel oyuncular yetiştirirken milyonlarca dolar harcamaktadır. IoT teknolojisi, futbolcularda maç veya eğitim sırasında ortaya çıkabilecek, erken tespit edildikleri takdirde uzun süreli sağlık sorunlarını engelleyebilen veya herhangi bir sağlık problemi tespitini yapabilir. Oyuncu sağlığını izlemek ve olumsuz sağlık koşullarında erken müdahale edebilmek için sensörler, iletişim teknolojileri ve bulut teknolojisini kullanarak futbol sporuna katkı sağlamak amacıyla önerilen üç katmanlı bir mimari modeldir. Şekil 1.4.25'te gösterilen mimari model, algılama, ağ ve bulut içerisinde uygulama katmanlarından oluşan model, özel amaçlı bir mimari olup temel hedefi IoT uygulamalarını aktif spor hayatına dahil etmektir. Algılama katmanında iki tür ağ bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kişilerin vücudundan doğrudan fiziksel verileri alabilecek olan sensörler (farklı IPv6'ya sahip ve RPL kullanan) yardımıyla kablosuz vücut alan ağı (Wireless Body Area Network - WBAN), diğeri ise spor alanındaki duyarga ve nesnelerin kendi içerisinde ve sporcunun vücudundaki sensörleri de kapsayan genel ağıdır. Buradaki amaç, en hızlı şekilde sporcuların hayatı fonksiyonlarını izlemek, değerlendirmek ve gerektiğinde müdahalede bulunmaktır. İkinci katman olan ağ katmanında ise, temel olarak 6LoWPAN yardımı ile ZigBee kullanılır (CoAP ile entegre halinde) ve düşük güç tüketimiyle fazla sayıda düğüm desteği ve anlık

veri iletimi amaç edinir. Üçüncü katman olan uygulama katmanında ise yönetici, antrenör ve diğer ilgili ve yetkililere bulut servisleri yardımıyla analizi yapılan, değerlendirilen ve sonuçları üretilen verilerin sunulduğu katmandır. Buradaki temel düşüncelerden biri de bulut servislerinin farklı yazılım platformlarına uyumlu olmasıdır.

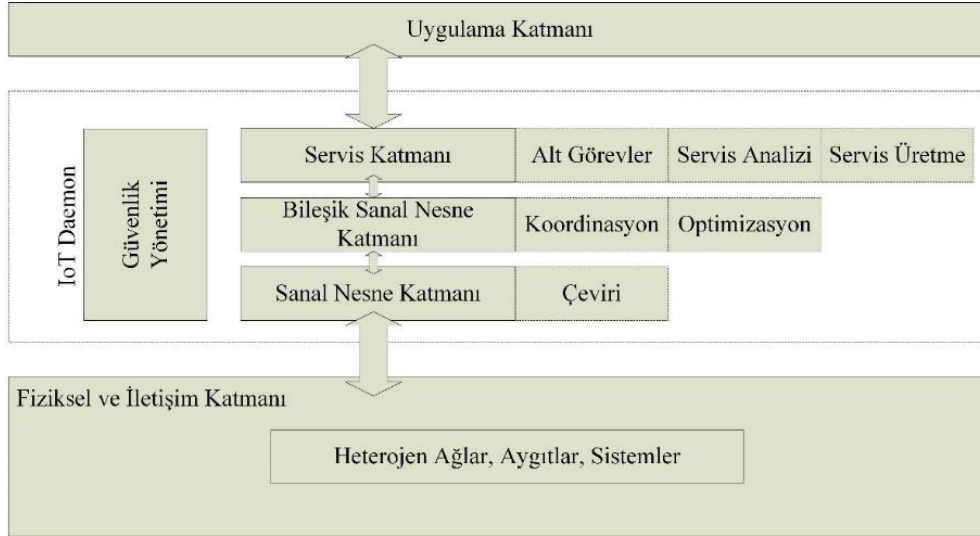


Şekil 1.4.25. IoT Football mimari modeli [61]

Chayan Sarkar ve diğerleri [62] akıllı kontrol ve çalıştırma gereksinimi nedeniyle, IoT'nin geniş çaplı büyüme sürecindeki problemlerin üstesinden gelebilmek için karmaşık sistemler için yeni bir dağıtık mimari model önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen mimari model, IoT nesnelerinin heterojenliğini ele alıp, uygulamalar arasında yeni nesnelerin kesintisiz haberleşmesini, dağıtık ortamlarda güvenlik ve gizliliği desteklemek, bir kontrol politikası geliştirmek, güvenlik, birlikte çalışabilirlik gibi konuları ele alan, çeşitli soyutlama seviyeleri sağlayan, akıllı karar alma sürecine yardımcı olan ve otomatik servis / hizmet vermeyi sağlayan bilişsel yeteneklere sahip katmanlı bir yapıya sahiptir. Fiziksel katman ile uygulama katmanı arasında üç katmandan oluşan IoT Daemon yapısı konulmuş ve toplamda beş katmanlı bir mimari modeldir. Bunlar; fiziksel ve iletişim katmanı, sanal nesne katmanı, bileşik sanal nesne katmanı, servis ve uygulama katmanlarıdır. Fiziksel ve iletişim katmanı

nesnelerden, farklı teknolojileri kullanarak verileri toplar. Sanal nesne katmanı, fiziksel nesne veya varlıkların sanallaştırılmasından sorumlu olan, nesnelere sanal temsilcilerini barındıran, semantik modellemeyi yapan ve fiziksel nesnelere erişmek için genel yöntemleri sağlayan katmandır. Her bir nesne için bir sanal nesne karşılığı oluşturulur ve sistem işleyişinin bu şekilde sağlanması amaçlanır.

Çeşitli nesnelere, sistemler ve ağlardaki heterojenlik ile başa çıkmaya yardımcı olup, nesnelere birlikte çalışabilirliğini ve tekrar kullanılabilirliğini sağlamayı amaçlar. Bileşik sanal nesne katmanı, sanal nesne katmanında nesnelere temsil eden birden fazla sanal nesnenin aynı anda iletişimlerinin gerçekleştirilmesini amaçlayan katmandır. Sanal nesnelere görevlerini ve hedeflerini gerçekleştirebilmek için kendi aralarında iletişim ve koordinasyon kurmaları gerekir. Bu görevi yerine getiren ise yine bileşik sanal nesne katmanı olup, sistem bütünlüğünün korunmasında koordinatör görevi görür. Bileşik sanal nesne katmanı, tek bir sanal nesne katmanına değil birden fazla sanal nesne katmanını bünyesinde barındırır. Servis katmanı, servis hizmetlerinin oluşturulması, yönetilmesi, hizmet taleplerinin alınarak daha küçük alt görevlere bölünmesi ve sanal nesne ve bileşik sanal nesne katmanlarının eşleştirilerek görevlerin yürütülmesi görevlerini yerine getiren katmandır. Bu yapı, literatürde yaklaşık servis olarak ta adlandırılır [63], [64]. Uygulama katmanı, son kullanıcılara verilerin sunulduğu ve kullanıcıların uygulamalar yardımıyla verileri görüntüleyebildiği ve analizleri yapabildiği katmandır.



Şekil 1.4.26. DIAT mimari modelinin yapısı [62]

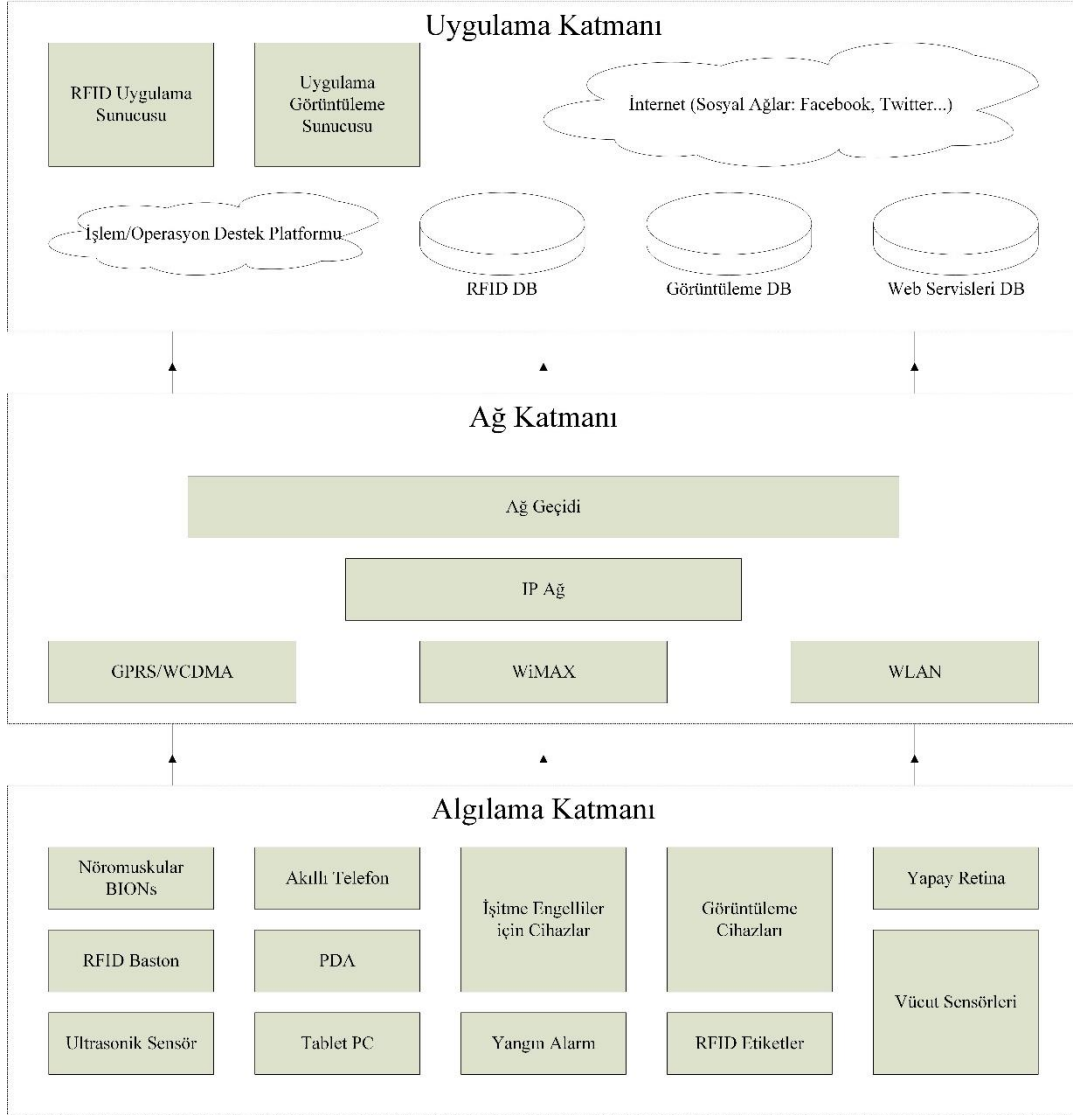
Bu mimari yapıda, güvenlik yönetimi çapraz katman şeklinde nesne sanallaştırma, bileşik nesne sanallaştırma ve servis katmanları arasında görev almaktadır. DIAT mimari modelinin detaylı yapısı şekil 1.4.26’da gösterilmiştir.

Partha Pratim Ray [65] spor aktivitelerinin IoT ile bütünleşmesi ve özellikle son dönemlerde akıllı spor uygulamalarının da yaygınlaşmasıyla IoT’nin spor alanındaki mimari model eksikliğini giderebilmek için dört katmanlı, özel amaçlı yeni bir mimari model önerisinde bulunmuştur. Önerilen mimari yapı, fiziksel duyarga, geçit iletişim, spor yönetimi ve spor uygulamaları katmanlarından oluşur. Fiziksel duyarga katmanı, NFC, kızılötesi, Bluetooth Low Energy (BTLE) gibi teknolojik yapıları kullanarak, spor aletlerine ve sporcuların bedenlerine yerleştirilen sensörlerin dahil edildiği, kandaki oksijen değeri, nabız, tansiyon, termometre, solunum, elektromiyografi (EMG), elektrokardiyografi (EKG) ve elektroensefalografi (EEG) gibi değerlerin alındığı katmandır. Geçit iletişim katmanı, fiziksel katmandan aldığı verilerin bir üst katmana iletildiği katmandır. Klasik bir ağ katmanından farkı ise, verilerin işlenerek bir üst katmana iletildiği bir mikro denetleyici yapısının olmasıdır. Ayrıca, gerçek zamanlı olarak veri iletimini sağlar. Spor yönetimi katmanı, istatistiksel, veri madenciliği, görselleştirme, veri analizi, tahmin analizleri ve ekipman analizi gibi soyutlamaya yönelik analitik işlemlerin gerçekleştirildiği katmandır. Bulut teknolojisiyle etkinleştirilmiş hizmetler bu katmanda bulunur. Spor uygulamaları katmanı, MQTT, CoAP, XMPP, AMQP, WebSockets ve http gibi yerel uygulama protokollerinin bulunduğu katmandır. Önerilen bu mimari model temelde ve genel işleyişte IoT Football [61] modeline benzerlik göstermektedir.

Luca Catarinucci ve diğerleri [66] sağlık kuruluşlarında buluna hastaların, sağlık personelinin ve biyomedikal cihazların otomatik olarak izlenmesi ve takibi için, 6LoWPAN üzerinden CoAP ve IPv6 vasıtasıyla birbiriyle uyumlu çalışabilen, farklı platformlara sahip fakat sistemi tamamlayıcı teknolojilere (özellikle RFID, WSN ve akıllı mobil nesnelere) dayanan akıllı bir hastane sistemi modeli oluşturmak için önerilmiş bir mimari modeldir. Özel amaçlı olan bu model, IoT’de veri iletimi ya da mimari modelin standartlaştırılması değil, lokalizasyon ve akıllı bir sistemin oluşturulması için önerilmiştir. Algılama, IoT akıllı ağ geçidi ve kullanıcı ara yüzü katmanlarından oluşan sistemde algılama katmanı, WSN, RFID gibi özellikle hibrit kablosuz teknolojileri kullanarak verileri algılar ve akıllı ağ geçidi katmanına iletir. Akıllı ağ geçidi, yönetim uygulamaları ve güvenli erişim yöneticisi yardımıyla arayüz katmanına ve buradan yerel veya uzak bağlantı kuran kullanıcılara analiz

sonuçlarını iletir. Kullanıcı ve kontrol veritabanları IoT akıllı ağ geçidinde bulunduğundan, verilerin işlenmesi, analiz ve sonuçların elde edilmesi bu katmanda yapılır.

Günümüzde bir milyardan fazla insanın (dünya nüfusunun yaklaşık %15'i) engelli olarak yaşadığı tahmin edilmektedir. Destek hizmetlerinin olmaması, engelli insanların bir kısmı ailelerine aşırı bağımlı ve bu da ekonomik ve toplumsal olarak aktif olmalarına mâni olmaktadır. Bu nedenle, Mari Carmen Domingo 2012 yılında engelli insanlara yardımcı olabilmek, yaşamlarını kolaylaştırabilmek, engelliler için üretilecek nesnelerin geliştirilmesi ve sosyal hayata aktif olarak katılabilmeleri için, şekil 1.4.27'de gösterilen, özel amaçlı üç katmanlı bir mimari model önerisinde bulunmuştur. Bunlar; algılama, ağ ve uygulama katmanlarıdır. Çevredeki nesnelere ve bunlarla ilgili her türlü bilgiler algılama katmanında duyargalar yardımıyla yapılır. Ağ katmanı, kablolu / kablosuz internet, ağ yönetim sistemleri gibi yapılardan oluşan birleşik bir ağ yapısıdır. Temel görevi, algılama katmanından elde edilen bilgileri iletmektir. Uygulama katmanı ise, kullanıcıların (engelli kişilerin) ihtiyaçlarını karşılamak için IoT teknolojisini uygulayan akıllı çözümleri içeren katmandır [67].



Şekil 1.4.27. Engelli insanlara yardımcı olmak amacıyla önerilmiş mimari model [67]

1.5. IoT Uygulama Alanları

IoT günümüzde kullanılan teknolojik aygıtların bağlı bulunduğu evrensel bir ağı ve bu ağda bulunan nesnelerin birbirlerinden farklı adreslendirilip kullanılmasını temsil etmektedir. Küçük ölçekli, denetlenebilen, gözlemlenebilen ve sonuçları görüntülenerek analizler yapabilen sistemler günümüzde kullanılmakta ancak IoT bu uygulamaların daha karmaşık ve küresel bir ağla bağlamayı sunmaktadır. Kısaca IoT, teknolojinin bulunduğu her alana uygulanabilir ve bu alanlardaki sonuçlarından faydalar elde edilebilir.

1.5.1. Sağlık Hizmetleri

Günümüzde IoT sağlık sektöründe özellikle sensör teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte kullanılmaya kısmen de olsa başlanmıştır. Son dönemlerde lifelogging (yaşamı kayıt altına alma) akımı ile birlikte kişilerin yaşadığı hemen her an kayıt altına alınmakta ve bu alınan kayıtların belirli analizleri yapılarak kişilerin sağlık durumları ile ilgili bilgiler değerlendirilerek bir analiz yapılmaktadır. Örneğin bir sporcunun gün içerisinde yaptığı aktiviteler, tükettiği ve aldığı kalori miktarı gibi değerler ölçülerek kayıtlar ve değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Ayrıca son dönemlerde kardiyolojik hastaların takipleri, Alzheimer hastalarının takip edilmesi ve kaybolmalarının önüne geçilmesi, görme engelli şahısların yol güzergahlarının belirlenip seslendirilmesi ve takip edilebilmesi, kişinin vücuduna yerleştirilen sensörler vasıtasıyla belirli değerlerin (kan, tansiyon, nabız, kardiyolojik aritmi, şeker, kolesterol) ölçümleri düzenli aralıklarla yapılarak en yakın sağlık kuruluşuna veya kişinin aile hekimine bilgiler verilir. Böylece hekimin hasta ile ilgili hayati kararları vermesi daha kolay ve daha işlevsel olabilecektir. Kişinin herhangi bir sağlık kuruluşundan uzak olması durumunda ise ilgili hekim tarafından telefon yardımıyla direktifler verilebilir ve hayati risklerin önüne büyük ölçüde geçilmiş olunur. Ayrıca uzak mesafelerde olan, hastaneye ulaşım konusunda problemler yaşayan ve kronik hastalıkları kişilerin sağlık hizmeti almasında daha kaliteli bir süreç oluşturur. Acil yardımda bulunma, uzakta bulunan bir insana bir hastaya tıbbi müdahalenin doktor denetiminde yaptırılması ve en önemlisi hasta mahremiyeti konusunda çok kaliteli bir ortam sunacak ve böylece daha sağlıklı ve mutlu bir toplumun oluşmasını sağlayacaktır. Ayrıca, tahlil ve laboratuvar sonuçlarının sürekli ve her hasta için yazdırılması olayı olmayacağı için hem toner hem de kâğıt maliyetini azaltmış olacaktır.

Günümüzde her hastanın tahlil verilerinin alınması ve gözlemlenmesi zaman almakta ve hayati risk taşıyan durumlarda kısa bir süre dahi büyük önem arz etmektedir. Acil vakalarda sağlık kuruluşuna gelen hastadan alınan tahliller o an için normal seyrinde iken kısa bir süre içerisinde belirtiler görünmezken daha sonrasında bu belirtiler kendini göstermekte ve hastanın hayati fonksiyonlarını etkilemektedir. Örneğin iç kanaması geçiren bir hastanın bunu kısa bir sürede fark etmesi mümkün değilken hastanın kan değerlerinden ölçülebilmektedir. Bu nedenle sağlık alanında devrim niteliği taşıyan IoT her geçen gün medikal pazardaki alanını daha da genişletmektedir.

1.5.2. Eğitim Hizmetleri

İnteraktif eğitim sisteminin gündemde olduğu günümüz dünyasının gelecekteki eğitim sisteminin temelini atmak yine IoT ile mümkün olacaktır. Teknolojiden bağımsız, tamamen soyutlanmış bir eğitim sisteminin düşünülmemeyeceği gibi uygulaması da imkansızdır. Bilim, teknoloji, kültür ve sanattan kopmuş bir eğitim sistemi eğitim sistemi olmaktan çıkmış demektir. Bu nedenle kültür, sanat, bilim, teknoloji ve dünyanın her noktasındaki sistemlerin kıyaslanabilmesi, verilerin paylaşılması ve ideal bir eğitim sisteminin kurulması IoT ile mümkün olur.

Akıllı tahtaların kullanılması, elektronik kitapların okutulmaya başlanması, gelişmekte olan teknik ve bilim faaliyetlerinin güncel olarak takip edilebilmesi mümkün olup daha da ileri bir noktaya taşınabilir. Günümüzde toplumların özellikle sosyal medya üzerinden birbirlerine erişmeleri ve etkileşim içinde bulunmaları büyük bir yankı uyandırmaktadır. Ancak bu sosyal etkileşimin eğitim hizmetlerine de uygulanması hem sistemin aktif olmasına hem de verimli olmasına büyük ölçüde katkıda bulunacaktır. Ayrıca öğrencilerin ders durumları, ödevleri ve yaptıkları projeler gibi birçok aktiviteleri izlenebilir ve kontrol edilebilir. Bu sayede dünyanın farklı bölgelerindeki insanlar için yapılan herhangi bir çalışma veya düşünce ilham verici bir proje olabilir. Böylece eğitim sistemi öznellikten kurtulmuş ve nesnel olmakla birlikte evrensel bir hal almış olacaktır.

Eğitim sistemindeki başarısızlıkların ortadan kaldırılabilmesi için eğitim sistemi ile gelişen teknolojinin bir bütün haline getirilmesi gerekir. Sürekli gelişen teknolojiye karşın sadece teorik bilgilerin yetersiz kalacağı, laboratuvar ve uygulama deneyiminden yoksun bir sisteminin başarılı olamayacağı aşikârdır. Gelişmiş ülkelerde eğitim sisteminin başarılı olması müfredat kaynaklı değil, teknoloji ve uygulama temelli bir sistem olmasından kaynaklanır. Bu nedenle eğitim sisteminin ulusal bir ağ ile bağlanarak ortak bir modelin kurulabilmesi, eğitim ve öğretim materyallerinin paylaşımı, uygulama deneyimlerinin paylaşımı hem eğitim sisteminin kalitesini arttıracak hem de eğitimdeki teorik bilgilerin uygulamaya dökülmesini sağlayacaktır. Bu anlamda günümüz ağ yapısından ziyade daha karmaşık ve geniş bir alana hitap edebilen IoT yapısı daha etkin bir hizmet sunacaktır.

1.5.3. Endüstriyel Alan

Seri üretimin ve hammadde kullanımının makineleşmeye başladığı Sanayii Devrimi'nden günümüze dek kalite, süreklilik, güvenilirlik gibi ilkelerin piyasalarda kilit öncül haline geldiği bilinmektedir. Ancak iletişim ve bilgi paylaşımının dünya çapında bir ilerleme ve gelişme göstermesiyle bu kilit öncüllere yenileri eklenmiştir ki bunlardan birisi şüphesiz internet ve bilişim teknolojileridir. Çünkü üretim ve tüketim toplumunun bilgi paylaşımı ve iletişimi artık kaçınılmaz hale gelmekle birlikte iletişimin eşzamanlı olması da büyük bir önem arz etmektedir.

Günümüzde üretim kalitelerinde gözlemlenebilir ve kalite standartlarına uygun ürünler piyasaya sürülmektedir. Özellikle bilgisayar destekli teknolojilerin(BDT) de kullanılmasıyla ürün yaşam döngüsü kısalmış ve ürünler çok daha seri üretilip piyasada daha hızlı yerini almaktadır. Akıllı fabrika uygulamaları ve sistematik kaliteli ve sürekli üretim anlayışını benimseyen bir akım olan Endüstri 4.0 (4. Endüstri Devrimi) 2011 yılında Kagermann, Lukas ve Wahlster'in tarafından tanıtımı yapılmış ve IoT'nin Endüstri 4.0 için bir anahtar görevi göreceği belirtilmiştir [68]. Makineden makineye iletişimin (Machine-to-Machine – M2M) ve bilgisayar destekli sistemlerin temelini oluşturduğu akıllı fabrikalar Nesnelerin İnterneti alanında atılmış büyük adımlardan birisi olarak kabul görmektedir [10].

Bilgisayar destekli teknolojilerin gelişmesiyle üretim bantlarındaki hız artmış ve ürünlerin piyasa döngüleri çok kısa sürelerle inmiştir. Bu nedenle her ürünün çok kısa bir vadede yeni bir sürümü çıkmakta ve tüketici davranışlarını son derece önemli bir ölçüde etkilemektedir. Bununla birlikte tedarik zincirinin takibi, yönetilmesi ve arz talep durumlarının incelenebilmesi için de bilişim teknolojileri yardımcı olacaktır. Bu noktada, sadece üretim bantlarının değil tüm tedarik ve satış zincirlerinin dijital ortama aktarılması gerekir. Bu aktarım işlemi hem maliyetleri azaltır hem de süreci hızlandırarak kâr marjını arttıracaktır. Küresel ölçekli firmaların büyük ölçüde teknolojiyi kullanarak daha da geniş kitlelere ve yüksek kar oranlarına kavuşması da bu şekilde olmuştur. Bu nedenle tüm alanlarda olduğu gibi endüstriyel alanda da bilişim teknolojilerinin temel alınması gerekir. E- Ticaretin her geçen gün hayatımıza biraz daha girmesiyle üretim, tedarik ve satış zincirlerinin kontrol edilebildiği bir IoT ağı çok büyük bir kitleye hâkim olmayı, satış yapabilmeyi ve kâr elde edebilmeyi sağlayacaktır.

1.5.4. Savunma Sanayii

Fiziksel gücün yerini bilişim teknolojilerine bıraktığı 21.yüzyılda ülkelerin en büyük sorunlarından birisi şüphesiz güvenlik konusudur. Veri güvenliği ve gizliliği ilkesi düşünüldüğünde sistem bütünlüğü ve ülke güvenliği de çok büyük önem arz etmektedir. Uzun, orta ve kısa menzilli birçok silah türünün aktif olarak kullanıldığı dünyada savunma sanayiine de hemen her ülke tarafından belirli fonlar ayrılmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler savunma sistemlerinin daha kaliteli, karmaşık ve olası sorunlara müdahale edebilecek şekilde üretmek için çeşitli Ar-Ge yatırımları yapmakta ve güvenilir bir savunma ağı kurmaktadır.

Ülkemizde dahil olmak üzere birçok dünya ülkesi güvenli bir ağ / uydu üzerinden kontrol edilebilen, asgari düzeyde fiziksel güç gerektiren savunma sistemlerine yatırımlar yapmaktadır. Askeri uydu sistemleri, füze sistemleri, filolar, armadalar ve diğer tüm elektronik nesnelere bu alana dahildirler. Nesnelere interneti yapısıyla tüm savunma gücünü kontrol edebilen denetleyebilen, takip ve bakımını yapabilen bir sistem tasarlanmış olur ki bu da savunma sanayii açısından büyük bir maddi yükün azaltılmış olması anlamına gelmektedir. Çünkü günümüzde gelişmiş ülkelerde dahi savunma sanayiinin sadece bir kısmını dijital ortamda kontrol ve takip edebilme imkânı bulunmaktadır. Savunma sanayiine kontrol ve takip gibi işlemlerin yanı sıra ekonomik anlamda tasarrufu da beraberinde getirecek olan IoT, savunma sanayisine yönelik teknolojik gelişmelerin ve uygulamaların da önünü açacağı aşikardır. Bu nedenlerden dolayı özellikle gelişmiş ülkeler son dönemlerde IoT'ye yönelik Ar-Ge bütçelerini arttırmış ve bu konudaki çalışmalarına hız vermişlerdir.

Halklarının refah düzeylerini arttırmayı amaçlayan ülkeler özellikle 21. Yüzyılda terörizm olayları ile karşı karşıya gelmiş ve gelişmiş ülkeler bu tehdidi asgari düzeye indirmek için bilişim teknolojilerini kullanmaktadır. Çok geniş ölçekli olmamakla birlikte, ülkemizde de özellikle sınırların korunması, toplumsal olayların kontrol edilebilmesi ve güvenliğin sağlanması amacıyla bilişim destekli araçlar kullanılmakta ve yüksek çözünürlüklü kameralar ile tespitler yapılabilmektedir. Toplum güvenliği, ekonomiye doğrudan / dolaylı katkısı ve diğer dış tehditlere karşı korunabilmenin tek şartı olan bu yapıların kumanda ve takiplerinin yapılabilmesi de ülke çapında geniş bir ağ gerektirmektedir. Bu nedenle IoT savunma sanayiinde de önemli bir konuma sahiptir ve gelecekte savunma sanayii sektörü de büyük ölçekli ulusal bir IoT ağı kurmalıdır.

1.5.5. Taşımacılık

Taşımacılık sektöründeki en büyük sorunlardan bazıları şunlardır; zamanında teslimatın gerçekleşmemesi, hava koşullarının kötü olması ve ulaşımı geciktirmesi, trafik yoğunluğunun fazla olması ve aracı takip edememe gibi problemler nedeniyle hem zaman hem de ekonomik kayıplar olabilmektedir. IoT yapısı ile araçlardaki vericiler vasıtasıyla araçlar takip edilebilecek ve yol durumu, hava koşulları ve alıcı ile olan ağ ortamı vasıtasıyla teslimatın gerçekleşmesi ya da gerçekleşmesi beklenen zamanın belirlenmesi konusundaki sorunlar da çözüme kavuşturulmuş olacaktır.

Otonom araçların ve taşımacılığın gündemde olduğu, özellikle taşımacılık sektöründeki ulaşım maliyetlerin azaltılmasına yönelik çalışmaların olduğu günümüzde ekonomik olarak daha avantajlı, takip edilebilir, iş akış ve süreçlerinin gözlemlenebilir bir ortamı yine IoT sağlayacaktır. Küresel ölçekli bir IoT ağının varlığı ile dünya üzerindeki herhangi bir noktada bulunan bir ürünün tedarik ve satın alma süreçlerinin takibi ve ulaştırma aşamalarının kontrolü yapılabilir.

1.5.6. Kamu Hizmetleri

Kamu hizmetlerindeki aksaklıkların takip edilmesi, yörede bulunan toplulukların ihtiyaçlarını giderebilmek ve sistemi takip edebilmek adına büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle yerleşim birimlerine verilen kamu hizmetlerindeki aksaklıklar günlük yaşamı olumsuz etkilemekte ve ciddi mali kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle nesnelerin interneti yapısının tüm kamu kurumlarında olması hizmet kalitesi, sürdürülebilirlik ve süreklilik ilkelerini kazandırmış olmakla birlikte verilen kamu hizmetlerinin de insanlara daha kolay sağlanması ve kişilerin kamu kurum ve kuruluşlarına gitmeden işlerini halletmesi maddi kayıpların önünü kesmiş olacaktır. Ülkemizde E-Devlet uygulaması kamu hizmetleri alanındaki nesnelerin interneti kavramı için bir başlangıç olarak görülebilir.

Ulaşım, HGS ve OGS gibi sistemlerin kurulması, kullanılması ve takibi de günümüzde ağ üzerinden yapılabilmektedir. Ancak daha geniş bir ağ yardımı ile bu tür hizmetlerin ve belediye hizmetlerinin halka ulaştırılması, takibi ve iyileştirilmesi de yine geniş ölçekli, farklı nesnelerin kullanılabilirdiği bir ağ ile mümkün olmaktadır.

1.5.7. Enerji Sektörü

Dünya genelinde enerji yatırımları ve enerjiye olan bağımlılık söz konusu iken nesnelere interneti enerji alanında tasarrufu ve enerjiyi etkin kullanmada kilit öncül olarak görülebilir. Enerji tüketiminin takip edilebilmesi ve müdahale edilebilmesi durumunda tasarruflu enerji kullanımı ve israfın da ciddi bir oranda önüne geçilmiş olacaktır. Ayrıca enerji tüketiminin büyük bir miktarı da kullanım olmadığı hallerde nesnenin gereksiz yere enerji tüketmesinden kaynaklanmaktadır. Bu konuda tasarruf ve internet ortamına bağlanan bu nesnelere takibi ve gerektiğinde uyku moduna ya da asgari enerji tüketimini sağlamak için uzaktan kontrolü (Remote Control - RC) gerçekleştirilebilir.

Özellikle enerji üretim, ulaştırma ve tüketim aşamasında takibinin yapılması, enerji kesintisi durumlarında anlık müdahalelerin yapılabilmesi için kalabalık bir nüfusa sahip ülkeler için bilişim teknolojilerinin kullanıldığı geniş bir ağ ile mümkündür. Güneş enerjisi, rüzgâr ve jeotermal gibi çevreyi koruyan enerji türleri ile dünyada iyi bir konumda olan ülkemizde de bu süreçlerin izlenmesi ve üretilen enerjinin takibi anlamında IoT ciddi anlamda ihtiyaçları karşılayacaktır. Zira geleneksel ağ yapısı böylesi bir sistemin sağlıklı bir biçimde işleyişini mümkün kılmakta yetersiz kalacaktır.

1.5.8. Tarım Uygulamaları

Nesnelere interneti ile birlikte tarım sektöründeki izleme, bilişim teknolojilerine dayalı bilgi edinme ve üretim kalitesi artmış olacak ve günümüzde klasik seracılık anlayışının ötesinde bir üretim ve Pazar piyasasına dönüşmüş olacaktır. Klasik seracılık ile fiziksel güç gerektiren ve sürekli olarak ilgilenilmesi gereken seralar artık otonom hale gelecek ve üretimde verimlilik ve kalite artacaktır. Bilgisayar destekli izleme, analiz ve ısıtma sistemlerinin yanı sıra uzaktan kontrol ve izleme olanaklarını da sağlayacaktır.

Bilgisayar destekli akıllı tarım ve üretim anlamında gelişmiş ülkelerde küçük ölçekli yapılar bulunmaktadır ve bu yapılar her geçen gün büyütülmektedir. Çünkü bilişim destekli tarım uygulamalarında verim oranı çok yüksek olmakta ve geleneksel üretim teknikleri kullanılmadan, daha sağlıklı ve daha kaliteli bir tarım anlayışını sunmaktadır. Bu yüzden IoT ile uzak mesafelerde bulunan tarım alanlarının da kontrolü mümkün olabilmektedir.

1.5.9. Akıllı Ev ve Şehir Uygulamaları

Tarım, endüstri, savunma sanayi, eğitim, sağlık, ulaştırma ve kamu hizmetlerinin elektronik ortam ile bütünleştiği bir yapılar topluluğunun akıllı ev ve akıllı binaların olmasını da gerekli kılacaktır. Günümüzde akıllı ev sistemleri ve aletleri ile gündelik yaşam daha kolay hale dönüşmüş durumdadır. Akıllı bir çevre oluşturmak hem yaşam refah düzeyini artırır hem de kişiler ve toplumlar arası bilgi, kültür ve fikir paylaşımını gerçekleştirir. İnternet altyapısının olduğu günden bugüne dek bilim ve teknik alanlarında yaşanan gelişmeler yüzyıllar boyunca gerçekleşmiş ilerlemelerden çok daha fazladır. Bu nedendir ki akıllı bir ortam oluşturmak sadece bilgi paylaşımı ve gelişmişlik düzeyini etkilemez, aynı zamanda toplumun refah ve huzur seviyesini de arttırmış olacaktır. Kendini güvende hisseden, dilediği her imkânı elinde bulduran gelişmiş ülkelerde meydana gelen toplumsal huzursuzluklar ve olaylar gelişmemiş ülkelere göre çok daha düşüktür. Ekonomik ve sosyal anlamda kalkınma, toplumların bilinçlendirilmesi ve gerekli sosyal ihtiyaçların akıllı bir dünya çerçevesinde sunulması IoT yapısı ile mümkün olup gelecekte çok daha geniş ölçekli ve ihtiyaçları karşılayabilen bir yapıyı oluşturacağı konusunda yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde bir kuşku bulunmamaktadır.

Nesnelerin interneti kavramı literatüre girdiği günden bu yana neredeyse tüm uygulamalar günlük yaşamımızın ayrılmaz birer parçası olan ev ve araçlar için uygulamalar geliştirildi ve internet ortamına aktarımları gerçekleştirilmek üzere çeşitli yatırımlar ve Ar-Ge çalışmaları yapıldı. Dünya genelinde piyasanın belirli bir kısmına hükmeden büyük firmaların çoğu günlük yaşamı kolaylaştırmak ve lüks standartlara ulaşabilmek adına adeta birbirleri ile yarışmakta ve özellikle son yıllarda çok ciddi bir rekabet söz konusu olmaktadır. Bu rekabetin de kilit elemanı yine nesnelerin interneti olmuştur. Akıllı ev, şehir ve araçlar ile maddi kazanımlar, zaman tasarrufu ve rahat bir yaşam biçimini sunan IoT kısmen günümüzde yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Ekonomik gelişmişlik ile doğru orantılı olan bilişim teknolojileri ve toplumsal refah düzeyi, geniş ölçekli bir IoT ağ yapısının gelişmesi ile daha fazla artış gösterecek, günümüz ve gelecek için vazgeçilmez olanaklar sunacaktır. Günümüzde IoT yapısındaki gelişmeler göz önüne alındığında, kişilerin ev ve iş ortamında bulunduğu çevre ve dış dünya ile iletişim halinde olduğu bir ortamın varlığı kaçınılmaz olacaktır.

1.6. Büyük Veri

Günümüzde günde binlerce Terabyte veri üretilmekte ve bugün dünyadaki verilerin %90'ını son iki yılda üretilen veriler kapsamaktadır. Bu veriler, iklim ve hava tahminleri için kullanılan sensörlerden, sosyal medya sitelerinden, akademik çalışmalardan, dijital resim ve videolardan, mobil cihazlardan ve GPS sinyallerinden elde edilen verileri kapsamaktadır. Bütün bu veri kümesine büyük veri kümesi (Big Data) denmektedir. Büyük veriler, gelişen ve yeni verilerin işletmelerin daha çevik olmasını ve daha önce ulaşamayacağımız düşünülen soruları yanıtlayabilmek için bir fırsat olmakla birlikte analizler sonucunda kullanışlı ve anlamlı verileri elde edebileceğimiz küme olarak da nitelendirilebilir. Sosyal medyanın, IoT kavramının, kısaca bilişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte büyük veri kümelerinde artış ve bu veri kümelerinden anlamlandırılmış verilerin elde edilerek yarar sağlanmaktadır. IoT ile birlikte karmaşık sistemler bütünlüğünde büyük veri kümelerinin artan bir ivme ile gelişeceği görülmektedir. Bu nedenle IoT konusu ele alınırken, henüz boyutları, gizlilik etkileri ve fiziksel mekanlardaki etkileri görülmeye başlanan büyük veri kümelerinin de bu sistemin bir ayrılmaz parçası olarak ele alınması ve bilinmesi gerekmektedir [69].

Bilişim teknolojilerinin geleceğini temsil eden bu soyut devrim olan IoT, dijitalleşen dünya denkleminin en önemli değişkeni olan bilgi ve bilginin işlenmesini çok büyük bir değere sahip etmiş, özellikle son dönemlerde IoT kavramının çok daha sık gündeme getirmiştir (Akıllı fabrikalar, akıllı şehirler, akıllı sağlık gibi farklı alanlardan örnekler verilebilir). Farklı ağ topolojilerinin bir arada bulunması, IoT'yi internet veya iletişim ağının basit bir uzantısı yapmaktan çok daha öteye taşımaktadır. Teknoloji endüstrisinin üçüncü dalgasının gelişmesiyle sonuçlanan bilginin işlenmesi, internet ve mobil iletişim ağlarının bütünleşmesiyle daha geniş bir yapıyı kapsamıştır. Geleneksel yöntemlerle oluşturulmuş karmaşık sistemlerde, mevcut internet yapısının ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Kısaca, günlük yaşantımızda kullandığımız hemen her türlü elektronik cihaza / nesneye farklı birer IP (IPv6) numarası verilerek adreslenmesiyle oluşan dünya çapındaki geniş ağ bütünü büyük veri kümelerinin de oluşmasının önünü açmıştır.

Eşi benzeri görülmemiş miktarda veri, sadece bilgi işlem düzeyindeki iş bazlı değil kişi ve kurumlara yarar da sağlar. Big Data kullanıcıların bilgiye ulaşımı, bulunduğu konumdaki bölgesel yönetime erişimini ve kendine yardımcı olabilecek yeni hizmetleri

oluşturmayı sağlar. Dijitalleşen dünyanın bir parçası olan bu tür veriler gelecekte IoT çatısı altında kentsel ve sosyal yaşamı güçlendirip yeni fikirleri / fikir akımlarını destekleyecektir.

Teknolojik gelişmeleri ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmek için üretilen akıllı nesnelere, akıllı uygulamalar, sanal dünya ve taşınabilir cihazlar ve sensörler gibi gelişmiş ve gelişmekte olan yeni teknoloji ürünleri IoT'yi bir bütün haline getiren, inovasyon ve dönüşüm süreçleri kısaltan bir olgu haline getirmiş ve gündemde olan akıllı şehirler, akıllı evler ve akıllı üretim gibi kısaca akıllı dünya ortamının oluşturulabilmesine olanak sağlamaktadır [1], [69]. Bu süreçte üretilen büyük veri kümelerinden yararlanabilmek, böyle bir yapının oluşturulması ve verim elde edilmesi kadar önemlidir.

1.7. IoT'de Kullanılabilen Teknolojiler

IoT karmaşık, akıllı, taşınabilir, geleneksel ve adreslenebilir tüm nesnelere bir araya gelmesiyle oluşan bir yapı olduğundan, IoT yapısı ele alındığında tüm algılama, iletim ve uygulama teknolojilerinin, akıllı sistemlerin ve nesnelere ele alınması, incelenmesi, irdelenmesi gerekir. Burada anlatılan teknolojiler IoT yapısının temel taşlarını teşkil etmekte olup, önerilen mimari modelin referans bir model olması açısından açıklanmışlardır. Söz konusu nesnelere ve teknolojilere değişiklik gösterebilirken, IoT referans yapısı değişim, ekleme ve güncellemelere karşı esnek bir yapıda olması gerekmektedir. Aksi takdirde referans mimari modelin varlığından söz edilemez. Bu nedenle önerilen mimari modelin yapısı esnek olup var olan geleneksel teknolojileri desteklerken, sonraki süreçlerde üretilebilecek teknolojileri de desteklemesi amaç edinilerek önerilmiştir. Özel amaçlı algoritmalar, protokoller, nesnelere ve servislerin hemen hepsi IoT yapısında kullanılır. Çünkü IoT tüm sistemlerin uyumlu bir biçimde ortak bir ağ üzerinden buluşmasını ve karmaşık sistemler bütününe sade ve kaliteli bir yaşam ortamı sunmayı amaç edinir.

IoT sistemi bir bütün olarak ele alındığında öncelikle Kablosuz Duyarga Ağlar (Wireless Sensor Networks - WSN), Yazılım Tabanlı Ağlar (Software Defined Networks - SDN), Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification - RFID), Yakın Alan/Mesafe İletişim (Near Field Communication - NFC), ZigBee, 6LoWPAN, IPv6, MIPv6 gibi teknolojilerinin ne olduğu ve IoT'de ne amaçla kullanılacağını anlamak gerekir.

1.7.1. Kablosuz Duyarga Ağlar

WSN, düğümleri, sensör ve arayüzleri, hesaplama, işlem birimleri ve güç kaynağı olan bir sistem bütünüdür. Farklı ortamlarda bulunan ısı, sıcaklık, nem, ışık, basınç, ses, hava koşulları, titreşim ve hareketler gibi fiziksel durumları duyargalar (sensörler) yardımıyla algılayan ve birbirlerinden bağımsız yani özerk olarak çalışan, algıladığı bu verileri toplayan, birleştiren ve ileten kablosuz, akıllı uygulama sistemleri bütünüdür. Mikro elektronik, şebeke ve iletişim alanlarındaki son teknolojik başarımları birleştiren yeni bir bilgi edinme teknolojisidir. Kablosuz ortam aracılığıyla kısa mesafelerde iletişim kurar ve ortak bir görevi yerine getirmek için koordineli olarak çalışırlar. WSN teknolojisi temelinde geleneksel kablosuz Ad-Hoc ağlarına dayanır ancak yapısı genel itibariyle Ad-Hoc ağlarından farklıdır. WSN'lerde düğümlerin enerjisi, veri işleme, iletişim ve depolama yetenekleri sınırlıdır. Enerji tasarrufu güvenilir bir biçimde çalışabilmesi için vazgeçilemez bir ön şarttır ve etkili enerji ve kaynak yönetimi göz önüne alınması gereken teknik konuların önemli bir parçası haline gelmiştir ve bu nedenle enerji tüketimi araştırması daha fazla ilgi görmüştür [70], [71].

IoT ile bütünleşen bir WSN ortamı, daha etkin, kaliteli ve hızlı bir hizmet sunacaktır. Çünkü IoT yapısının fiziksel / algılama katmanının büyük bir kısmını teşkil eden WSN hem verilerin fiziksel ortamdan algılanması hem de verilerin hızlı ve etkin bir biçimde iletilmesini sağlayan bir teknolojidir. Haberleşme ve veri paylaşımı konusunda etkin olan WSN, önerilen mimari modelde verilerin algılanması ve algılanan verilerin değerlendirilerek eyleyicilerin çalıştırılması ve eylemin gerçekleşmeye devam etmesini sağlayan etkin yapıyı sağlamaktadır.

1.7.2. Yazılım Tanımlı Ağ

SDN ağın merkezi ağ kontrolü aracılığıyla programlanmasına yönelik mevcut ağ mimarisine farklı bir yaklaşımla daha esnek, daha yönetilebilir ve daha iyi görüntülenebilir olmasını sağlamak için geleneksel ağlarda dikey entegrasyonu ortadan kaldıran, çalışma ortamına bağlı olarak ağ parametrelerini anında uyarılama yeteneğine sahip, ağın daha esnek ve kolaylıkla yönetilmesi için çözüm üreten, verimli kaynak kullanımı ve yüksek performans elde etmeye ve ağ görünürlüğünü sağlayan, genel ağ performansını arttırmak için güvenlik, enerji verimliliği ve ağ sanallaştırmayı sağlayan yeni bir yaklaşımdır [72].

IoT’de SDN mimarisi üzerine kurulmuş ağ yapılarındaki temel amaçlardan birisi de büyük veri kümelerinin oluşmasındaki ilk adım olan algılama katmanında kullanılacak verilerin seçilmesini ve oluşacak veri kirliliğinin engellenmesi merkezi kontrol yapısı ile sağlanır [73].

Literatürde SDN yapısı kullanılarak önerilen IoT mimari modellerin bulunmaktadır. Temelinde yazılımsal ya da kontrolör yapısının kullanılarak verilerin analiz edilmesini öngörmektedir. Önerilen mimari modelde bu yapıyı üstlenen karar alt katmanıdır. SDN daha etkin, daha ekonomik ve daha hızlı bir ağ ortamı sunduğundan IoT yapısında olmasını gerekli kılmaktadır. Özel amaçlı projeler, sensör teknolojisinin kullanılarak özel verilerin değerlendirilip iletilmesini sağlamak açısından uç teknoloji olarak kullanılabilir.

1.7.3. Radyo Frekanslı Tanımlama

RFID bir etiket ve bu etiketi algılayıp okuyabilen bir okuyucudan oluşan, radyo frekanslarını kullanarak nesnelere otomatik olarak algılayan ve tanıyabilen, pratiklik, esneklik sağlayan ve 100 kHz – 5.8 GHz frekans aralığına sahip olan bir uygulama teknolojisidir. Boyutu küçük olmasına karşın geniş bir bellek alanına sahip, yeniden kullanılabilir ve kısa sürelerde tarama yapabilen, basit bir yapıya sahip, kolay kullanımı ve otomatik olarak çalışmadaki uygunluğundan dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. RFID’nin yakın gelecekte hemen her meslekte yaygın olarak kullanılabileceğinden hiç kuşku yoktur [16], [74], [75].

Nesnelerin belirli bir mesafeden tanınması ve izlenmesi mantığına dayanan RFID 2 temel bileşenden meydana gelir; Etiket ve Okuyucu. Etiketlenen nesnelerin okuyucu yardımı ile belirli bir mesafeden bu etiket okunur ve okunan nesnenin hangi sınıfa ait olduğu tespit edilir. Bu nedenle üretim, pazarlama, satış, takip, süreç izleme, sağlık, eğitim, ulaşım gibi hemen her alanda etiketleme ve sınıflandırma gibi işlemler çok büyük bir öneme sahip olup, hızlı ve yeniden kullanılabilir olması nedeniyle RFID bu konudaki çözüm olacaktır. Farklı ID’lerle etiketlenmiş nesnelerin kullanılması ve olası bir karmaşanın önüne geçilmesi hem süreçleri hızlandırır hem de maliyeti düşürme konusunda ciddi bir oranda yardımcı olur.

1.7.4. Yakın Alan İletişimi

NFC geliştirmekte olan yenir bir teknolojidir. Adreslenebilir nesnelerin (bilgisayarlar, mobil cihazlar... vs.) sayısındaki artış ve bu nesnelerin kısa menzilli temassız iletişim kurması akademik ve endüstri alanında kullanılabilir ve ilgi çekici bir hal almıştır [78]. RFID yapısında olduğu gibi bir etiket ve okuyucu ile çalışmaktadır ancak RFID yapısı radyo frekansı kullanırken NFC manyetik alan indüksiyonu kullanarak iletişimi gerçekleştirir. Ayrıca RFID'ye göre daha kısa mesafelerde ve daha düşük bant genişliğinde iletişimi gerçekleştirir. NFC mağazalarda kolay ödeme imkanları gibi birçok kullanışlı hizmeti sunması ve cihazlar arasında hızlı ve güvenilir bağlantı kurması yönüyle yaygın kısa mesafe kablosuz iletişim teknolojisi haline gelmiştir [16], [76], [77].

Farklı elektronik nesnelerin kablosuz bir ortamda temessız ve güvenli bir biçimde haberleşmesi mantığına dayanan NFC günümüzde ödemelerde, HGS ve OGS gibi turnike geçiş sistemlerinde kullanılmaktadır. Yakın gelecekte büyük şirketler, gelişmiş ülkeler ve finansal sektörlerin büyük bir bölümü dijital para birimine geçmek istediğini dile getirmekte ve özellikle nakit likidite ve ödemeler konusunda NFC'nin çözüm olacaktır.

1.7.5. ZigBee

802.15.4 standardını temel alan ve adını arıların çiçekler arasındaki zig - zaglı karmaşık hareketlerinden alan ZigBee BlueTooth ve Wi-Fi gibi kablosuz haberleşme teknolojilerinin bazı uygulamalarda elverişli olamadıkları için 1990'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmiş bir Mesh (karmaşık) ağ türüdür. ZigBee düşük hızlı kişisel ağ olarak ta bilinmektedir (Low Rate Wireless Personal Area Networks - LoRaWPAN). Düşük maliyetli ve düşük güç tüketimi nedeniyle ağ yapılarında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. IoT sistemi içerisinde düşük güç tüketimi çok büyük önem arz etmektedir. ZigBee'nin farklı ağ yapıları olup çeşitli yapılarıdaki ağları destekler [16], [78], [79]. Bu nedenle ZigBee IoT için önemli bir parça halini almaktadır.

Hızlı kurulabilmesi, düşük güç tüketimi, güvenlik, ucuzluk, fazla sayıda düğüm desteği, güvenilirlik ve platform bağımsızlığı en büyük tercih edilme nedenlerindedir. Ayrıca; akıllı ev sistemlerinde, araçlarda, sanayii ve tarımda, sağlık ve güvenlik sektörlerinde kullanımı oldukça yaygın olmakla birlikte her geçen gün daha da yaygın hale gelmektedir. Düşük veri aktarımı ve güç tüketimi konusunda kullanışlı olması, birbirleriyle

iletişim kurma kabiliyetleri ve farklı topolojileri destekleme sayesinde IoT’de özellikle algılama katmanında algılayıcılar ile eyleyiciler arasında, akıllı ev ve araçlar gibi yeni nesil karmaşık sistemlerde kullanılabilir.

1.7.6. Düşük Enerjili BlueTooth

Nesneleri / cihazları birbirine kısa mesafelerden bağlamak, kablosuz veri gönderip almak için kısa mesafeli radyo dalgalarının kullanıldığı bir teknolojidir. 1990’lı yılların başlarında Ericsson tarafından geliştirilen BlueTooth (BT) teknolojisi sonraki yıllarda geliştirilerek daha kullanışlı, bağlantı sayısının artırılması, gönderilen veri miktarındaki artış ve veri aktarım hızlarının iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapıldı ve son olarak günümüzde düşük güç tüketimi ile gündeme gelmiştir (BlueTooth Low Energy). 2010 yılında piyasalara sürülen Düşük Enerjili BlueTooth Modülü (BlueTooth Low Energy - BLE) ile gönderilen veri miktarı klasik BT’a göre daha fazla ve güç tüketimi ise çok daha azdır. Son olarak IoT’de kullanılabilmesi için güvenlik ve gizlilik protokollerinde değişim ve güncellemeler yapılmıştır. Bu nedenle IoT sistemleri için tercih edilmektedir [80] - [85]. Kapsama alanı (yaklaşık 100 metre), klasik BT teknolojisinin on katına, gecikme süresi ise 15 kat daha kısadır. 0.01 mW ile 10 mW gibi düşük bir iletim gücü ile çalıştırılabildiğinden IoT uygulamaları için uygun bir elemandır [11], [86], [87].

Otomotiv, spor, sağlık, eğlence, eğitim, akıllı ev sistemleri ve ulaşım gibi sektörlerde kullanım örnekleri bulunan bu teknoloji gelecekte çok daha yaygın hale gelecektir. Çünkü günümüzde en büyük problem haline almış olan enerji tüketimi problemi giderek artmakta ve bu nedenle güç tüketiminin minimum olan teknolojilerin hem IoT hem de diğer tüm yapılarda kullanılacağı ve yine güç tüketimi konusunda iyileştirmeler yapılacağı da görülmektedir. Ayrıca geleneksel BlueTooth’tan bir diğer farkı ise bit düzeyinde hata oranı ve sinyal gürültü oranının daha düşük olmasıdır.

Temelde farklılıklar gösteren tüm algılama teknolojileri, esasen ortak bir amaca hizmet etmektedirler. Verilerin algılanması ve iletilmesi konusunda birbirlerinden farklılıklar gösteren bu teknolojilerin de kullanım alanları kısmen benzerlik gösterse de çoğu zaman farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadırlar. IoT yapısının, önerilen tüm mimari modellerin ve özellikle algılama katmanlarının incelenmesi, verilerin alınması, işlenmesi ve iletilmesi konularının detaylı bir biçimde anlaşılması için algılama teknolojilerinin güç tüketimleri, frekans aralıklarının incelenmesi ve bu değerlerin IoT sistem bütününde nasıl

bir etki yaratacağı ve nasıl bir yol izleneceği ile ilgili değerlendirmeler yapabilmek için gereklidir. Çünkü tüm bu sistemleri bünyesinde barındıracak olan IoT'de veri iletimi, güç tüketimi ve frekans aralığı gibi durumların detayları ile incelenerek tasarlanmalı aksi takdirde kurulacak yeni sistem problemleri de beraberinde getirecektir.

Tablo 1.1. Algılama teknolojilerinin karşılaştırılması [9], [16]

Parametre	WiFi	WiMAX	ZigBee	GSM/GPRS	BlueTooth
Standart	IEEE 802.11 a/b/c/d/g/n	IEEE 802.16	IEEE 802.15.4	2G GSM CDMA, 3G - UMTS CDMA2000, 4G - LTE	IEEE 802.15.1
Frekans Aralığı	2.4-5 GHz	2-66 GHz	868/915 MHz, 2.4 GHz	865 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz
Veri İletimi	1 Mbps-6.75 Gbps	1 Mbps-1 Gbps, 50-100 Mbps (Mobil)	40-250 Kbps	2G: 50-100 Kbps, 3G: 200 Kbps, 4G: 0.1-1 Gbps	1-24 Mbps
Kapsama Alanı (m)	1 – 100	0 - 50	1 – 100+	1000+	1 – 10+
Güç Tüketimi	Yüksek	Orta	Çok Düşük	Orta	BT:Orta, BLE: Çok Düşük
Odaklanma Alanı	Web, E-Posta, Görüntü	Web,E-Posta, Görüntü	İzleme, Kontrol	Geniş Alan, Ses, Veri	Kablosuz
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük

1.7.7. 6LoWPAN

LoWPAN (Low Power Personal Area Networks) düşük bant genişliği, sınırlı paket boyutu, çeşitli adres uzunluğu gibi özel niteliklere sahip, temelinde IEEE 802.15.4-2003'e dayanan, IPv6 paketlerinin 802.15.4 bağlantıları üzerinden taşınmasına olanak tanıyan uyum katmanı görevini de üstlenmiş olan ve 2007 yılında geliştirilen kablosuz ağ yapısı olup geleneksel bağlantı teknolojilerinden farklı özelliklere sahiptir. Ayrıca, veri iletim yükünü azaltmak için başlık sıkıştırımayı sağlar. Yine NO 6LoWPAN başlığı yardımıyla 6LoWPAN yapısına uymayan paketler atılır. IPv6 başlıklarını iki bayta kadar düşürebilme yeteneği sayesinde IPv6 işlem yükünü en iyi durumda tek bir bağlantı üzerinden iletir. Mevcut mimarilerle daha iyi bağlanabilirlik içeren 6LoWPAN'ın bulunduğu bir ağda 6LoWPAN protokolünü kullanabilmek için her düğümün aynı protokolü tanınması gerekmektedir [11], [88].

Kısaca 6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks) düşük güç tüketimiyle IPv6 paketlerinin 802.15.4 standardına uygun bir şekilde nesnelere / cihazların kullanmasına olanak tanıyan (link katmanında mesh (802.15.5) yapısı desteği vardır [71].) ve kablosuz ağlarda iletilmesini sağlayan IPv6 ağ teknolojisini kullanan açık bir protokoldür.

Düşük bellek, uçtan uca entegrasyon, çoklu topoloji seçeneği, uzun pil ömrü, yüksek veri kapasitesi ve düşük maliyet gibi özelliklerinden dolayı IoT'nin en önemli parçasını teşkil etmektedir [71], [89]. IoT'de internet ağına bağlanabilen veya dolaylı olarak veri toplayan tüm aygıtlar nesne olarak tanımlanmaktadır.

Bütün bu nesnelere farklı birer adrese sahip olmak zorundadırlar. Günümüzde bu nesnelere veri iletimi ve bağlama ile ilgili klasik IP iletişim protokolünü kullanmaktadırlar. IPv4'ün artık yetersiz kaldığı görülmektedir. Çünkü milyarlarca nesneyi adresleyebilmek için yeterli adrese sahip değildir. Bu probleme çözüm olarak geliştirilen 128 bitlik IPv6 sorunları ortadan kaldıracaktır ancak her nesnenin IPv6 ile adreslendirilebileceği anlamını taşımamaktadır. Bu nedenle belirli noktalarda ID'ler verilen düğümlerden gelen isteklerin ağ içerisinde dolaşmasını sağlayan yapıdır.

1.7.8. IPv6

Klasik bir ağ yapısında olduğu gibi çok daha geniş ve karmaşık yapısı olan IoT’de de nesnelerin birbirleri ile iletişim kurabilmeleri için belirli kurallara ve her nesnenin farklı bir internet protokolüne IP ihtiyaçları vardır [90]. Bu farklı ve nesneler için ayırt edici IP adresleri nesneler arası iletişimin güvenli ve güvenilir bir biçimde kurulmasını sağlar ve veri iletiminde anahtar elemandır. Günümüzde kullanılan IPv4 ihtiyaçları karşılamakta ancak çok kısıtlı kalmaktadır. Zira teknolojik gelişmeleri takiben önümüzdeki yıllarda internet ortamına bağlı nesne sayısında (ihtiyaçlar doğrultusunda) aşırı bir artış olacağı aşikardır.

Günümüzde kullanılan ve 32 bitlik adres alanına sahip olan IPv4, 2^{32} yani 4,294,967,296 farklı adresi destekler. Ancak bu sayı günümüz nesne sayısı için bile çok kısıtlı olup, yetersiz kalmaktadır. IPv6 ise 128 bitlik bir adresleme alanına sahip olup 2^{128} yani 340,282,366, 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 (3.4×10^{38}) tane farklı adresi desteklemektedir. Bu nedenle günümüzde ihtiyacı karşılayabilecek kapasiteye fazlasıyla sahip olmakla birlikte, gelecekte sayılarının birkaç milyarı geçeceği düşünülen nesnelerin / cihazların farklı IP adreslerini karşılamakta da yeterli olacaktır [92].

IPv6 çok sayıda adres desteğinin yanı sıra sade başlık yapısı, multicast özelliği, gelişmiş ve kaliteli servis hizmeti, ICMPv6 protokolü (komşu düğüm etkileşimlerinde), otonom adresleme, ağ adres dönüştürme (Network Address Translation – NAT)’ye ihtiyaç duymaması gibi özellikleri ile de IoT yapısını güçlendirecek ve sistem sağlamlığı, güvenliği, güvenilirliği ve bütünlüğünü de korumuş olacaktır [16].



Şekil 1.7.1. IPv6 yapısı

1.8. IoT’de Kullanılabilen Diğer Protokoller

IoT tüm nesnelere birbirine bağlamayı amaç edindiğinden, IoT’nin karmaşık ağ yapısında birçok teknolojinin kullanılması kaçınılmazdır. Bu nedenle platform ve teknolojik alt yapı farklılıkları gözetmeksizin tüm bilişim teknolojilerinin bu yapıya dahil edilmesi ve değerlendirmelerinin yapılarak sisteme uyumluluğu incelenmelidir. IoT yapısında kullanılacak / kullanılması gereken teknolojiler ve protokoller bölüm 1.2’de açıklanmıştır. Bunların dışında da kullanılabilir olan çok sayıda uygulama, yazılım, donanım ve protokoller bulunmaktadır ve geliştirilmeye de IoT olgusu olduğu sürece devam edeceği görülmektedir.

1.8.1. Sınırlı Uygulama Protokolü

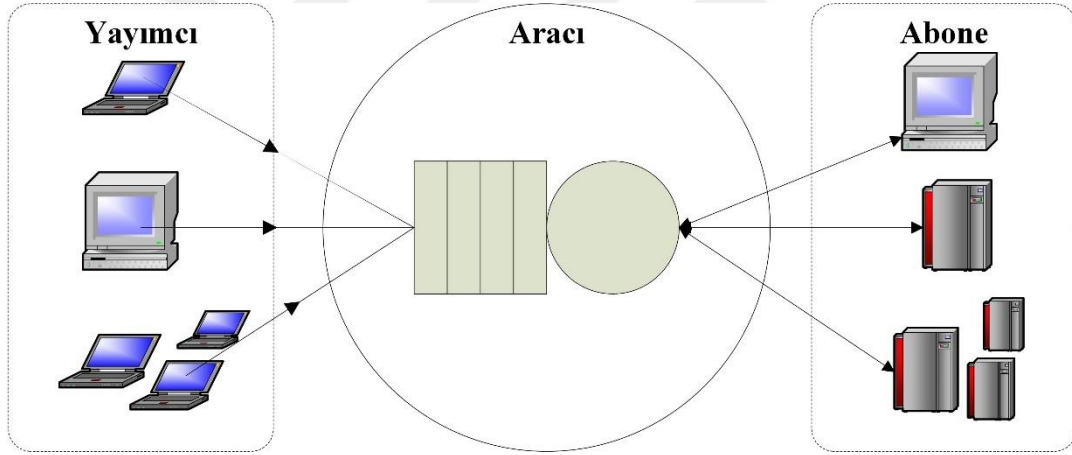
CoAP, düşük güç tüketimi, hızlı ve güvenilir hesaplama yeteneği ve iletişim yetenekleri olan küçük nesnelere / cihazların birbirleri ile etkileşim halinde bulunmasını sağlamayı amaçlayan, ileti ve istek / yanıt alt katmanlarından oluşan, UDP üzerinden güvenilir iletişim sağlayan, sınırlı ağ ve düğümler için kullanılmak üzere özelleştirilmiş bir web aktarım uygulama katmanı protokolüdür. İleti alt katmanı çoğalmaları algılamak, hata kurtarma yapısına sahip olmadığı için güvenilir iletişimi UDP üzerinden sağlar. Dört farklı mesaj türünü kullanır. Bunlar; onaylanabilir, onaylanamayan, sıfırlama ve onaylama mesajlarıdır [11].

Akıllı ev, bina, şehir ve M2M uygulamaları için geliştirilmiş olan CoAP, istemci ve sunucu arasındaki etkileşimi sağlar. HTTP ile entegre çalışan (http işlevleriyle Temsili Durum Transferi (Representational State Transfer - REST) temel alan), kullanıcı dostu arayüzler, çoklu yayın desteği ve kısıtlı ortamlar için çok az yük gibi özel ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanmış olup bu ihtiyaçlar doğrultusunda IoT yapısına dahil edilmiştir. REST önbelleklenebilir bir bağlantı protokolü olarak ta görülebilir. Sosyal medya ve mobil ağ uygulamaları içinde kullanılan ve HTTP fonksiyonlarını (get, post, put, delete) kullanarak belirsizliği ortadan kaldırır. Ayrıca mesaj alışverişi için genişletilebilir işaretleme dili (eXtensible Markup Language – XML) kullanmayı gerektirmez.

1.8.2. Mesaj Kuyruğu Telemetri Ulaşımı

Nesneleri / cihazları ve ağları uygulama ve katman yazılımları kullanarak birleştirmeyi amaçlayan, bağlantı işlemi için bir yönlendirme mekanizması kullanan, IoT ve M2M için optimal bir bağlantı protokolü olan MQTT Andy Stanford-Clark ve Arlen Nipper tarafından 1999 yılında OASIS'te tanıtılmış ve 2013 yılında standartlaştırılan, küçük, gecikmeli veya güvenilir ağlar için optimize edilmiş küçük sensörler ve mobil cihazlar için hafif bir mesajlaşma protokolü olup, daha akıllı bir ortam ve M2M bağlantısını sağlayan bir uygulama katmanı mesajlaşma protokolüdür [11], [91].

Abone, aracı ve yayıncı olmak üzere temelde üç bileşenden oluşan MQTT, abonelere bilgileri aracı vasıtasıyla aktarır. Ayrıca aracı, yayıncı ve abonelerin yetkilerini kontrol ederek güvenliği de sağlar.



Şekil 1.8.1. MQTT yayımcı ve abone arası veri iletimi

1.8.3. Genişletilebilir Mesajlaşma ve Durum Protokolü

XMPP çok katılımcılı sohbet, sesli ve / veya görüntülü aramalar gibi amaçlar doğrultusunda kullanılan, açık, güvenli, spamsız, ve merkezi olmayan mesajlaşma protokolünü desteklemek için Jabber Açık Kaynak Topluluğu tarafından geliştirilmiş bir anlık mesajlaşma (Instant Messaging - IM) standardıdır. Platform bağımsız olan XMPP internet ortamında anında ileti göndererek kişilerin ve / veya nesnelerin / cihazların birbirleriyle iletişim kurmalarını sağlar. Kimlik doğrulama, erişim kontrolü, gizlilik ölçümü,

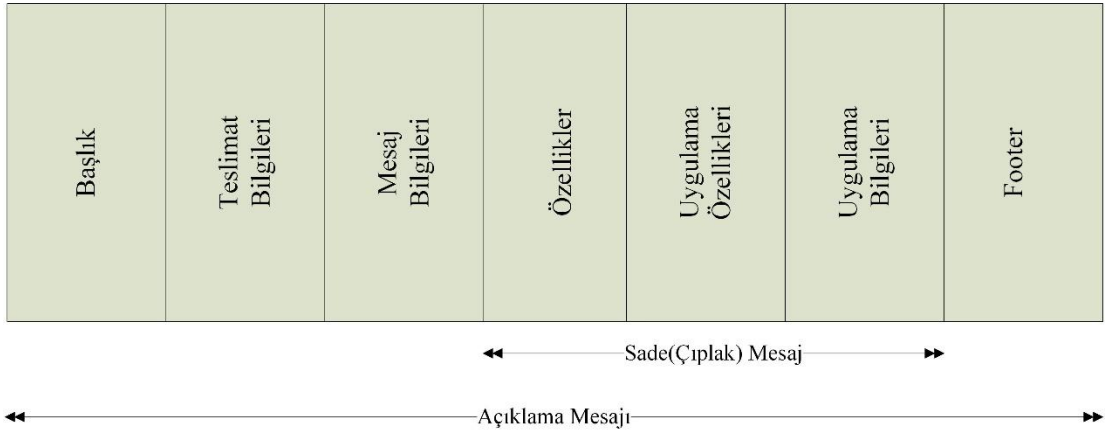
noktadan – noktaya ve uçtan uca şifreleme ve diğer protokoller ile uyumluluk sağlayan bir yapıdır. Bu yönleriyle IoT’de kullanılması son derece önemli olan bir teknolojidir [11].

1.8.4. Gelişmiş Mesaj Kuyruk Protokolü

Evrensel bir protokol tanımlayarak uygulamaları birbirleriyle çalışabilir hale getiren, güvenilir iletişimi destekleyen, veri alışverişini yapmak için TCP gibi güvenilir bir aktarım protokolü gerektiren, IoT’de mesaj odaklı ortamlarda kullanılmak üzere çıkarılan açık standart bir uygulama katmanı protokolüdür [92].

Güvenilir bir iletişim için en az bir kere ve tam anlamıyla teslimatın gerçekleşmiş olması ilkesine sahiptir. Kablolü düzeyde bir protokol tanımlayarak uygulamaların birlikte çalışabilir olmasını sağlar. Temelde iki bileşenden meydana gelir. Bunlar; alışveriş ve mesaj kuyruklarıdır.

Mesajlar kuyruklama yöntemi kullanılarak alıcılara iletilir. AMQP, bu modelin yanı sıra yayın / abone iletişim modelini de desteklemektedir. Taşıma katmanında kullanılan bir protokol olup, başlık, öncelik, dayanıklılık, mesajın yaşam süresi, ilk teslim alan ve teslimat sayısı gibi parametreleri taşır.



Şekil 1.8.2. AMQP mesaj formatı

1.8.5. IEEE 802.15.4

Düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları (Low Rate Wireless Personal Area Networks - LoRaWPAN) için Orta Erişim Kontrolü (Medium Access Control – MAC) ve fiziksel katman için özelleştirilmiş bir alt katmanı belirtmek için oluşturulmuş bir protokoldür [93].

Düşük güç tüketimi, düşük veri iletim hızı, düşük maliyet ve yüksek ileti gönderme gibi özellikleri nedeniyle IoT, M2M ve WSN'ler için ideal bir protokoldür. Çoklu düğüm desteği ve farklı platformlarda güvenilir bir iletişim sağlamakla birlikte yüksek seviyede güvenlik, şifreleme ve kimlik doğrulama hizmetlerini de sunar. Ayrıca düşük güç tüketimi olan nesnelere düşük veri hızı hizmeti sunmaya odaklandığından ve kablosuz duyurular için bir ağ protokol yığıtı oluşturduğundan ZigBee protokolünün de temelini oluşturur. Üç farklı frekans kanal bandını kullanan bu protokol doğrudan sıralı yayılma spektrumu yöntemini (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) kullanır. Kullanılan frekans kanallarını temel alan fiziksel katman, üç kanal üzerinden veri iletir ve alır. Bunlar; 2.4 GHz'de 250 kbps, 915 MHz'de 40 kbps, 868 MHz'de 20 kbps'dir. Yüksek frekanslar ve geniş bantlar yüksek verim ve düşük gecikmeler sağlarken, daha düşük frekanslar daha iyi hassasiyet sağlar ve daha büyük mesafeler kapsar [11].

1.8.6. Küresel Elektronik Ürün Kodu

Elektronik Ürün Kodu (Electronic Product Code - EPC), öğeleri tanımlamak için bir RFID etiketinde depolanan ve tedarik zinciri içerisinde kullanılan benzersiz bir kimlik numarasıdır. Fiziksel nesne düzeyindeki verilerin algılanması aşamasında ve öncesinde etiketleme ve sınıflandırma yapılması, her bir RFID etiketinin kendine has bir 96 bitlik bir EPC kodunun olması sayısız nesnenin etiketlenebilmesi ve kullanılabilmesi olanağını tanıır.

IoT'nin geleceği için umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Ölçeklenebilirlik, birlikte çalışabilirlik, güvenilirlik, nesne / cihaz kimlikleri ve hizmet keşifleri gibi temel IoT gereksinimlerine olan desteğin ötesinde yer alan bir teknolojidir [92]. EPC 96, 64, 64, 64 olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılır ve bu da benzersiz kimliklere sahip olmak üzere milyonlarca firmaya ürün ve sınıflar için milyarlarca farklı seri numarası imkânı verir [11].

1.8.7. Gelişmiş Uzun Vadeli Evrim

LTE-A, özellikle altyapının uzun süreli dayanıklılığının beklendiği akıllı şehirler için makine tipi iletişim (Machine Type Communication - MTC) ve IoT altyapılarına iyi uyan, servis maliyeti ve ölçeklenebilirlik açısından diğer hücresele çözümlere daha iyi performans sergileyen, kanal bant genişliğinin fiziksel kaynak blokları (Physical Resource Blocks – PRB) olarak adlandırılan daha küçük bantlara bölünmesiyle elde edilen ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple - OFDM) kullanan fiziksel katmandaki bir dizi hücresele iletişim protokolünü kapsayan yapıdır. Eş zamanlı beş adet 20 MHz bandına sahip olmasını sağlayan çok bileşenli bir taşıyıcı yayma spektrum tekniğini kullanır. Mimarisi iki temel parçaya dayanır. Bunlardan birincisi, mobil cihazları kontrol eden ve IP paket akışlarıyla ilgilenen çekirdek ağ (Core Network - CR), diğeri ise kablosuz iletişim ve radyo erişimini yöneten ve kullanıcı ve kontrol düzlemi protokollerini kuran radyo erişim ağı (Radio Access Network - RAN)'dır. Mobil ve MTC nesnelere / cihazları, baz istasyonlarına ya doğrudan veya MTC geçidi (Machine Type Communication Gateway - MTCG) yardımıyla bağlanır ya da diğere MTC cihazlarıyla doğrudan iletişim kurabilirler [94]. Bu nedenle LTE-A, IoT iletişim ağı yapısında büyük bir öneme sahiptir.

1.8.8. Z-Dalgası

Akıllı evlerde, küçük ölçekli ticari alanlarda ya da uzaktan kumanda edilebilen / edilmesi gereken uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan bir iletişim protokolüdür. Yaklaşık olarak 30 metrelik bir alanı kapsayan, ışık kontrolü, ev aletleri kontrolü, akıllı enerji, giyilebilir sağlık nesnelere kontrolü ve yangın algılama gibi küçük veri iletimine ihtiyaç duyan duyarlar ve uygulamalarda kullanılır.

Yapısında controller (denetleyici) ve slave (bağımlı) düğümler bulunur ve bu düğümler üzerinden iletişim gerçekleştirilir. Bir denetleyici yönlendirme ve güvenlik / güvenilirlik amacıyla bütün ağ topolojisinin bir tablosunu / haritasını tutar. Ayrıca bu prokoldeki yönlendirme, kaynak yönlendirme yöntemiyle (bir denetleyicinin yolu gönderdiği bir paket içerisine yerleştirmesiyle) gerçekleşir [11], [95].

Ev veya diğere ortamlarda nesnelere kullanıcı veya kendi aralarında haberleşebilmesine olanak tanıyan Z-Dalgası esasen bir uygulama protokolü ve standardı olup nesne haberleşmesinde etkin olarak kullanılabilir, maliyeti düşürebilen ve özellikle

fiziksel katmanda nesnelere ve çevreden veriler algılanırken kullanılır ve verilerin seçilmesi, analizi, iletilmesi gibi işlemler için verilerin uygulama katmanına kadar gitmesinin önüne geçilerek daha sağlıklı, kullanışlı ve anlamlı verilerin üst katmanlara iletilmesini sağlar.

IoT yapısında kullanılacak teknolojiler bakımından çok farklı ve oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Farklı uygulama, donanım, yazılım ve protokolleri bünyesinde barındıran IoT için Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ve The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) tarafından katmanlarına göre en sık kullanılan genel protokollerin sıralaması katmanları ile birlikte Tablo 1.2’de verilmiştir.

Bu protokollerin dışında kullanılabilecek protokoller de vardır ancak en sık kullanılacak ya da kullanılması muhtemel olan protokoller belirtilmiştir. Ayrıca ilerleyen süreçlerde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte, güncellenecek ya da yeniden geliştirilecek olan özel ya da genel amaçlı protokoller de eklenecektir.

Tablo 1.2. IoT mimarilerinde en sık kullanılan protokoller

Uygulama Protokolleri	DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-SN	XMPP	HTTP	REST
Hizmet Keşif	mDNS					DNS-SD		
Altyapı Protokolleri	Yönlendirme Protokolü	RPL						
	Ağ Katmanı	6LoWPAN				IPv4 / IPv6		
	Bağlantı Katmanı	IEEE 802.15.4						
	Fiziksel Katman	LTE-A	EPC Global		IEEE 802.15.4	Z-Wave		
Etkili Protokoller	IEEE 1888.3, IPSec					IEEE 1905.1		

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

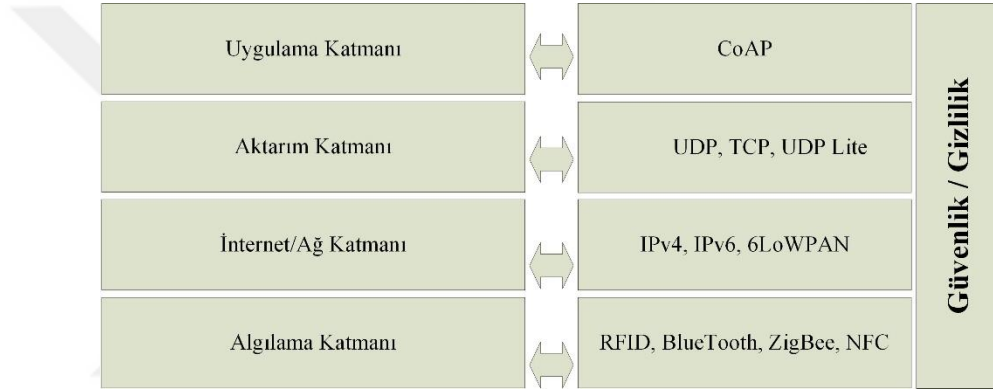
Bu çalışmada, literatürde geçen genel ve özel amaçlı tüm mimari modeller taranmış olup 1. Bölümde detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Önerilen mimari modeller havuzunda bulunan mimari yapılar içerisinde henüz temel veya referans model olacak kadar kapsamlı bir yapı bulunmadığından, referans model olabilecek, gelişim sürecini hızlandırabilen, projelerin daha kısa sürede gerçekleştirilmesi ve IoT'nin daha iyi anlaşılabilmesi için geniş teknolojik altyapı kullanabilen bir mimari model ihtiyacı doğmuştur. Literatürde çok sayıda mimari model bulunmaktadır ancak var olan mimari model yapıları temelde benzerlikler göstermekte, veri algılama ve veri iletimi konusunda eksiklikleri bulunmaktadır.

IoT ağının genişlemesiyle birlikte ağdaki trafik, veri işleme ve depolama gibi durumlar da üstel bir şekilde artış gösterecektir. Bu nedenle bir IoT sisteminin tasarlanması aşamasında teknolojik gelişmeler ve ağa bağlanacak nesne sayısının da göz önüne alınması gerekmektedir. Ayrıca, sistemler / platformlar arasındaki sınırlı birlikte çalışabilirlikten kaynaklanan problemler nedeniyle IoT'nin gelişme hızında görülen yavaşlamalar, gizlilik / güvenlik ve ölçeklenebilirlik gibi servis kalitesi kriterleri ile ilgili birçok zorluk ve problem de beraberinde gündeme gelmektedir. Dolayısıyla, IoT için önerilen yeni mimari model, ölçeklenebilirlik, birlikte çalışabilirlik, güvenilirlik gibi servis kalitesi kriterlerini (QoS) sağlamalıdır. Bu sorunları çözmek için, farklı uygulamalar için bir çerçeve sağlayarak, ortak bir anlayış sağlamak ve sonuçta, IoT alanındaki mevcut çalışmaların yeniden kullanılmasını sağlamak için, referans bir mimari model uygun bir araç olacaktır. Ayrıca, gelecekteki çalışmaların mimari yapının sağlamlaştırılması, eksiklerinin giderilmesi, protokol yığın yapılarının güncellenmesi gibi alanlarda olması, daha hızlı bir gelişim sürecinin oluşmasını sağlayacaktır.

Büyük ölçekli IoT uygulamalarının gelişmesini etkileyen en önemli sorunlardan bir diğeri ise, sürekli gelişen ve değişen çeşitli teknolojilerin birlikte çalışabilirliğe ihtiyaç duymalarıdır. Her nesne ya da insan için ağ bağlantısı ya da sosyal interneti sağlayan IoT, iletişim kurma, bilgi alışverişi, zorlu kararlar alma, eylemleri gerçekleştirme gibi hizmetleri istemciye sunar. Ayrıca IoT'nin teknolojik gelişim eğilimi, kişisel, mesleki ve ekonomik faydalar getirme potansiyeline de sahiptir. Yine günümüzde IoT'nin standart bir mimari yapısının olmaması geniş bir alana uygulanmasını zorlaştırmakta ancak temel bir model

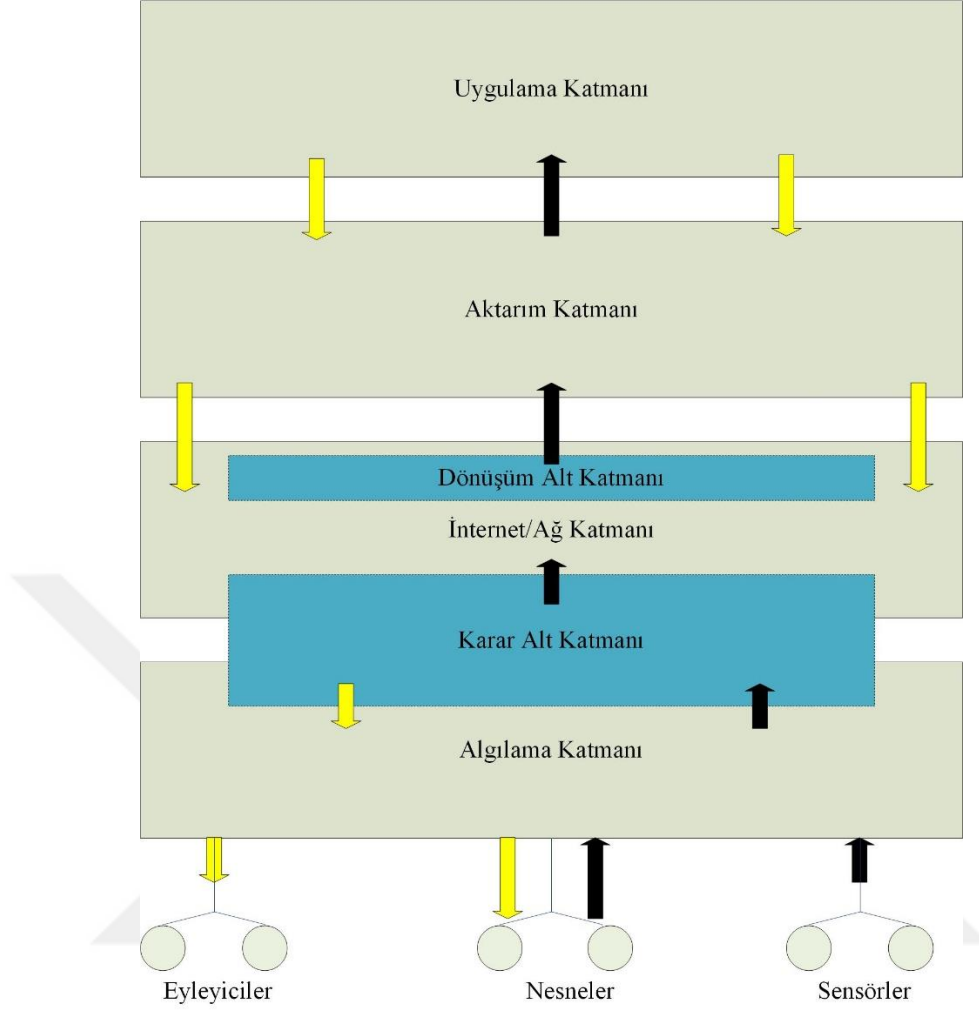
oluşturulursa yakın gelecekte önemli sosyal ve ekonomik yararlar sağlayacağı görülmektedir.

Ciddi bir ihtiyaç haline gelmiş olan IoT referans mimari modelinin oluşturulması, IoT yapısının anlaşılması ve IoT alanındaki gelişmelerin hızlandırılması için QoS kriterlerini sağlayan, ölçeklenebilir, heterojen sistemleri destekleyen ve diğer servis kalite kriterlerini sağlayan yeni bir mimari model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen mimari model dört katmandan oluşmakta ve bu katmanlar sırasıyla; algılama, internet/ağ, aktarım ve uygulama katmanlarıdır. Katmanlar, katmanlarda gerçekleşen veri iletimi ve bu katmanlarda kullanılacak protokoller şekil 2.1 ve şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Önerilen mimari modelin katmanları ve protokol yığın yapısı

Algılama katmanında, farklı algılama teknolojileri kullanılarak duyargalardan algılanan ve ağ ortamına bağlı karmaşık yapı ve farklı platformlara sahip nesnelere gelen verilerin analizleri karar alt katmanında yapılarak periyodik olarak duyargalardan gelen verilerden sadece acil durum ve istemci tarafından istendiği durumlarda üst katmana iletilir diğer durumlarda eyleyicilere gönderilerek ağdaki veri trafiği azaltılmıştır. İnternet / ağ katmanına gelen veriler dönüşüm alt katmanı yardımı ile belirli bir formata dönüştürülür ve geleneksel teknolojik alt yapısına sahip nesnelere de IPv6 ile adreslendirilmesi yine bu aşamada yapılmaktadır. Veriler internet / ağ katmanından aktarım katmanına gönderilmiştir ki burada geleneksel iletim yöntemleri kullanılmış ve benzetimi bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Son olarak uygulama katmanında, verilerin değerlendirilmesi daha algılama aşamasında başladığı için işlenmiş mantıklı veriler istemci ya da kullanıcıya verilerin anlamlı bir bütün olarak sunulur.



Şekil 2.2. Önerilen mimari modelin yapısı

Önerilen mimari modelin diğer önerilmiş mimari modellerden en önemli farkı, karar alt katmanı ve dönüşüm alt katmanlarının olmasıdır. Bu alt katmanlar sayesinde toplanan veriler analiz edilip, eliminasyon işlemine tabii tutularak internet/ağ katmanına iletilir. Buradaki eliminasyon işlemi, verilerin yok edilmesi değil, normal durumlarda veya sağlıklı senaryolarda periyodik olarak sensörlerden gelen verilerin internet ortamına açılmasını engellemektir. İnternet/ağ katmanına gelen istekler ve veriler dönüşüm alt katmanı yardımı ile belirli bir formata dönüştürülür ve aktarım katmanına iletilir. Buradaki amaç ise veri iletimini sağlıklı hale getirip güvenilirliğini arttırmak, daha hızlı veri iletişimi gerçekleştirmek, veri madenciliği için sağlıklı ve kullanılabilir veriler sunmak ve kullanıcılara daha etkin hizmet sunmaktır.

2.1. Algılama Katmanı

Algılama katmanı, fiziksel ortamdan verilerin alınarak üst katmanlara iletilmesini ilke edinmiş, geleneksel ve yeni mimari modellerin hepsinde olan / olması gereken bir katmandır. Çünkü IoT yapısındaki verilerin büyük bir bölümünü duyargalar ve eyleyicilerden oluşmaktadır. Algılama katmanında, algılayıcılardan toplanan veriler sıralanır, karar alt katmanı mekanizmasına gelen veriler değerlendirilir ve gerekli eylemlerin gerçekleştirilmesi için verilerin önemli, acil ve istemci tarafından uygulama katmanından gelen istekler doğrultusunda gönderilen veriler hariç diğer veriler eyleyicilere yönlendirilerek işlemler yapılır diğer veriler de güvenli kanallar vasıtasıyla internet / ağ katmanının dönüşüm alt katmanına gönderilir ve buradan üst katmanlara gönderilir.

Algılama katmanında BlueTooth, ZigBee, NFC algılayıcıları, RFID etiketleri bulunur ve bu teknolojiler yardımıyla veri toplama ve analiz işlemleri gerçekleştirilir. Büyük veri kümelerinin oluşması ve büyük verilerin işlenmesi ilk olarak bu katmanda başlar. Ayrıca, algılama katmanında bulunan eyleyiciler yardımı ile anlık cevap verilmesi ve eylemin tamamlanabilmesi işlemi gerçekleştirilir. Örneğin; yangın çıkması halinde duman, ısı ve sıcaklık algılayıcılarından gelen veriler değerlendirilerek anında müdahale edilmesi gerekirse eyleyiciler uyarılır, müdahale gerçekleştirilir ve bir uyarı mesajı bir üst katmana iletilir (karar alt katmanının görevlerinden biridir). Bu katmanda heterojenlik ve genişletilebilirlik ilkelerinin desteklenebilmesi, sistem bütünlüğünün korunması ve mimari modelin verimli bir biçimde kullanılabilmesi için algılama katmanı tarafından tak-çalıştır mekanizmaları bulunmalıdır ve bu önerilen tüm mimari modellerde ortak bir nokta olarak kabul edilmiştir.

Önerilen mimari modelin IoT mimari model havuzunda bulunan diğer tüm mimari modellerden farkı, algılama katmanında sadece duyargaların değil, eyleyicilerin ve duyargaların birbirleriyle bağlantılı ve koordineli çalışmasını, gerekli olmadıkça önemsiz veri paketlerinin ağ ortamına aktarılmasının engellenmesini, yüksek olan veri trafiğini engellemeyi ve yetersiz bant genişliği problemlerinin de önüne geçmeyi sağlayacaktır. Önerilmiş diğer mimari modellerin bu yapıyı kullanmamış olması, geleneksel mimari model yapısını temel alması bu problemleri göz önüne almamış olması ve bu problemleri daha üst katmanlarda çözümlenmeyi amaçlaması bir dezavantaj durumudur. Oysa ki, gereksiz olan veri paketlerinin ağ ortamına hiç açılmaması çok daha verimli bir ağ oluşturmayı sağlayacaktır. Yine algılama alt katmanının varlığı da bu doğrultuda hareket edilmesini,

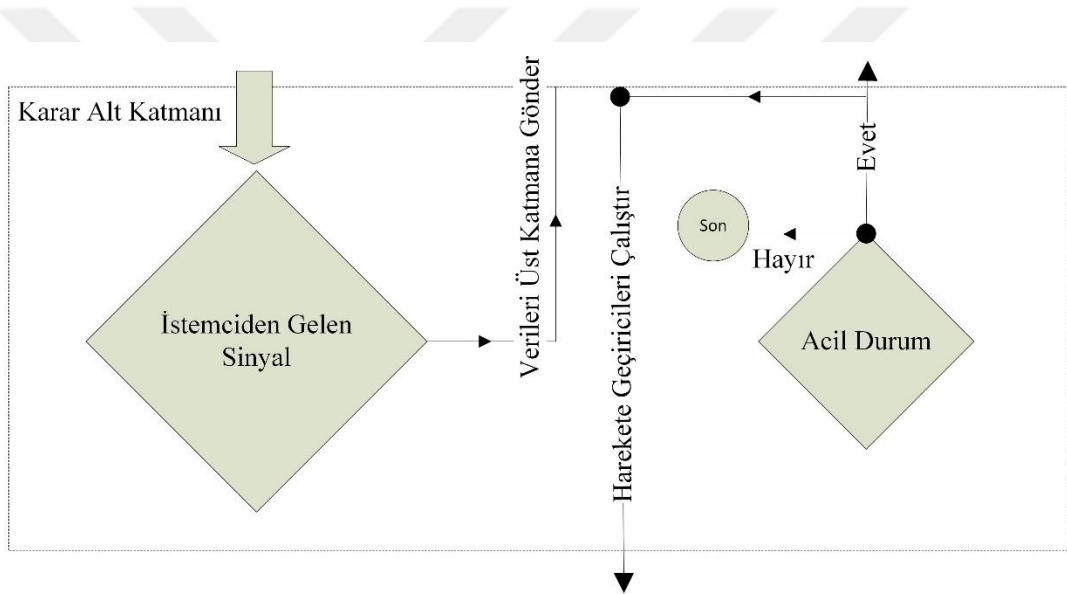
hangi veri paketlerinin gönderileceği ile ilgili belirli kuralları içerip bu kurallar doğrultusunda veri iletiminin hangi yöne yapılacağına karar verilir. Örneğin, sıcaklık, basınç, nem, duman gibi duyargalardan periyodik olarak gelen veriler normal bir değerde seyir ediyorsa bu veri paketlerinin ağ ortamına açılması gereksiz veri trafiğine neden olacaktır. Duyargaların belirlenen kurallar dışında bir durumun oluşması halinde ya da uygulama katmanında istemci tarafından gelen bir mesaj durumunda ise hem eyleyicileri kullanarak acil duruma müdahale edilir hem de istemciye gerekli olan verilerin üst katmana iletilmesi işlemi karar alt katmanı tarafından sağlanır.

2.1.1. Karar Alt Katmanı

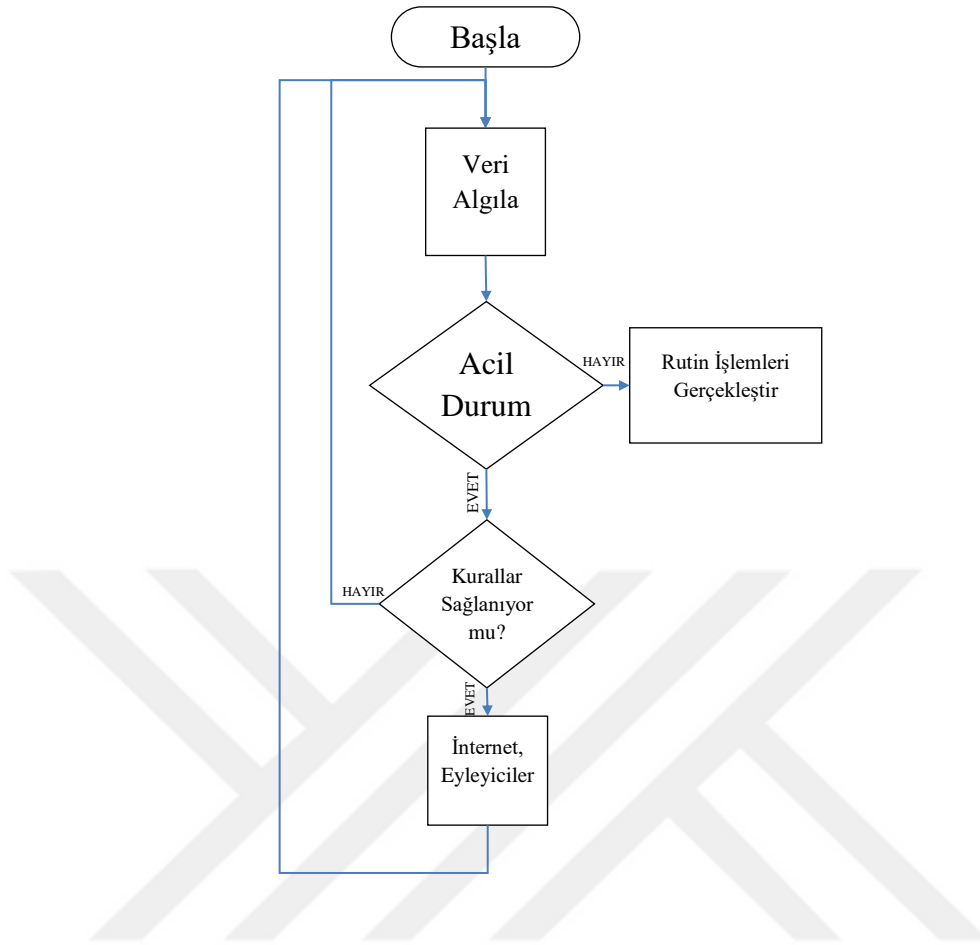
Önerilen modelde, literatürdeki mimari modellerin aksine veri değerlendirme aşaması, algılama katmanında yapılır. Bu durum, duyargalardan gelen verilerin ağ ortamını her geçen an daha da meşgul etmesine engel olmakta ve normal durumlarda verilerin ağ ortamına gönderilmemesini sağlamaktadır. Bu verilerin sadece acil durumlarda ağ ortamına gönderilmesi hem büyük verilerin işlenmesinde yardımcı olur hem de veri kirliliğinin önüne geçilmiş olur. Algılayıcılardan toplanan verilerin analizi yapılarak, anormal bir durum olmadığı takdirde ağ ortamına verilerin sürekli olarak gönderilmesinin engellenerek veri trafiğinin azaltıldığı ve kullanıcıların tanımladığı kuralların barındırıldığı ve gerçekleştiği karar alt katmanında, acil veya anormal durumlarda ağ ortamına veri gönderimi olması ve aynı anda eyleyicilerin de devreye alınması gerekir. Ayrıca, uzaktan kontrol ve inceleme yapılabilmesi için doğrudan istemci tarafından ya da uygulama katmanından bir istek gelmesi halinde, karar alt katmanı gerekli verileri bir üst katmana gönderir ve gönderilen bu verilerin ağ ortamına iletilmesi için ayrıca bir acil durum sinyaline ihtiyacı yoktur. Böylece, önerilen IoT mimari modeline kontrol edilebilir, kullanılabilir, fonksiyonel ve dinamik bir yapı özelliklerini kazandırmıştır.

Şekil 2.3 ve şekil 2.4'te karar alt katmanının veri algılama, değerlendirme ve yönlendirme aşamalarının akış şeması gösterilmiştir. Algılayıcılardan gelen veriler öncelikle karar alt katmanındaki kurallar bütünüyle karşılaştırma yapılır. Buradaki kurallar bütünü, algılayıcı ve eyleyicilerin bağlı olduğu arabirim konumunda olacak olan bir modem ya da merkezi bir birimde yer alır ve karşılaştırma işlemi bu noktada gerçekleşir. Bu karşılaştırma sonucu eğer acil bir durum söz konusu ise, farklı nesne ve uygulamalar için gerekli ise ya da istemci tarafından istenen bir veri ise bir üst katmana gönderilir, aksi takdirde eyleyiciler ile

olan sürekli bağlantı ile işleme devam edilir ve gereksiz görülen veriler sonlandırılır. Isı, sıcaklık, nem, duman, titreşim gibi fiziksel durumlar için algılayıcıların bağlandığı bir yapı olan karar alt katmanında bulunan kurallar, günlük ve normal koşullar altında olması gereken şartları taşımaktadır. Örneğin, oda sıcaklığının 15 - 30 °C arasında olduğu sürece herhangi bir acil durumun olmaması gibi. Bu değerler benzetim çalışmasında normale yakın değerler alınmıştır ancak reel uygulamalarda meteorolojik verilerin önceden alınarak gün içerisinde algılanan veriler ile karşılaştırması yapıp daha gerçekçi değerlendirmeler yapılabilir. Böylece sistem daha da kullanışlı ve daha verimli hale gelmiş olacak ve algılama teknolojilerinin algılama ve veri iletim kapasitelerinde farklılık olması nedeniyle yaşanacak olan gecikmelerin de önüne kısmen geçilmiş olacaktır.



Şekil 2.3. Karar alt katmanının iç yapısı ve işleyiş biçimi



Şekil 2.4. Karar alt katmanı akış şeması

Karar alt katmanı matematiksel olarak formülize edildiğinde, veri iletimi gerçekleşirken normal ve önerilen mimari modelin kullanıldığı bir IoT ağındaki veri paket sayısı şu şekilde olmaktadır;

Normal bir ağ içerisinde birim zamandaki veri iletimi aşamasındaki paket sayısı;

$$\text{Toplam Paket Sayısı} = \sum \frac{[(S+N)*P]}{T} \quad (1)$$

Önerilen modelin kullanıldığı bir ağda birim zamandaki veri iletimi aşamasındaki paket sayısı;

$$\text{Toplam Paket Sayısı} = \sum \frac{[((S-G)+N)*P]}{T} \quad (2)$$

S: Algılayıcı sayısı

N: Karmaşık nesne sayısı

P: Anlık gelen ortalama paket sayısı

T: Zaman

G: Ağ ortamına iletilmeden eyleyicilere yönlendirilen veriler.

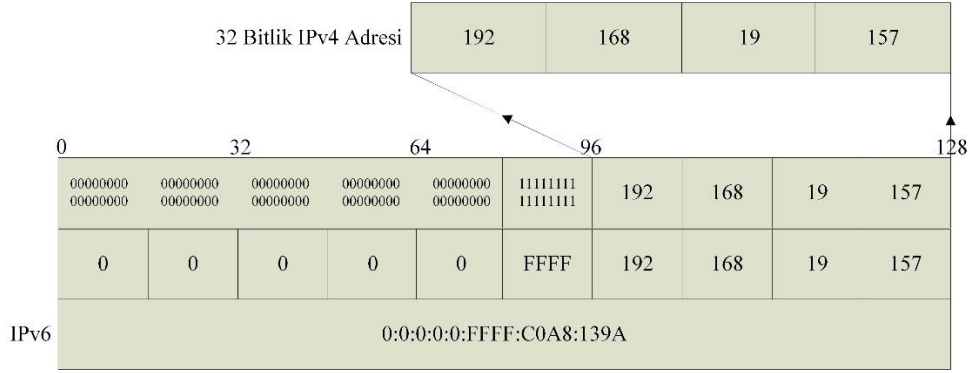
Verilen (1) ve (2) numaralı denklemlerde de görüldüğü üzere algılayıcı sayısındaki artışlar ağ ortamındaki gereksiz verilerin artmasını sağlarken önerilen modelde bu veriler elimine edilerek ağ ortamı daha kullanılabilir ve verilerin daha sağlıklı ve hızlı aktarılabilirdiği bir ortam haline getirilmesi amaç edinilmiştir. Karar alt katmanında veriler ağ ortamına bağlanacak çok sayıdaki algılayıcı düşünülduğünde veri trafiğinin çok büyük bir oranda azaltacağı görülmektedir.

Matematikselsel olarak ifade edilen karar alt katmanının asıl işlevi, geniş ölçekli IoT ağında veri trafiğini azaltmak, büyük veri kümeleri için verilerin algılandığı aşamada değerlendirilmesinin yapılması ve bu işlemlerin geleneksel ve yenilikçi teknikleri bünyesinde barındırarak IoT sistem verimliliğini arttırmaktır.

2.2. İnternet / Ağ Katmanı

İnternet / Ağ katmanı farklı ağ yapısına, platform veya teknolojik alt yapıya sahip nesnelere gelen verilerin düğümler arası veya nesnelere arası iletiminin gerçekleştirildiği, kablolu ve kablosuz iletim ortamlarının bulunduğu katmandır. Önerilen modelde internet/ağ katmanında diğerlerinden farklı olarak dönüşüm alt katmanı bulunmaktadır. IPv6, fiziksel radyo ve ZigBee için kullanılan 6LoWPAN gibi protokoller bu katmanda kullanılır.

Geleneksel teknolojik altyapıya sahip nesnelere 32 bitlik IP adresleri internet ağ katmanında 128 bitlik IPv6'nın 96-128 bitler arasındaki değerlerde tutulup, 0-96 bitler arasındaki değerlere 0 (sıfır) değeri atanarak işlemler gerçekleştirilir. Klasik yapıdaki çakışan IP'lerin ilk 96 bitlik kısma aktarma yapılarak dönüştürme işlemi gerçekleştirilir. Bu dönüştürme işlemi ile geleneksel teknolojik altyapıya sahip nesnelere de sisteme dâhil edilir ve böylece sistem bütünü geleneksel sistemler ve nesnelere için ayrıca bir maddi yükten kurtarılmış olur.

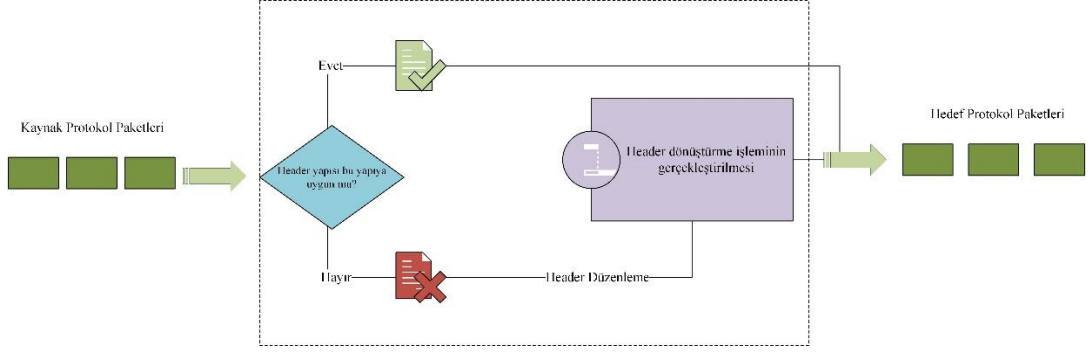


Şekil 2.5. IPv4 ün IPv6'ya dönüştürülme işlemi [101]

Klasik ağ yapılarında mantıksal adresleme yapılarak gönderilen her paketin başlık kısmına adres bilgileri eklenir, son paketin başlık kısmına ise gönderilen verinin kaç paketten oluştuğu gibi bazı sayısal veya istatistiksel veriler eklenir. Önerilen mimari modelde ise, bunların yanı sıra, adresleme işlemlerinin daha doğru yapılması ve farklı mesaj isteklerinin her uygulamada kullanılabilmesi için gelen farklı başlık yapısına sahip mesaj isteklerinin başlık kısmı belirli bir formata dönüştürülmesi amaç edinilmiştir. İnternet / Ağ katmanına gelen verilerin hedef adresleri incelenerek routerlar yardımıyla paketlerin gidebileceği adrese en güvenilir ve hızlı yolu seçerek göndermeyi sağlar.

2.2.1. Dönüşüm Alt Katmanı

Algılayıcılardan, eyleyicilerden ve farklı altyapıya sahip uygulamalardan gelen sinyallerin ve veri paketlerinin (farklı yapı / boyut) dönüştürülmesi dönüşüm alt katmanında gerçekleştirilmektedir. Gelen istek mesajının başlık kısmına bakan dönüşüm alt katmanı, onaylanabilir bir yapıda olması halinde doğrudan bir üst katmana iletir, ancak farklı bir yapıda ise uygun bir formata dönüştürme (başlık için) işlemini gerçekleştirir. Bu işlemdeki amaç, farklı altyapıdan gelen mesaj isteklerindeki farklılıkları ortadan kaldırmak ve veri madenciliği ve büyük veri kümelerinin işlenmesi aşamasında etiketleme ve sınıflandırma işlemlerini kolaylaştırmaktır. Bu sayede istem dışı bir isteğin veya bir saldırının da önüne geçilmiş olur ki bu da güvenlik anlamında bir avantaj konumundadır. Dönüşüm alt katmanının yapısı ve veri iletim biçimi şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Dönüşüm alt katmanı iç yapısı

Dönüşüm alt katmanına gelen veri paketleri karar alt katmanından seçilip analizleri yapılan veriler olduğundan gelen tüm verilerin aktarılması gerekir ve bu nedenle büyük veri kümeleri ve veri madenciliğinde kullanılabilmesi açısından kısmi sınıflandırma işlemi yapılır (başlıklarının belirli bir formata alınması işleminden dolayı). Dönüştürme işlemindeki temel işlem EPC’de olduğu gibi dijital bir etiketleme olarak görülebilir. Dijital etiketleme ve sınıflandırma işlemi gelen verilerin başlık yapılarının standartlaştırılması ile gelen verilerin uygulama katmanında platform, çevresel ya da nesnelere bağlı olarak sınıflandırılabilmesi işlemleri mümkün kılınır. Örneğin, ağ içerisinde algılayıcılardan gelen, karmaşık nesnelere gelen veya istemci tarafından gelen mesajlar sınıflandırılabilir. Ya da veri sınıflandırma işlemleri için derin öğrenme veya yapay zekâ kullanarak etiketleme ve sınıflandırma işlemleri yapıp dönüşüm alt katmanının yapısı genişletilebilir ve böylece öğrenme süreci kısaltılabilir. Dönüşüm alt katmanında gelen veri paketleri azaldığından daha hızlı bir veri iletimi söz konusu olur.

2.3. Aktarım Katmanı

Gelen mesaj istekleri ve verilerin sağlıklı bir biçimde güvenilirlik ilkesini temel alarak, alt katmandan gelen veri segmentlerini birleştirerek üst katmanlara ve üst katmanlardan gelen verileri de segmentlere bölerek alt katmanlara ileten katmandır. Güvenlik ve gizlilik politikaları esas alınarak aktarım işlemi gerçekleştiren bu katmanda UDP, TCP ve UDP Lite gibi protokoller kullanılır. Buradaki temel amaç, var olan teknolojileri desteklemek ve gelişen teknik yapıları da sisteme dahil edebilmektir. Böylece var olan teknik altyapıyı tamamen değiştirmek yerine üzerine eklemeler yaparak yapıyı genişletmek hedeflenmiştir.

Karar alt katmanında başlayan veri değerlendirme işlemleri ağ katmanında adreslendirme, dönüştürme ve etiketleme işlemlerinin sonucunda aktarım katmanına gelen verilerin iletilmesi algılama ve iletim teknolojilerine bağlı olup donanımsal gelişmelere bağlı kalmaktadır. Günümüzde, geleneksel donanımlar kullanılarak farklı yapıdaki paketlere kaynak ve hedef port numaralarını ekleyip çoğullama ya da segmentlere bölme işlemleriyle veri iletimini gerçekleştirilir. Bu durum IoT sisteminde de aynı olup donanımsal gelişmeler ve iletim ortamlarındaki teknolojik gelişmeler olması durumunda iyileştirmeler yapılabilir.

Verilerin nasıl aktarılacağına belirlendiği bu katmanda geleneksel yöntemler kullanılarak verilerin hedef noktaya varması sağlanır. Geniş kapsamlı ve çok sayıdaki nesne bağlantısı nedeniyle IoT ağındaki uygulama ve ağ katmanları arasındaki veri aktarımının hızlı yapılabilmesi sistemin güvenilirliği ve performansı açısından çok büyük bir önem arz etmektedir. Önerilen mimari modelde, aktarım katmanı donanımsal gelişmelere büyük ölçüde bağlı olduğundan geleneksel aktarım katmanı yöntemi kullanılmış ve yine önerilen mimari modelin benzetim çalışmalarında da klasik aktarım katmanı düşünülerek uygulanmıştır.

2.4. Uygulama Katmanı

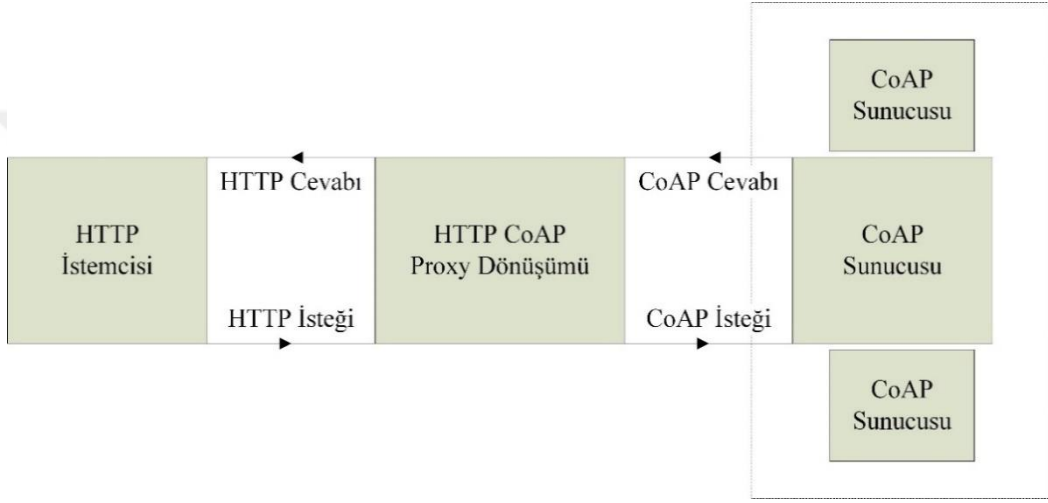
Bütün kompleks cihazlardan ve algılayıcılardan gelen verilerin işlenmiş ve anlaşılabilir hale getirilip son kullanıcıya sunulduğu yazılımsal katmandır. Uygulama katmanında gerçek veriler görüntülenir ve görülebilir sonuçlardan değerlendirmeler yapılır. Bu değerlendirmelerin sonucu, sisteme yeni entegrasyonların yapılıp yapılmamasına veya mevcut yapıların güncellenmesine karar vermekte yardımcı olur. Aynı şekilde uygulama katmanında gereken bir veri için istemci bir istekte bulunur ve bu istek doğrultusunda alt katmanlara bir mesaj gönderilerek gerekli veri alınarak işlemler gerçekleştirilir.

Uygulama katmanında CoAP protokolü ve yine mimari yapının fonksiyonellik özelliği göz önüne alındığında var olan HTTP gibi geleneksel ya da yeni protokoller kullanılabilir. Ancak kullanılacak olan geleneksel protokollerin belirli bir dönüşüm işlemine tabii tutulmaları gerekmektedir. Çünkü kurulacak olan karmaşık ve geniş ölçekli IoT sisteminde gelen yüksek miktardaki verilerin anlık görüntülenmesinde yeterli olmayacaktır.

Uygulama katmanında CoAP, HTTP ile çapraz protokol dönüşümü gerçekleştirerek verilerin internet ortamında aracı bir Proxy vasıtasıyla kolayca tanımlaması ve görüntülenmesi sağlanmıştır. Bir HTTP istemcisi CoAP sunucusundaki bir kaynağa erişmek

istediğinde öncelikle HTTP isteği CoAP isteğiyle eşleştirilir ve CoAP sunucusundan alınan uygun yanıt HTTP isteğiyle eşlenerek istemciye geri gönderilir.

Uygulama katmanında gelen verilerin görüntülenmesi sağlanırken IoT yapısı ve HTTP istekleri göz önüne alınarak gerekli dönüştürme işlemleri yapılır. Önerilen mimari modelde benzetim işlemleri yapılırken, verilerin görüntülenmesi işlemi için uygulama katmanında geleneksel CoAP-to-HTTP yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



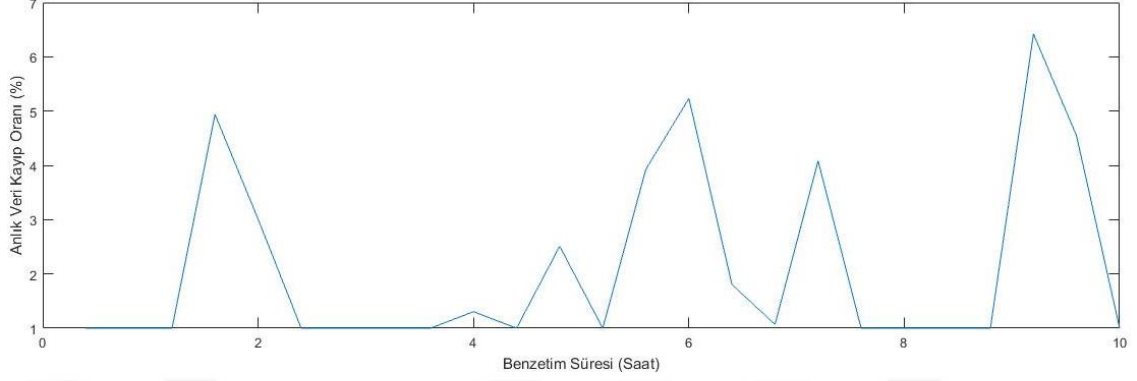
Şekil 2.7. HTTP-CoAP dönüştürümü [102]

2.5. IoT Kilit Öncüller – Servis Kalitesi Kriterleri

2.5.1. Güvenilirlik

Güvenilirlik, verinin nesneden nesneye tam anlamıyla iletilmesinde emin olunması veya gönderici ile alıcı tarafındaki verilerin tutarlılığıdır. Ayrıca, IoT sistemindeki nesnelerin / cihazların veya tüm sistemin doğru ve akıcı bir biçimde işlenmesini, hizmet sunulmasında oluşabilecek gecikme ve hataları azaltmayı amaçlar. Ağ ortamına bağlı bir nesnenin hata vermesi durumunda, başka bir nesnenin oluşan hatayı giderebilmesi ve oluşabilecek veri kaybını önlemesi ve karar sürecinin uzamasına veya hatalı sonuçların elde edilmesine engel olmalıdır. Olası tüm hata durumlarını önceden tahmin edilip, Markov

Zinciri gibi yaklaşımlar ya da daha farklı metotlar ve algoritmik yapılar yardımıyla bu hatalar önlenmeli ve verinin alıcı nesneye sağlıklı bir biçimde ulaştırılması sağlanmalıdır [70], [96].

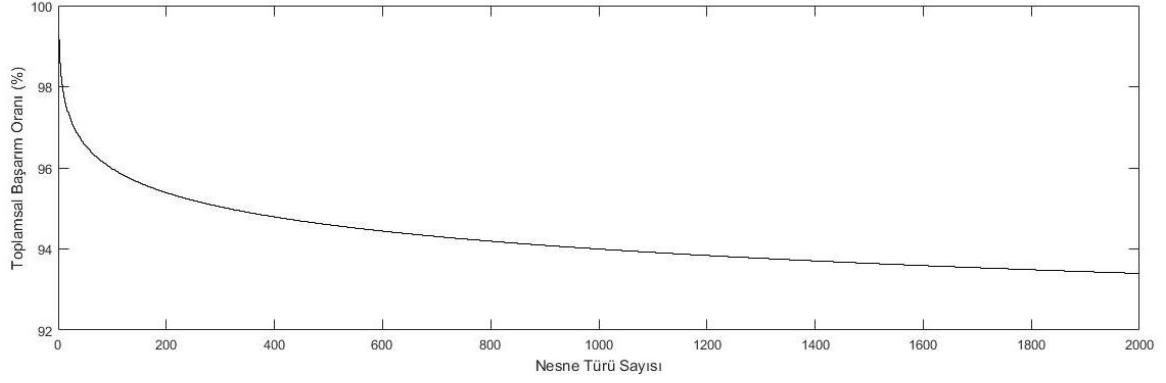


Şekil 2.8. Önerilen modelin güvenilirlik analizi

Güvenilirlik ilkesinin sağlanması amacıyla önerilen mimari modelde benzetim süresi (10 saat), paket alım zamanı, maksimum paket sayısı ve toplam gelen paket sayısı değişkenleri belirlenmiş ve nesnelerin farklı veri gönderme periyotlarına bağlı olarak gelen toplam veri paket sayısının (10 milyon paket) sağlam bir şekilde iletilmesi amaç edinilmiş ve gönderilen veri paketleri ile kıyaslanıp iletilen toplam veri paket sayıları değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler sonucu %90'ın üzerinde bir başarımla elde edilmiş olup şekil 2.8'de gösterilmiştir.

2.5.2. Heterojenlik

IoT ağ bütünü, özellikle günümüzde çok sayıda olan hareket halindeki (taşınabilir / mobil) kullanıcılara hizmet vermede kısıtlı kalmamalıdır. Sürekli ve gerçek zamanlı olarak mobil aygıtlar ile bağlantı halinde olmalı ve veri iletişimini gerçekleştirmelidir. Hareket halindeki nesnelere, bir ağdan diğer bir ağa geçiş esnasında servis kesintileri, Doppler etkisi gibi durumlar meydana gelmektedir. Bu noktada Frieder Ganz ve arkadaşları önbelleğe alma ve tünelleme metotlarının kullanılabilceği bir yapı önerisinde bulunmuşlardır [70], [97].



Şekil 2.9. Önerilen modelin heterojenlik kriteri başarımları

IoT veya IoT benzeri büyük ölçekli ve kompleks yapıda olan heterojen sistemlerde ölçeklemenin yapılması çok büyük önem arz etmektedir. Farklı platformlardan gelen verilerin ve servis isteklerinin tek bir formata dönüştürülmesi ve adresleme sorunsal ölçeklenebilirlik ilkesi olarak tanımlanabilir. Ölçeklenebilirlik ilkesinin sağlanması için IPv6, 6LoWPAN gibi protokoller kullanılır. Ölçeklenebilirlik ve genişletilebilirlik ilkeleri birlikte heterojen sistem kavramını oluşturur. Heterojenlik kriteri, IoT veya büyük ölçekli ağlarda farklı yapıdaki nesnelerin birlikte uyumlu ve verimli bir biçimde çalışması anlamına gelir. Bu nedenle kurulacak olan geniş ölçekli IoT sistemi ve mimari yapısının heterojen sistemleri destekliyor olması ve verimli bir biçimde çalışabilmesi gerekmektedir.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda (2,000 farklı yapıya sahip nesne ile gerçekleştirilmiş) nesne sayısı ve çeşidinin artırılması ile önerilen mimari modelin heterojenlik ve performans değerlendirilmesi yapılmış olup, önerilen modelin ölçeklenebilir, genişletilebilir ve heterojenlik kriterlerinin sağlanması Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Buna göre nesne sayısı ve türünün artırılması ile başarımları ortalaması %90'ın üzerinde olmaktadır.

2.5.3. Birlikte Çalışabilirlik

Heterojen bir yapı olan IoT, Fiziksel olarak ağda bulunan nesneler çok çeşitli yapılarda olup donanımsal olarak, iletişim, bilgi alma ve işleme yeteneklerine sahiptirler. Ayrıca her nesnenin güç tüketimi ve bant genişliği gibi farklı koşulları bulunmaktadır. İletişim ve iş birliği sağlayabilmek için ortak uygulama ve standartlar gerekmektedir. Nesnelerin tüm bu özellikleri göz önüne alındığında sistemin bir bütün olarak işlemesi ve sürekliliği koruması

gerekir. Aksi takdirde IoT bir sistem olmaktan çok heterojen nesne ağı adalarına dönüşmüş olur [98].

Bu yüzden, kurulacak olan IoT sisteminin platform bağımsız olması gerekir ve bu kriteri donanım ve uygulama geliştiricilerinin dikkate alması gerekir. Platform farkı gözetmeksizin ağı bağlanan her nesnenin sistem ile uyumlu çalışması gerekir. Bu nedenle birlikte çalışabilirlik ilkesi sadece IoT mimarisi için değil donanım ve uygulama üreticileri için de bir kalite kriteridir. Örneğin; günümüzde akıllı telefonların birlikte çalışabilirliği sağlamak için GSM, WiFi ve NFC gibi ortak iletişim teknolojilerini desteklemektedirler [70].

IoT sisteminde bulunan farklı teknolojik ve yazılımsal alt yapıya sahip tüm nesnelerin birbirleri ile verimli ve uyumlu çalışabilme yeteneği olan birlikte çalışabilirlik ilkesi, heterojenlik ve performans kriterlerinin sağlanması için, önerilen IoT mimari modelinin benzetim metoduyla analizi yapılmış ve birlikte çalışabilirlik ilkesinin de sağlandığı gösterilmiştir. Nesne sayısı arttırıldığında sistem veriminin %78 ile %96 arasında değiştiği ve ağırlık olarak %90'ın üzerinde bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, önerilen mimari modelin yeni kurulacak olan karmaşık IoT sistemleri için kullanışlı olduğunu göstermektedir.

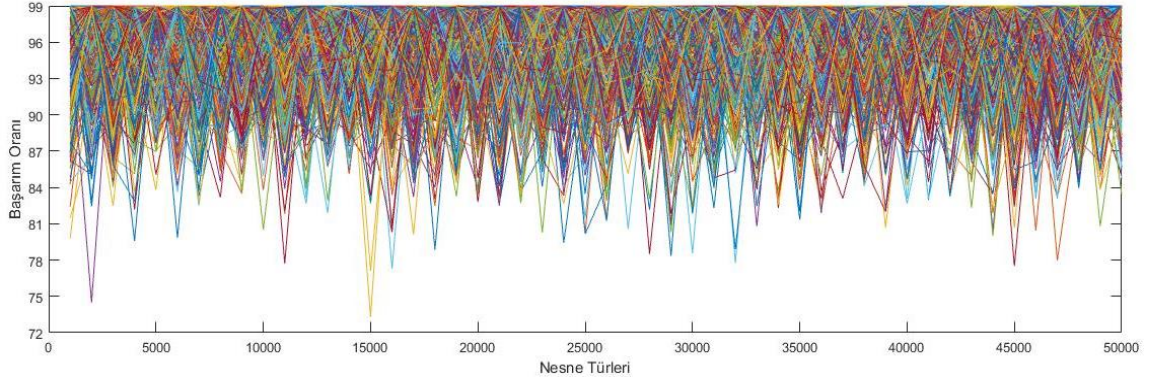
2.5.4. Güvenlik / Gizlilik

Güvenlik ve gizlilik, IoT için ortak bir standart ve mimari yapı eksikliği nedeniyle uygulamalar için büyük bir sorundur. IoT'de olduğu gibi heterojen ağlarda, kullanıcıların güvenliği ve gizliliğini korumak son derece zordur. Bununla birlikte; IoT gelişmekte olan bir yapı olduğundan halen güvenlik / gizlilik konusunda eksiklikleri bulunmaktadır. Diğer birçok ölçüt laboratuvar ortamına aktarılmış olmasına rağmen güvenlik / gizlilik ölçütü IoT yapısı için teorik aşamada kalmıştır [70].

Önerilen mimari modelin benzetim çalışmalarında güvenlik ve gizlilik ilkelerinin sağlanması konusunda geleneksel yöntemler izlenmiş ve yeni ya da farklı bir yaklaşım metodu uygulanmamıştır. Ancak, uygulama katmanında geliştirilecek olan uygulamaların da güvenlik ve gizlilik ilkelerine bağlı kalarak talepler doğrultusunda uygulama geliştirmeleri güvenlik ve gizlilik kriterinin sisteme uyarlanması ve sağlanması konusunda yardımcı olacaktır. Bu anlamda, farklı veri sıkıştırma ve şifreleme yöntemleriyle güvenlik ve gizlilik ölçütleri sağlanabilir ya da yeni metotlar geliştirilebilir.

2.5.5. Performans

IoT sistemindeki hizmetlerin performansını değerlendirmek, birçok bileşenin performansına ve temelde kullanılan teknolojik altyapının performansına bağlı olduğundan büyük bir problem haline almıştır. IoT, birçok sistemin aksine kendisini sürekli olarak yenilemeli, geliştirmeli ve iyileştirmelidir. Bu nedenle performans kriteri çok büyük bir önem arz etmektedir. İşlem hızı, iletişim hızı, cihaz faktörü, maliyet gibi birçok değişken IoT performans değerlendirmesinde değişken olarak kullanılır. BLE [99], RFID [100], IEEE 802.15.4 [101], 6LoWPAN [101], RPL [103], [104] gibi uygulama protokolleri temel protokollerin ve teknolojilerin performans değerlendirmeleri geçmişte yapılmış literatürde bunlarla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak IoT sistem bütünü ya da IoT uygulamaları için ayrıntılı bir performans değerlendirmesi halen yapılabilmemiş değildir [11].



Şekil 2.10. Önerilen modelin 50,000 farklı nesne ile performans kriteri başarım oranı

Önerilen mimari modelin performans kriterinin test edilmesi ve sağlanması açısından katmanlı yapı için 50,000 farklı türdeki nesneden oluşan ve her bir nesneden (belirli bir zaman periyodunda (0,2 saniye aralıklarla) gelen veriler ile yapılan benzetimler sonucunda ortalama %85'in üzerinde bir başarı oranı elde edilmiş ve sistemin başarılı ve diğer IoT servis kalite kriterlerini de sağladığı görülmüştür.

2.5.6. Yeniden Kullanılabilirlik

IoT, kullanıcılara zaman ve mekân kavramlarından bağımsız bir biçimde hizmet sunabilmelidir. Uygulamalar, eş zamanlı olarak farklı yerlerde bulunan çok sayıda kullanıcıya hizmet verme yetki ve yeteneğine sahip olmalıdır. IPv6, 6LoWPAN, RPL, CoAP gibi protokoller ile kullanılabilirlik çerçevesi genişletilebilir ve daha farklı protokol ve teknolojik altyapılar ile IoT sistemi daha da genişletilebilir. Bu durum IoT sisteminin fonksiyonel bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Sistemin fonksiyonel yapıda olması ve gerektiğinde müdahale edilebilir olması kullanılabilirlik düzeyini artırır [11], [70].

Yapılan benzetimler sonucunda önerilen mimari modelin, farklı nesne türlerinin sisteme dahil edilmesi ile heterojenlik, birlikte çalışabilirlik ve performans kriterlerinin sağladığı gösterilmiştir.

Ayrıca çok sayıda nesne türlerinin ve veri paket sayısının dahil edilerek gerçekleştirilen benzetim çalışmasında her bir kalite kriteri için 100'er defa sistem çalıştırılmış ve bu işlemler sonucunun ortalama değerleri alınarak sistemin yeniden kullanılabilirliği test edilmiş ve bu işlemler sonucunda önerilen mimari modelin başarı oranı ortalama %90'ın üzerinde olduğu ve yeniden kullanılabilirlik ilkesini sağladığı gözlemlenmiştir.

2.5.7. Fonksiyonellik ve Dinamiklik

Geliştirilebilir, yazılımsal güncelleştirmeleri yapılabilir, hemen her aşamada müdahale edilebilir bir IoT mimari modelinin tasarlanabilmesi için öncelikle dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da mimari modelin esnekliği ve dinamikliğidir. Bu nedenle dinamik ve esnek bir sistemi tasarlayabilmek ve hayata geçirebilmek için fonksiyonel bir tasarıma ihtiyaç vardır. Önerilmiş mimari model havuzunda fonksiyonellik ve dinamiklik kriterlerini sağlayan mimari modeller, yazılım tabanlı olan mimari modellerdir. Yazılımsal yeteneklerin olması mimari modellere esneklik, güncellenebilirlik ve yönetilebilirlik yeteneklerini kazandırmakla birlikte donanımsal değişiklikleri en aza indirdiğinden maliyeti ciddi bir oranda düşürecektir. Bu nedenle IoT referans mimari modeli oluşturulurken maliyet parametresini de değerlendirmek ve dikkate almak gerekir.

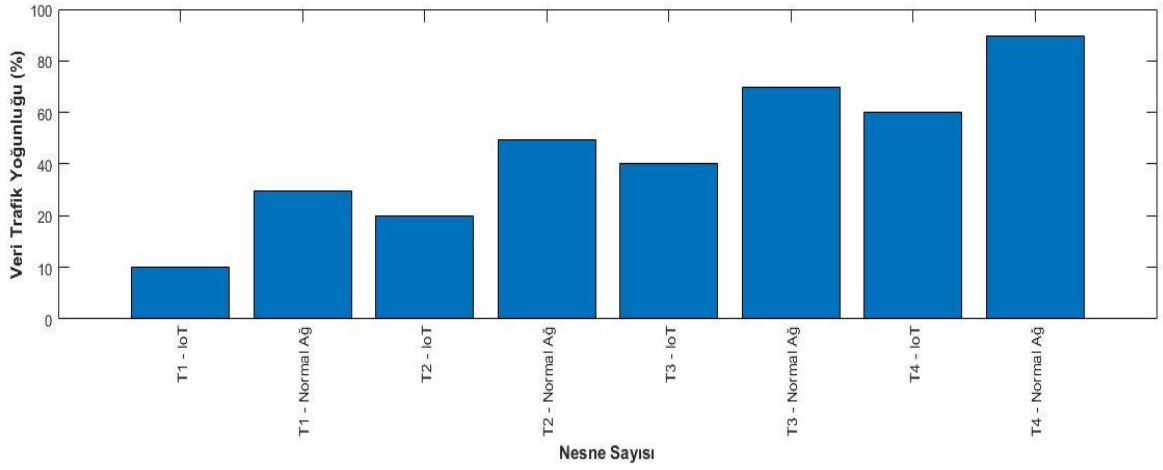
Ayrıca, duyarga sayısı, duyargalardan gelen veriler için sürelerin belirlenmesi, veri paketleri alım zamanı, benzetim süresi ve diğer karmaşık nesnelere ile bu nesnelere gelen

veri paketlerinin değişken olarak belirlenmesi ve bu değişkenlere müdahale edilerek sistemin genel performansının incelenebilmesi, veri akışının gözlenebilmesi ve veri aktarımının güvenilirliğinin test edilebilmesi yine sistemin dinamik ve fonksiyonel bir yapıya sahip olması sayesinde gerçekleştirilebilmektedir.



3. BULGULAR

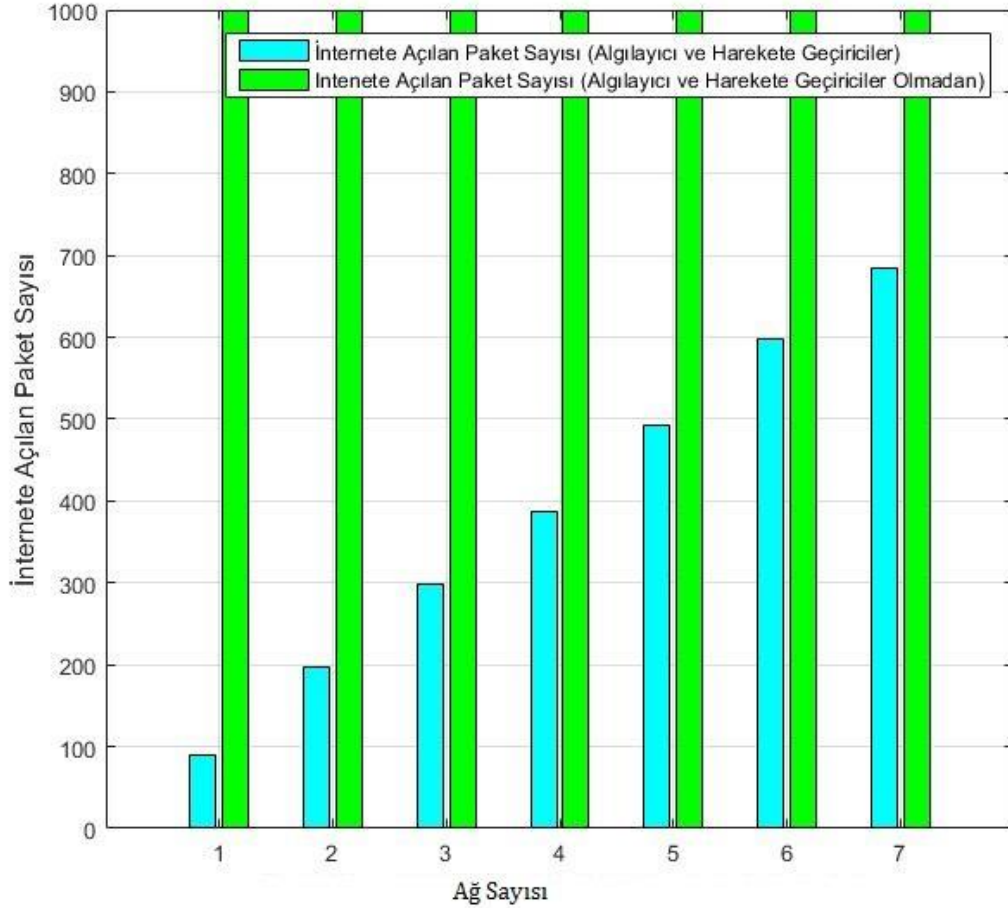
Önerilen mimari modelin karar alt katmanında, karmaşık yapıya sahip aygıtlardan veya algılayıcılardan doğrudan gelen ya da uygulama katmanından gelen mesaj isteklerinin yönlendirilip veri iletim hızının artırılması sağlanır. Bu yönlendirme işlemlerinin gerçekleşmesi etkin bir karar mekanizmasının olmasını gerektirir ki bu noktada karar alt katmanı bu görevi üstlenmiştir. Böylece karar alt katmanı, sisteme kapsamlı ve etkin bir kontrol mekanizması kazandırmıştır.



Şekil 3.1. Normal ve IoT ağlarındaki veri yoğunluğunun karşılaştırılması

Şekil 3.1’de MATLAB ortamında gerçekleştirilen benzetim çalışması sonuçlarına göre, normal bir ağ ve önerilen mimari modelin kullanıldığı ağdaki veri yoğunluğu gösterilmiştir. T1=1,000, T2=4,000, T3=16,000 ve T4=32,000 nesneyi temsil etmekte ve bu sayıları değişken olarak almaktadır. Buna göre; zaman değişkenine bağlı olarak nesnelere / aygıtlardan ve algılayıcılardan alınan verilerin bir kısmı (algılayıcılardan alınan) internet ortamına açılmadan eyleyicilere yönlendirilerek (acil durum sinyalleri dışında) internete açılan paket sayısında ve ağdaki veri trafiğinde ciddi bir oranda azalma gözlemlenmiştir. Burada veri paketlerindeki azalmalar kayıp değil, acil durum sinyalleri dışındaki algılayıcılardan gelen veri paketlerinin eyleyicilere yönlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Karar alt katmanında algılayıcılardan ve istemciden gelen veriler

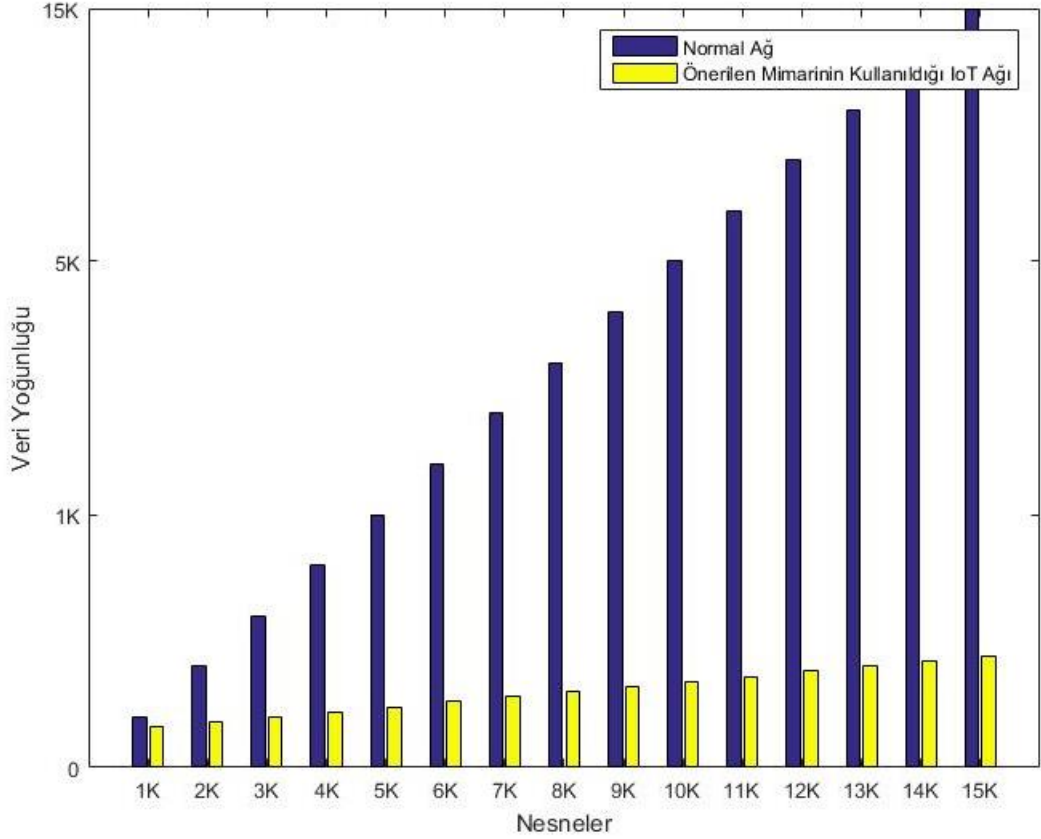
analiz edilerek internet ortamına aktarılacak veriler aktarılır ve kalan diğer paketler internet ortamına aktarılmadan eyleyicilere yönlendirilerek o anda beklenen eylem aktif hale getirilir.



Şekil 3.2. İnternete açılan paket sayısına göre değerlendirme

Şekil 3.2’de ise toplamda yedi ağ, 1,000 nesne ve 1,000 veri paketi üzerinden değerlendirilen küçük ölçekli ağlar tasarlanmış ve her ağda nesne ve algılayıcı sayıları farklı oranlarda belirlenmiştir. 1 numaralı ağda algılayıcı sayısı nesne sayısının %90’ı kadar ve 7 numaralı ağda ise algılayıcı sayısı ağdaki nesne sayısının %40’ını oluşturmaktadır. Buna göre benzetim sonuçları gösterilmiş ve algılayıcı sayısının artırılması ya da azaltılması önerilen mimari modelde veri yoğunluğunu çok yüksek bir oranda etkilemeyecektir ki bu da büyük ölçekli bir IoT ağı için istenen bir durumdur. Algılayıcılardan ve istemciden gelen mesaj istekleri değerlendirilerek gerekli veri paketlerinin ağ ortamına gönderilmesi, gerekli olmayan verilerin ise internete açılmadan değerlendirilip doğrudan eyleyicilere

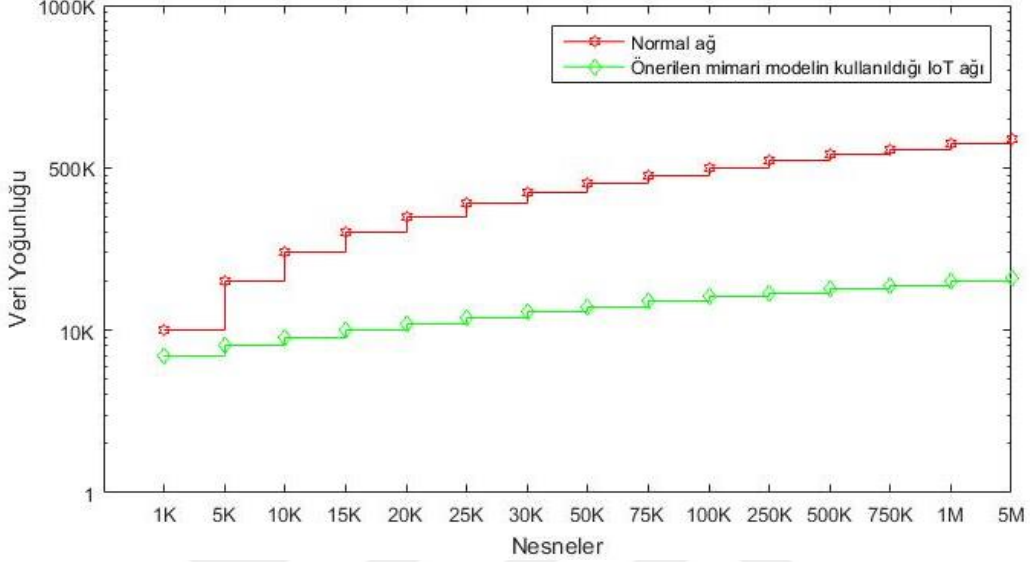
yönlendirilmesiyle ağdaki veri trafiğini daha ciddi bir oranda azalttığı gözlemlenmiştir. IoT için önerilmiş mimari modeller havuzunda herhangi bir benzetim yapılmamasına karşın önerilen modelde algılama katmanı farklı yönleriyle benzetimleri yapılmış ve bu benzetim sonuçları şekil 3.1. ve 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 15,000 nesne ile önerilen mimari modelin kullanıldığı ağın test edilmesi

Şekil 3.3’te gösterilen benzetim sonuçları değerlendirildiğinde nesne sayısının 1,000’den 15,000’e kadar 1,000’er 1,000’er arttırıldığında önerilen mimari yapının kullanıldığı ağda da veri yoğunluğu belirli bir oranla artış göstermiş ancak normal bir ağdaki veri yoğunluğu ile kıyaslandığında aşırı bir azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma değeri karar alt katmanında gerçekleştirilen verilerin analiz sonucunda ağ ortamına iletilip iletilmemesi sonucunda meydana gelmektedir. Ağ ortamındaki veri aktarımının azaltılmış olması sistemin kullanılabilir olması ve ağ trafiğinin rahatlatılması açısından çok büyük bir önem arz etmekte olup kurulacak olan milyarlarca nesneyi birbirine bağlayan IoT sistemleri için meydana gelebilecek problemleri büyük bir oranda azaltacaktır. Ayrıca, verilerin algılama

katmanında işlenerek ağ ortamına gönderilmesi veri madenciliği ve büyük veri kümelerinin işlenmesi ve etiketlenmesi işlemlerini de kolaylaştıracaktır.



Şekil 3.4. Beş milyon nesne ile oluşturulan ağdaki veri yoğunluğunun karşılaştırılması

Şekil 3.4'te gösterilen benzetim sonucuna göre, beş milyon nesnenin bağlı olduğu normal bir ağ ile önerilen IoT mimarisinin kullanıldığı aynı ağda veri yoğunluğu arasındaki fark gösterilmiştir. Buna göre; nesne sayısının arttırılması ağdaki veri yoğunluğunu arttırdığı ancak önerilen mimari modelde bu artışın normal bir IoT ağına göre çok daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Önerilen mimari modelin dört katmanlı yapısı detaylı bir biçimde açıklanmış, bağlanacak olan nesne sayısı ve türleri belirlenmiş, bu nesnelere gelen verilerin hangi şartlar altında ağ ortamına iletileceği belirtilmiştir. Bu işlemler sonucunda gerçekleştirilen benzetim sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen bulgular verilmiş ve bu sonuçların değerlendirilmeleri yapılmıştır. Önerilen mimari model havuzunda bulunan mimari modeller için benzetim çalışmaları ve somut bir projeye uygulama gibi durumlar bulunmadığından önerilen mimari modelin üstünlüğü benzetim metoduyla vurgulanmış, sonuçlar alınmış ve gösterilmiştir. Ayrıca güvenilirlik, heterojenlik, birlikte çalışabilirlik, güvenlik / gizlilik ve performans gibi temel servis kalite kriterlerinin sağlandığı gösterilmiş ayrıca fonksiyonellik, dinamiklik ve yeniden kullanılabilirlik kriterleri de önerilen mimari modele eklenmiştir. Bu kriterlerin sağlanması da milyarlarca nesnenin bağlandığı IoT ağ

ortamı için büyük bir önem arz etmekte ve daha esnek, dinamik ve kullanışlı bir mimari model olmasını sağlamıştır.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

IoT, milyarlarca aygıtın birbirine kablolu ve kablosuz ağlar yardımıyla bağlanarak iletişim kurduğu bir dünya öngördüğünden, bu paradigmanın kullanımını en üst düzeye çıkarmak, farklı uygulamaların gereksinimlerini karşılamak, anlamlı bilgi aktarımını gerçekleştirmek ve kaynakların hızlı ve kolay kullanılmasını sağlamak için servis kalitesi kriterlerinin sağlanması mimari modelin yeniden kullanılabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini arttıracaktır. Güvenilirlik, güvenlik, gizlilik, ölçeklenebilirlik, yeniden kullanılabilirlik, fonksiyonellik, taşınabilirlik, dinamiklik ve birlikte çalışabilirlik gibi kriterler ancak heterojen nesnelere, karmaşık iletişim teknolojileri ve ağ yapıları arasında dinamik olarak yönetilebiliyorsa sağlanabilir. Çünkü IoT yapısını oluşturan bu kriterler aynı zamanda IoT için birer büyük problemlerdir. Bu nedenle, tasarlanan bir IoT sistem yapısında bu kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bilgi endüstrisinin yeni bir dalgasını da tetikleyen IoT, günlük yaşamda kullanılacak ve hemen her denetlenebilen elektronik aygıtın ağ ortamına bağlanmasını öngörmektedir. Böylesi büyük ölçekli bir ağ; ağ yapısının tasarlanması, mimari yapısı, veri iletişimi, akıllı nesnelere, web hizmetleri ve uygulamaları, iş süreçleri ve modellemeleri, süreç izleme, veri işleme, süreklilik, sürdürülebilirlik, güvenlik ve gizlilik gibi birçok alanda eksiklikleri ve problemleri de beraberinde getirmektedir. Ayrıca teknik açıdan bakıldığında, heterojen bir sistemde nesnelere arasında genişletilebilirlik, ölçeklenebilirlik, fonksiyonellik, güvenilirlik, gizlilik / güvenlik ve birlikte çalışabilirlik gibi durumların da göz önüne alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, IoT hakkında genel bilgiler verilmiş olup çoklu nesne bağlantılarında veri iletişimi ve nesne tanıma / tanımlama ile ilgili sorunların oluşabileceği ile ilgili noktalara değinilmiş ve temel veya referans olabilecek mimari bir modelin olmamasından dolayı esnek, fonksiyonel ve dinamik bir yapıya sahip 4 katmanlı yeni bir mimari model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen mimari modelin katmanları, alt katmanları ve bu katmanların iç yapıları detaylı bir biçimde açıklanmış ve benzetim yöntemiyle çok sayıda nesne ve veri paketleri ile test edilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Önerilen diğer mimari modellerde herhangi bir benzetim veya matematiksel bir sonuç olmadığından karşılaştırma işlemi teorik olarak yapılmamıştır.

Benzetim yapılan ya da henüz proje aşamasında olan mimari modellerin de sonuçları henüz literatürde yer almamaktadır.

Tablo 4.1. Önerilen mimari modelin diğer mimari modeller ile karşılaştırılması

ÖLÇÜTLER	Beş-Katmanlı Model	SOA Tabanlı Model	Ara-Yazılım Tabanlı Model	Üç-Katmanlı Model	Önerilen Mimari Model
Güvenilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
Heterojenlik	✓	✓	✓	✓	✓
Birlikte çalışabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
Fonksiyonellik	✗	✓	✓	✗	✓
Dinamiklik	✗	✓	✓	✗	✓
Yeniden Kullanılabilirlik	✗	✗	✓	✗	✓
Performans	✗	✗	✗	✗	✓

Önerilen mimari modelin literatürde önerilen mimari modellerden IoT'yi en iyi tanımlayan, önerilmiş diğer tüm mimari modellerin temelini teşkil eden dört tane genel amaçlı mimari model ile karşılaştırması tablo 4.1'de verilmiştir. IoT mimari modeller havuzunda önerilmiş mimari modellerin henüz bir benzetim sonucu ya da uygulama sonucu yoktur. Bu nedenle önerilen mimari modelin benzetim sonuçlarının diğer mimariler ile karşılaştırılması teorik anlamda yapılmış olup, benzetim sonuçlarındaki başarımlar literatürde bir ilk olmuştur.

Önerilmiş mimari model havuzuna bakıldığında herhangi bir benzetimin yapılmamış olması ve önerilen modellerin teorik olarak anlatılması sistem verimliliklerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi konusunda eksik kalmışlardır. Bu nedenle önerilen mimari modelin IoT servis kalite kriterlerini sağladığı benzetim metoduyla gösterilmiş ve performans ölçümü yapılmıştır. Ayrıca, önerilen mimari modelin performans ve diğer servis kalite kriterlerini sağlaması, maliyeti düşürmesi ve yeniden kullanılabilir olması diğer mimari modellerden en önemli farklarıdır.

Son olarak, önerilen mimari modelin yapısı, katmanları ve kullanılacak protokoller açıklanmıştır. Önerilen mimari modelde veri iletiminin hızlı ve etkili olabilmesi ve veri trafiğinde herhangi bir aksaklığın yaşanmaması için katmanlarda bulunan alt katmanlarda veriler uygun bir şekilde yönlendirilip bir üst katmana iletilir ve bir üst katmanda bulunan alt katmanda belirli bir formata dönüştürülerek hem veri iletimindeki aksaklıklar giderilmeye çalışılmıştır. Bu yönüyle önerilen mimari model diğer mimari modellerden daha farklı bir yapıya sahip olup hem veri iletimi hem de platform problemleri göz önüne alınmıştır. Diğer önerilmiş mimari modellerde bu durumlar göz önüne alınmadığı gibi veri iletimi konusuna da değinilmemiştir. Bu yönüyle de diğer önerilmiş mimari modellerden farklı ve daha etkili çözümler getirmiş ve literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.



5. ÖNERİLER

Farklı benzetim ortamları ve yöntemleri kullanılarak önerilen mimari modelin katmanları, nesne / veri paketi sayısının arttırılarak test edilebilir ya da belirli sayıda düğümü bulunan bir ağ üzerinde deneysel bir çalışma yapılarak önerilen mimari modelin verimliliği kısa, orta ve uzun vadede ölçülebilir ve bu ölçüm sonuçlarında elde edilen reel değerlerin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılabilir. Algılama katmanında başlayan veri analiz ve gereksiz verilerin ayıklanması işlemleri için daha farklı algoritmalar, yapay zekâ ya da makine öğrenmesi kullanılarak sistemin daha verimli hale getirilmesi sağlanabilir.

IoT mimari modelinin fonksiyonel olması, sisteme müdahalede bulunabilme kabiliyeti sağladığından ve önerilen modelin hemen her katmanında verilerin izlenebilmesi, yeni protokoller eklenerek sistemin genişletilebilmesi ve farklı sayı ve türde nesnelere eklendiğinde performans başarımlarının büyük bir oranda aynı kalması yeteneği ile dinamik ve fonksiyonel bir mimari model özelliği kazandırılmış olup bu başarımlarının iyileştirilmesi için çalışmalar yapılabilir.

Önerilen mimari modelin farklı IoT uygulama alanlarına (araçların interneti, nano nesnelere interneti, geleneksel ağ yapısı) somut olarak uygulanması ve bu uygulamalar sonucunda elde edilen verilerin analizleri yapılarak mimari modelin performans değerlendirmesi yapılarak geliştirilmesi sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Öztürk, E., Kakız, M.T. ve Çavdar, T., The Economical Importance and Contribution of Information Technologies to Rural and Regional Development: An Empirical Analysis. E. Akbulut (Ed.), 4th International Regional Development Conference, Ekim 2017, Tunceli, Munzur Üniversitesi Bildiriler Kitabı, 684-690.
2. Stafford-Fraser, Q., On site: The life and times of the first web cam, Communications of the ACM, 44,7 (2001) 25-26.
3. Yiğitbaşı Z. H., Nesnelerin İnterneti ve Makineden Makineye Kavramları İçin Kilit Öncül - Ipv6, Ulusal IPv6 Konferansı, Ocak 2011, Ankara, Gazi Üniversitesi Bildiriler Kitabı, 103-108.
4. Oral, O. ve Çakır, M. Nesnelerin İnterneti Kavramı ve Örnek Bir Prototipin Oluşturulması. 4.Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi Mayıs 2017, Burdur: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bildiriler Kitabı, 1-8.
5. International Telecommunication Union (ITU), Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks, Telecommunication Standardization Sector of (ITU). ITU-T Recommendation Y.2060, 2012.
6. Jammes, F., ve Smit, H., Service-oriented paradigms in industrial automation, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1,1 (2005) 62-70.
7. Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., ve Khan, S., Future Internet: The İnternet Of Things Architecture, Possible Applications And Key Challenges, 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), Aralık 2012, Islamabad, IEEE, 257-260.
8. Furness, A., CASAGRAS and the Internet of Things. European Centre of Excellence for AIDC, documentos de trabajo, 2008.
9. Söğüt, E. ve Erdem, A., Günümüzün Vazgeçilmez Sistemleri: Nesnelerin Haberleşmesi ve Kullanılan Teknolojiler, 19. Akademik Bilişim Konferansı – AB, 2017, Aksaray, Aksaray Üniversitesi Bildiriler Kitabı, 1-7.
10. <http://www.skf.com/group/news-and-media/news-search/2015-02-04-how-the-internet-of-things-will-revolutionise-industrial-production.html>
Power the Future Report: How the Internet of Things will revolutionise industrial production. 09.11.2017.

11. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., ve Ayyash, M., Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17,4 (2015) 2347-2376.
12. Çavdar, T ve Öztürk, E., Nesnelerin İnterneti için Yeni bir Mimari Tasarımı, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22,1 (2018).
13. <https://oss.adm.ntu.edu.sg/ctan046/the-trojan-room-coffee-pot/> The Trojan Room Coffee Pot. 09 Kasım 2017.
14. Romkey, J., Toast of the IoT: The 1990 Interop Internet Toaster, IEEE Consumer Electronics Magazine, 6,1 (2017) 116-119.
15. De Loof, J., Sap, C. M., Meissner, S., Nettsträter, A., Cea, A. O., Sap, M. T., ve Walewski, J. W., Internet of Things–Architecture IoT-A Deliverable D1. 5–Final Architectural Reference Model for the IoT V3.0, (2013).
16. Bozdoğan, Z., Nesnelerin İnterneti için Mimari Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2015.
17. Wu, M., Lu, T. J., Ling, F. Y., Sun, J., ve Du, H. Y., Research on the architecture of Internet of things, International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Eylül 2010, Chengdu, IEEE, 484-487.
18. Jara, A. J., Sun, Y., Song, H., Bie, R., Genoud, D., and Bocchi, Y., Internet of Things for cultural heritage of smart cities and smart regions, In 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), March 2015, Gwangju, South Korea, IEEE, 668-675.
19. Yang, Z., Yue, Y., Yang, Y., Peng, Y., Wang, X., ve Liu, W., Study and application on the architecture and key technologies for IOT, International Conference on Multimedia Technology (ICMT), July 2011, Hangzhou, IEEE, 747-751.
20. International Telecommunication Union (ITU), TMN and Network Maintenance: International Transmission Systems, Telephone Circuits, Telegraphy, Facsimile and Leased Circuits. Telecommunication Standardization Sector of ITU (1997-2000). ITU-T Recommendation M.3010, 2000.
21. Bauer, M. and et all, Internet of Things – Architecture IoT-A Deliverable D1.5 – Final architectural reference model for the IoT v3.0. Technical Report, 2013.
22. El-Mougy, A., Ibnkahla, M., ve Hegazy, L., Software-Defined Wireless Network Architectures for the Internet-of-Things, IEEE 40th Local Computer Networks

- Conference Workshops (LCN Workshops), Ekim 2015, Clearwater Beach-FL, IEEE, 804-811.
23. Georgakopoulos, D., Jayaraman, P. P., Zhang, M., ve Ranjan, R., Discovery-Driven Service Oriented IoT Architecture, IEEE Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC), Ekim 2015, Hangzhou, IEEE, 142-149.
 24. Tan, L., ve Wang, N., Future internet: The internet of things, 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Ağustos 2010, Chengdu, IEEE, 376-380.
 25. An, J., Gui, X. L., ve He, X., Study on the Architecture and Key Technologies for Internet of Things, Advances in Biomedical Engineering, 11, (2012) 329-335.
 26. Atzori, L., Iera, A., ve Morabito, G., The Internet of Things: A Survey, Computer Networks, 54,15 (2010) 2787-2805.
 27. Sharma, P. K., Chen, M. Y., ve Park, J. H., A Software Defined Fog Node based Distributed Blockchain Cloud Architecture for IoT, IEEE Access, 99 (2017) 1-1.
 28. Milić, L., ve Jelenković, L., A novel versatile architecture for Internet of Things, 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Mayıs 2015, Opatija, IEEE, 1026-1031.
 29. Ma, H., Liu, L., Zhou, A., ve Zhao, D., On Networking of Internet of Things: Explorations and Challenges, IEEE Internet of Things Journal, 3,4 (2016) 441-452.
 30. Ma, H. D., Internet of Things: Objectives and Acientific Challenges, Journal of Computer science and Technology, 26,6 (2011) 919-924.
 31. Lopes, N. V., Pinto, F., Furtado, P., ve Silva, J., IoT architecture proposal for disabled people, 10th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Ekim 2014, Larnaca, IEEE, 152-158.
 32. Guan, Z., Li, J., Wu, L., Zhang, Y., Wu, J., and Du, X., Achieving Efficient and Secure Data Acquisition for Cloud-supported Internet of Things in Smart Grid, IEEE Internet of Things Journal, 4,6 (2017) 1934-1944.
 33. Qin, Z., Denker, G., Giannelli, C., Bellavista, P., ve Venkatasubramanian, N., A Software Defined Networking Architecture for the Internet-of-Things, Network Operations and Management Symposium (NOMS), Mayıs 2014, Krakow, IEEE, 1-9.

34. Zhang, M., Sun, F., ve Cheng, X., Architecture of internet of things and its key technology integration based-on RFID. Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), Ocak 2012, Hangzhou,IEEE, 294-297.
35. Patil, S., Lonhari, T. ve Patil, S., Internet of Things: Current Research, Trends and Application, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 3,12 (2015) 12663 – 12670.
36. Krco, S., Pokric, B., ve Carrez, F., Designing IoT architecture (s): A European perspective, IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Mart 2014, Seoul, IEEE, 79-84.
37. Nussbaum, G., People with Disabilities: Assistive Homes and Environments. Computers Helping People with Special Needs, (2006) 457-460.
38. Alkar, A. Z., ve Buhur, U., An Internet based wireless home automation system for multifunctional devices, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 51,4 (2005) 1169-1174.
39. Darianian, M., ve Michael, M. P., Smart home mobile RFID-based Internet-of-Things systems and services, International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Aralık 2008, Phuket, IEEE, 116-120.
40. Ning, H., ve Wang, Z., Future internet of things architecture: like mankind neural system or social organization framework?, IEEE Communications Letters, 15,4 (2011) 461-463.
41. Atzori, L., Iera, A., ve Morabito, G., Siot: Giving a social structure to the internet of things, IEEE communications letters, 15,11 (2011) 1193-1195.
42. Gaukler, G. M., Seifert, R. W., ve Hausman, W. H., Item level RFID in the retail supply chain, Production and Operations Management, 16,1 (2007) 65-76.
43. Kidd, C. D., Orr, R., Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Essa, I. A., MacIntyre, B., Mynatt, E., Starner, T. E. ve Newstetter, W., The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research, 2nd International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organizations and Architecture, Ekim 1999, Pittsburgh, 191-198.
44. Hernández-Muñoz, J. M., Vercher, J. B., Muñoz, L., Galache, J. A., Presser, M., Gómez, L. A. H., ve Pettersson, J., Smart cities at the forefront of the future internet, The Future Internet Assembly, Mayıs 2011, Heidelberg, Springer 447-462.

45. Su, K., Li, J., and Fu, H. (2011, September). Smart city and the applications. In 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), IEEE, 1028-1031.
46. Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10,7 (2012) 1497-1516.
47. Li, S., Zhang, Y., Raychaudhuri, D., and Ravindran, R. (August). A Comparative Study of MobilityFirst and NDN Based ICN-IoT Architectures. In 10th International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness (QShine), August, 2014, IEEE, 158-163.
48. Fersi, G., A Distributed and Flexible Architecture for Internet of Things, *Procedia Computer Science*, 73 (2015) 130-137.
49. Ganchev, I., Ji, Z., ve O'Droma, M., A generic IoT architecture for smart cities, Irish Signals and Systems Conference (ISSC) & China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (CICT), Haziran 2014, Ireland, IEEE, 1-4.
50. Sheikhan, M., ve Bostani, H., A Hybrid Intrusion Detection Architecture for Internet of Things, 8th International Symposium on Telecommunications IST, Eylül 2016, Tehran, IEEE, 601-606.
51. Datta, S. K., ve Bonnet, C., Integrating named data networking in internet of things architecture, International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), Mayıs 2016, Nantou, IEEE, 1-2.
52. Datta, S. K., ve Bonnet, C., Connect and Control Things: Integrating Lightweight IoT Framework into a Mobile Application, 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, Eylül 2015, Cambridge, IEEE, 66-71.
53. Duan, R., Chen, X., ve Xing, T., A QoS architecture for IOT, International Conference on Internet of Things (iThings/CPSCoM), and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, Ekim 2011, Dalian, IEEE, 717-720.
54. Zhong, C. L., Zhu, Z., ve Huang, R. G., Study on the IOT Architecture and Gateway Technology, 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES), Mart 2015, Guiyang, IEEE, 196-199.

55. Zheng, L., Chen, S., Xiang, S., ve Hu, Y., Research of architecture and application of Internet of Things for smart grid, International Conference on Computer Science & Service System (CSSS), Ağustos 2012, Nanjing, IEEE, 938-941.
56. Grønbaek, I., Architecture for the Internet of Things (IoT): API and Interconnect, Second International Conference on Sensor Technologies and Applications, Ağustos 2008, Cap Esterel, IEEE, 802-807.
57. Sangiovanni-Vincentelli, A., Quo vadis, SLD? reasoning about the trends and challenges of system level design, Proceedings of the IEEE, 95,3 (2007) 467-506.
58. Koponen, T., Chawla, M., Chun, B. G., Ermolinskiy, A., Kim, K. H., Shenker, S., ve Stoica, I., A data-oriented (and beyond) network architecture, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 37,4 (2007) 181-192.
59. Wang, K., Wang, Y., Sun, Y., Guo, S., ve Wu, J., Green Industrial Internet of Things Architecture: An Energy-Efficient Perspective. IEEE Communications Magazine, 54,12 (2016) 48-54.
60. Lin, N., ve Shi, W., The research on Internet of Things Application Architecture Based on Web, IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), Eylül 2014, Ottawa, IEEE, 184-187.
61. Ikram, M. A., Alshehri, M. D., ve Hussain, F. K., Architecture of an IoT-based system for football supervision (IoT Football), 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Aralık 2015, Milan, IEEE, 69-74.
62. Sarkar, C., SN, A. U. N., Prasad, R. V., Rahim, A., Neisse, R., ve Baldini, G., DIAT: A Scalable Distributed Architecture for IoT, IEEE Internet of Things journal, 2,3 (2015) 230-239.
63. Sarkar, C., Rao, V. S., Prasad, R. V., Rahim, A., ve Niemegeers, I., A Distributed Model for Approximate Service Provisioning in Internet of Things, Proceedings of the 2012 International Workshop on Self-Aware Internet of Things, Eylül 2012, California, ACM, 31-36.
64. Prasad, R. V., Sarkar, C., Rao, V. S., Biswas, A. R., ve Niemegeers, I., Opportunistic Service Provisioning in the Future Internet Using Cognitive Service Approximation, 28th WWRP Meeting, 2012, Athens.
65. Ray, P. P., Generic Internet of Things Architecture for Smart Sports, International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), Aralık 2015, Kumaracoil, IEEE, 405-410.

66. Catarinucci, L., De Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., ve Tarricone, L., An IoT-Aware Architecture for Smart Healthcare Systems, IEEE Internet of Things Journal, 2,6 (2015) 515-526.
67. Domingo, M. C., An Overview of the Internet of Things for People with Disabilities, Journal of Network and Computer Applications, 35,2 (2012) 584-596.
68. Kagermann, H., Lukas, W. ve Wahlster, W., Endüstri 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, VDI-Nachrichten [Industrial 4.0: With the Internet of Things on the way to the 4th Industrial Revolution, VDI News, 2011.
69. Bessis, N., ve Dobre, C. (Eds.), Big Data and Internet of Things: a Roadmap for Smart Environments, Springer, NY, 2014.
70. Prathap, U., Deepa Shenoy, P., Venugopal K. R. ve Patnaik, L.M., Wireless Sensor Networks Applications and Routing Protocols: Survey and Research Challenges, International Symposium on Cloud and Services Computing (ISCIS), October, 2012, India: Surathkal, NITK, 1-8.
71. Demir, B., Ayrancıoğlu, G., Gezer, C., ve Gözüaçık, N., A wireless sensor network system using 6LoWPAN. In National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), Aralık 2016, Bursa, IEEE, 710-714.
72. Rawat, D. B. ve Reddy, S. R., Software Defined Networking Architecture, Security and Energy Efficiency: A Survey, IEEE Communication surveys & tutorials, 19,1 (2017) 325-346.
73. Kakiz, M. T., Öztürk, E., ve Çavdar, T., A novel SDN-based IoT architecture for big data, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP17), Eylül 2017, Malatya: İnönü University, IEEE 1-5.
74. Cheng, X., Lu, J. ve Cheng, W., A Survey on RFID Applications in Vehicle Networks. International Conference on Identification, Information, and Knowledge in the Internet of Things (IIKI), October, 2015, China: Beijing, 1-6.
75. Cheng X., Sun F. ve Zhang M., Architecture of internet of things and its key technology integration based-on RFID, Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design(ISCID), October, 2012, China: Hangzhou, IEEE, 294-297.
76. Ghosh, S., Goswami, J., Abhishek, K. ve Majumder, A., Issues in NFC as a Form of Contactless Communication: A Comprehensive Survey, International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls,

Energy and Materials (ICSTM), May, 2015, India, Chennai: Velceth University, 245-252.

77. Chen, C. H., Lin, I. C., ve Yang, C. C., NFC attacks analysis and survey, In Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), July, 2014, United Kingdom: Birmingham , IEEE, 458-462.
78. Özdemir S., Yakın Alan Haberleşmesi Teknolojisi Kullanılarak Bir Uygulama Gerçekleştirilmesi, Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
79. Kılıç B., Uğuz S. ve Şişeci M., Akıllı Ev Otomasyonu Sistemlerinde Zigbee Tabanlı Ağ Uygulamaları. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi kapsamında 6. Kontrol Otomasyon ve Yapı Elektronik Sistemleri Sempozyumu, Kasım 2013, İzmir, Bildiriler Kitabı: 1-7.
80. Nasrollahpour, M., Sreekumar, R., Hajilou, F., Aldacher, M., ve Hamedi-Hagh, S., Bluetooth Low Energy (BLE) Direct Down Conversion Receiver Front End in 65nm CMOS Technology, New Generation of CAS (NGCAS), September, 2017, Genova, IEEE, 141-144.
81. Raza, S., Misra, P., He, Z., ve Voigt, T., Bluetooth smart: An Enabling Technology for the Internet of Things, International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), October, 2015, Abu Dhabi, IEEE, 155-162.
82. Akinsiku, A., ve Jadav, D., BeaSmart: A beacon enabled smarter workplace, Network Operations and Management Symposium (NOMS), April, 2016, İstanbul, IEEE, 1269-1272.
83. Nair, K., Kulkarni, J., Warde, M., Dave, Z., Rawalgaonkar, V., Gore, G., ve Joshi, J., Optimizing Power Consumption in IoT Based Wireless Sensor Networks Using Bluetooth Low Energy, International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), October, 2015, Noida, IEEE, 589-593.
84. Čabarkapa, D., Grujić, I., ve Pavlović, P., Comparative Analysis of the Bluetooth Low-Energy Indoor Positioning Systems, 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), October, 2015, Nis, IEEE 76-79.
85. Siekkinen, M., Hienkari, M., Nurminen, J. K., ve Nieminen, J., How Low Energy is Bluetooth Low Energy? Comparative Measurements with Zigbee/802.15.4., Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Ağustos 2012, Paris, IEEE, 232-237.

86. Frank, R., Bronzi, W., Castignani, G., ve Engel, T., Bluetooth Low Energy: An alternative technology for VANET applications, *Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, Nisan 2014, Obergurgl, IEEE, 104-107.
87. DeCuir, J., Introducing Bluetooth Smart: Part 1: A look at both classic and new technologies, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 3,1 (2014) 12-18.
88. Al-Kashoash, H., Hafeez, M., ve Kemp, A., Congestion Control for 6LoWPAN Networks: A Game Theoretic Framework, *IEEE Internet of Things Journal*, 4,3 (2017) 760-771.
89. Aydoğan, E.K., Soylu, M.Y., Gencer, C., Çetin, S., Soysal M., Bektaş, O., Yüce, E., Öztürk, Y., Gökırmak, Y. ve Sağıroğlu, Ş., IPv4'den IPv6'ya Geçiş için ahp Modeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26,3 (2011) 701-709.
90. Minoli, D., *Building the internet of things with IPv6 and MIPv6: The evolving world of M2M communications*, John Wiley & Sons., 2013.
91. Ray, P. P., Generic Internet of Things architecture for smart sports, In *International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 2015, Kumaracoil, IEEE, 405-410.
92. OASIS Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) Version 1.0. (2012). *Advancing Open Standards for the Information Society (OASIS)*, Burlington, MA, USA. <http://docs.oasis-open.org/amqp/core/v1.0/os/amqp-core-complete-v1.0-os.pdf> 14.11.2017
93. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Standards. 2011.
94. Hasan, M., Hossain, E., ve Niyato, D., Random access for machine-to-machine communication in LTE-advanced networks: issues and approaches, *IEEE communications Magazine*, 51,6 (2013) 86-93.
95. Gomez, C., ve Paradells, J., Wireless Home Automation Networks: A Survey of Architectures and Technologies, *IEEE Communications Magazine*, 48, 6 (2010) 92-101.
96. Macedo, D., Guedes, L. A., ve Silva, I., A Dependability Evaluation for Internet of Things Incorporating Redundancy Aspects, *11th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, April, 2014, Miami, IEEE, 417-422.
97. Ganz, F., Li, R., Barnaghi, P., ve Harai, H., A resource mobility scheme for service-continuity in the Internet of Things, *IEEE International Conference On Green*

Computing and Communications (GreenCom), November, 2012, Besancon, IEEE, 261-264.

98. Lee, G. M., ve Kim, J. Y., The internet of things—a problem statement, International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), November, 2010, Jeju, IEE, 517-518.
99. Siekkinen, M., Hienkari, M., Nurminen, J. K., ve Nieminen, J., How low energy is bluetooth low energy? comparative measurements with zigbee/802.15. 4., Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), April, 2012, France, IEEE, 232-237.
100. Uckelmann, D., Performance measurement and cost benefit analysis for RFID and Internet of Things implementations in logistics, Quantifying the Value of RFID and the EPCglobal Architecture Framework in Logistics, February, 2012, Berlin Heidelberg, Springer, 71-100.
101. Cody-Kenny, B., Guerin, D., Ennis, D., Simon Carbajo, R., Huggard, M., ve Mc Goldrick, C., Performance evaluation of the 6LoWPAN protocol on MICAz and TelosB motes, Proceedings of the 4th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks, October, 2009, Tenerife Canary Islands, ACM, 25-30.
102. <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-core-http-mapping-17> Guidelines for HTTP-to-CoAP Mapping Implementations. 11.12.2017
103. Clausen, T., Herberg, U., ve Philipp, M., A critical evaluation of the IPv6 routing protocol for low power and lossy networks (RPL), International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), October, 2011, Wuhan, IEEE, 365-372.
104. Accettura, N., Grieco, L. A., Boggia, G., ve Camarda, P., Performance analysis of the RPL routing protocol, International Conference on Mechatronics (ICM), April, 2011, İstanbul, IEEE, 767-772.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Erzurum'da doğdu. İlköğrenimini Akçakoca Köyü İlkokulu'nda, orta öğrenimini Halitpaşa İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini Erzurum Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde lisans programına başladı ve 2012 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl özel sektörde çalışmaya başladı ve Şubat 2013'te Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı'nda web tasarımcı ve geliştirici olarak çalışmaya başladı. Ağustos 2014 tarihinde Artvin Çoruh Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve Eylül 2015 tarihinden itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü öğrenimine başladı. Evli ve bir çocuk babası olan Öztürk yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce bilmektedir.