

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANADİLİM DALI

DAĞITIK GİTİSCH AĞLARINDA KAYNAK YÖNETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Parivash DEGHAN

**KASIM 2020
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAĞITIK GİTİSCH AĞLARINDA KAYNAK YÖNETİMİ

Parivash DEGHAN

ORCID :0000 -0001 - 9588 - 5267

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK LİSANS (BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 10 /2020

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 11 /2020

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Sedat GÖRMÜŞ
ORCID : 0000 -0001 -9588 -5267

Trabzon 2020

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesinde Yüksek Lisans programını tamamlamak amacıyla Fen Bilimleri Enstitüsüne sunulmuştur. Tez danışmanıma sayın hocam Dr.Öğr.Üyesi Sedat GÖRMÜŞ'e özel teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tezin gerçekleşmesi sürecinde değerli görüşleri, düşünceleri, yorumları ve önerileriyle rehberlik etti.

Değerli arkadaşım Hakan AYDIN'a da yardımları için teşekkürlerimi sunarım. Ve son olarak, aileme ve özellikle babam'a bana inandıkları ve yanımda oldukları için sonsuz teşekkür etmek istiyorum. Onlara en derin şükranlarımı sunuyorum.

Parivash DEGHAN
Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Bu tezdeki “Dağıtık 6TiSCH Ağlarında Kaynak Yönetimi” başlıklı araştırma çalışması danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Sedat GÖRMÜŞ’ün sorumluluğunda tamamladığımı beyan ediyorum. Bu yüksek lisans tezinde kullanılan tüm veriler simülasyon ve deney çalışmaları ile elde edilmiştir. Diğer kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada göstermekteyim. Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Parivash DEGHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Nesnelerin İnterneti.....	1
1.1.1. Nesnelerin İnternetinin Yapısı	2
1.1.2. Uygulama Alanları	4
1.2. IoT’de Kablosuz İletişim Teknolojileri.....	6
1.3. Nesnelerin İnterneti İçin Protokol Yığıını.....	14
1.3.1. IEEE 802.15.4e	14
1.3.2. 6LoWPAN	16
1.3.3. 6TiSCH	17
1.3.4. RPL	17
1.3.5. CoAP	19
1.4. Tez Motivasyonu ve Amacı	19
1.5. Yöntem ve Metodoloji	20
1.6. Tez Yapısı	21

2. LİTERATÜR TARANMASI	22
3. DAĞITIK 6TİSCH AĞLARINDA KAYNAK YÖNETİM MODELİ.....	30
4. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	41
5. SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR	48
5.1. Sonuçlar.....	48
5.2. Gelecekteki Çalışmalar	49
6. KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Dağıtık 6TiSCH Ağlarında Kaynak Yönetimi

Parivash DEGHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ

2020, 50 Sayfa

Nesnelerin İnterneti, kaynak kısıtlı ve düşük güçlü cihazların herhangi bir protokol dönüştürücüsü olmadan internete çıkmasını sağlamayı hedefleyen teknolojilerin bütünü olarak düşünülebilir. Bu teknolojiyi içeren ağlarda yoğun haberleşme trafiği meydana gelebilir. Bu trafik, tıkanıklığa neden olur. Tıkanıklık, ağın performansını ve hizmet kalitesini önemli ölçüde etkiler. Bu bildiride, Java tabanlı denetleyici mekanizması geliştirilerek, zaman paylaşımı ve kanal atlamalı bir ağ teknolojisi olan IETF 6TiSCH protokolüne eklenti sunulmuştur. Önerilen mekanizma, frekans kanallarını ağ geçitlerinin yoğunluğuna göre dikey biçimde her bir ağ geçidine atamaktadır. Bu sayede hem komşu 6TiSCH ağlarının birbirlerine olan çakışma etkilerinin önüne geçilmektedir hem de veri iletim başarısında da artış sağlanmaktadır. Geliştirilen kaynak ayırma mekanizmasının geçerliliği Contiki OS işletim sistemi ve Cooja simülatörü kullanarak test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IoT, 6TiSCH, Yük dengeleme, Çakışma, Tıkanıklık..

Master Thesis

SUMMARY

Resource Management in Distributed 6TiSCH Networks

Parivash DEGHAN

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Computer Engineering Graduate Program

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sedat GÖRMÜŞ

2020, 50 Pages

The Internet of Things (IoT) can be considered as a whole set of technologies which aimed at enabling resource -constrained and low-power devices to go online without any protocol converter. There may be dense communication traffic in the networks that contain this technology. This traffic causes congestion. Congestion significantly affects network performance and service quality. In this paper, a Java based controller mechanism has been developed to enable an orthogonal allocation of frequency channels to neighboring 6TiSCH networks. In the proposed mechanism, an increase is observed in the data transmission performance. The validity of the developed model has been tested using Contiki OS and Cooja simulator.

Key Words: IoT, 6TiSCH, Load-Balancing, Conflict, Congestion.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Nesnelerin İnternetinin Yapısı.....	2
Şekil 2. Kablosuz Duyarga Ağ Blok Şeması.....	6
Şekil 3. Kablosuz Duyarga Ağının Mimarisi	7
Şekil 4. Çalışma biçimi.....	11
Şekil 5. 6TiSCH Mimarisi	13
Şekil 6. IEEE 802.15.4e TSCH ağlarında ACK ve çerçeve tabanlı senkronizasyon [42]...	16
Şekil 7. RPL DODAG	18
Şekil 8. X2 arayüzü komşu eNodeB'ler arasında [52]	24
Şekil 9. Standard 6TiSCH ağlarında çakışma	31
Şekil 10. Önerilen sistem mimaris.....	35
Şekil 11. Yük Dengeleme Algoritması.....	37
Şekil 12. Süre bazlı çakışma miktarı	42
Şekil 13. Farklı bağlantı kalitesi olasılıkları için meydana gelen çakışma miktarları	44
Şekil 14. Ağ geçitleri tarafından alınan hello paketleri sayısı	45
Şekil 15. Standart ve Önerilen senaryolar için veri iletim miktarı	46
Şekil 16. Standart ve Önerilen senaryolar için düşen paket miktarı.....	46

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Table 1. Kullanılan parametreler	41



SEMBOLLER DİZİNİ

IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Thing)
WSN	Kablosuz Duyarga Ağlar (Wireless Sensor Network)
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)
NFC	Yakın Alan İletişimi (Near-Field-Communication)
LAN	Yerel Alan Ağı (Local Area Network)
M2M	Makine 2 Makine (Machine 2 Machine)
ITU	Uluslararası Telekom Birliği (International Telecommunication Union)
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
TSCH	Zaman Dilimli Kanal Atlamalı (Time slotted Channel Hopping)
OSI	Açık Sistemler Arabağdaşım Referans Modeli (Open System Interconnection)
IPv6	İnternet Protokol Sürüm 6 (Internet Protocol Version 6)
6LowPAN	Düşük güçlü Kablosuz Kişisel Bölge Ağları (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)
LLN	Düşük-Güçlü Kayıplı Ağlar (Low-Power and Lossy Networks)
CoAP	Kısıtlı Uygulama Protokolü (Constrained Application Protocol)
DODAG	Hedef tabanlı yönlü döngüsüz graf (Destination Oriented Directed Acyclic Graph)
MAC	Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control)
TCP	İletim Kontrol Protokolü (Transmission Control Protocol)
UDP	Kullanıcı Veri Bloğu İletişim Kuralı (User Datagram Protocol)
IEEE Electronic	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical & Engineers)
IETF	İnternet Mühendisliği Görev Gücü (Internet Engineering Task Force)
RPL	Düşük Güçlü ve Kayıplı Ağları için IPv6 Yönlendirme Protokolü (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks)
6TiSCH	IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4
DIO	DODAG Bilgi Nesnesi (DODAG Information Object)
DAO	Hedef İlan Nesnesi (Destination Advertisement Object)
DIS	DODAG Bilgi Talep Etme (DODAG Information Solicitation)

OF	Amaç Fonksiyonu (Objective Function)
EB	Gelişmiş İşaretçi (Enhanced Beacon)
ASN	Mutlak Hücre Sayısı (Absolute Slot Number)
Rx	Alma (Reception)
ADC	Analogdan Sayısala Çevirici (Analog to digital converter)
DLL	Veri Bağlantı Katmanı (Data Link Layer)
LLC	Mantıksal Bağlantı Kontrolü (Logical Link Control)
UWB	Çok Geniş Frekans Bandı (Ultra-Wide Band)
WPAN	Kablosuz kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks)
HTTP	Hiper Metin Aktarım Protokolü (Hyper Text Transfer Protocol)
NP	Neighbor Protocol (Komşu Protokolü)
ACK	Alındı Damgası (Acknowledgement)
LE	Düşük Energy (Low Energy)
IE	Bilgi Öğeleri (Information Elements)
AFH	Uyarlamalı Frekans Atlama (Adaptive Frequency Hopping)
LTE	Uzun Vadeli Evrim (Long-Term Evaluation)
LTE-A	Uzun Vadeli Evrim-Gelişmiş (Long-Term Evaluation-Advanced)
CR	Bilişsel Radyo (Cognitive Radio)
CCI	Ortak İletişim Arayüzü (Common Communication Interface)
ICIC	Hücreler Arası Girişim Koordinasyonu (Inter-Cell Interference Coordination)
3GPP	Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi (3rd Generation Partnership Project)
SEP	Zamanlama Değişim Program (Scheduling Exchange Program)
AEA	Uyarlanabilir Seçim Algoritması (Adaptive Election Algorithm)
ICMPv6	IPv6 için İnternet Kontrol Mesajı Protokolü (Internet Control Message Protocol for IPv6)
SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio)
OFDM	Ortogonal Frekans- Bölmeli Çoklama (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
CSMA	Taşıyıcı-Algılama Çoklu Erişim (Carrier-sense multiple access)
TDMA	Zaman- Bölmeli Çoklu Erişim (Time-division multiple access)
DAG	Yönlü Dögüsüz Graf (Directed acyclic graph)
RB	Kaynak Blokları (Resource Blocks)

VR	Değişken Yarıçap (Variable Radius)
SIR	Sinyal-Girişim Oranı (Signal-İnterference Ratio)
BS	Baz İstasyonları (Base Station)
PRB	Fiziksel Kaynak Blokları (Physical Resource Blocks)
HRA	hibrit kaynak tahsisi (hybrid resource allocation)
TTI	farklı zaman aralıkları (transmission time interval)
DRAMA	Dinamik Kaynak Tahsis Algoritması (Dynamic Resource allocation management algorithm)
FAP	Femtocell erişim noktası (Femtocell Access Point)
PPD	Poisson Nokta Dağılımı (Poisson Point Distribution)
HCIG	Girişim Grafiğine Dayalı Hibrit Kümeleme (hybrid clustering based on interference graph)

1. GİRİŞ

1.1. Nesnelerin İnterneti

Günümüzde İnternet hızla değişmektedir; bu değişim bugün insanların her alanda yararlandığı Nesnelerin İnternetine (Internet of Things - IoT) doğru kaymaktadır. Nesnelerin İnterneti, herhangi bir cihazın İnternete veya birbirine bağlı olan cihazların kavramı olarak tanımlanabilir. IoT teknolojisi, duyargalar ve aktüatörleri barındıran kablosuz duyarga ağları ile erişebildikleri bir ağ geçidi üzerinden İnternete bağlanır. Bu yeni nesil kavram, her fiziksel nesnenin İnternete bağlı olduğu ve kendini diğer cihazlara benzersiz bir şekilde tanıtabildiği bir paradigmayı ifade eder.

Nesnelerin İnterneti, son zamanlarda en popüler araştırma konularından birisi haline geldi [1]. IoT, artan bir şekilde çok sayıda hizmeti (servisi) bir dizi standart protokol aracılığıyla bağlayarak kullanmaktadır. Bu teknoloji farklı hizmet ve uygulamalar sunarak hayatımızın birçok farklı yönünün bir parçası haline gelmektedir. Bugün IoT teknolojisi, Akıllı Şebekeler, Akıllı Şehirler, Endüstriyel Otomasyon, Ev Otomasyonu ve Bina Otomasyonu gibi birçok geniş uygulama alanını kapsamaktadır.

2000'li yıllarda, MIT Auto-ID Center'den Kevin Ashton, Radyo Frekans Tanımlayıcıları (Radio Frequency Identification-RFID) bilgilerinin İnternete bağlayarak veri transferi için "Nesnelerin İnterneti" terimini önerdi [2]. Nesnelerin İnterneti kavramı Avrupa Birliği tarafından Mart 2007'de yayımlanan bildiriye dünyaya duyuruldu. Literatürde birçok tanım mevcuttur. IoT, Bilgi toplama için mevcut ve gelişen bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı, birbirine bağlı nesnelere tarafından geliştirilmiş hizmetler sağlayan küresel bir altyapıdır [3]. Atzori vd., IoT'yi benzersiz bir şekilde adreslenebilen nesnelere çok daha fazlası olarak görmektedir [4]. Akıllı alanlarda faaliyet gösteren sosyal, çevresel ve kullanıcı bağlamlarında iletişim kurmak için akıllı arayüzler kullanan kimliklere sahip olan cihazların hizmetleri olarak tanımlanır.

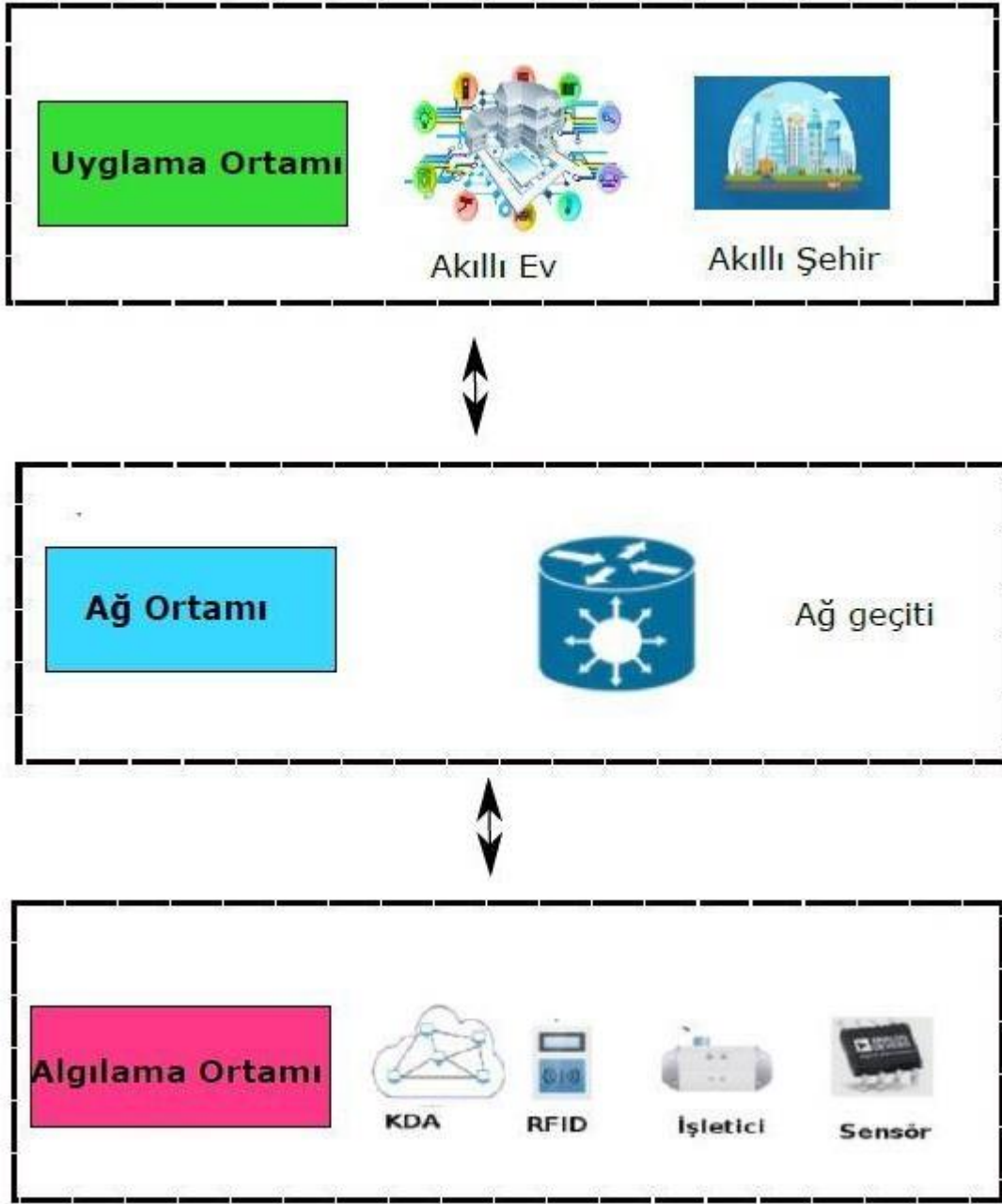
Yapısal olarak IoT teknolojisi, büyük miktarda bilgi ile başa çıkma, sorgulama, hesaplama, ve yeni veri işleme paradigmasını kullanan teknolojiyi ifade eder. Filtreleme, toplama ve veri madenciliğini yapabilmek için HTTP ve İnternet protokolü gibi kabul edilmiş iletişim standartlarını kullanarak yazılım mimarisini gerektiğini vurgular. Buna karşılık, IoT'de nesnelerin doğası gereği düşük güç tüketimi gerekli olduğu durumlar mevcut

olabilir. Böylece herhangi bir nesne, pillerle veya enerji toplama yoluyla çalıştırılırken İnternete bağlanabilir [5].

Uluslararası Telekom Birliği (International Telecommunication Union-ITU) tarafından 2005 yılında IoT'nin yıllık raporu yayınlandı ve burada “Her Zaman, Her Yerde ve Her Şeyle Bağlantı” teması ortaya konulmuştur. Bu tanıma dayanarak Nesnelerin İnterneti ortamındaki her şey, gerçek dünyadaki her bir nesnenin, İnternetteki sanal varlığı aracılığıyla adreslenebilir ve konumlandırılabilir [6].

1.1.1. Nesnelerin İnternetinin Yapısı

Nesnelerin İnternetinin yapısı temel olarak algılama ortamı, ağ ortamı, uygulama ortamı diye üç ortamdan oluşmaktadır. Şekil 1’de gösterilmektedir:



Şekil 1. Nesnelerin İnternetinin Yapısı

Algılama ortamı : Algılama ortamının ana görevi, IoT'nin bir parçası olan çevremizdeki nesnelerin fiziksel özelliklerini algılamaktır. Ayrıca, bu ortam verilerin insan dünyasından ve fiziksel dünyadan nasıl toplanabileceği sorunu çözmektedir. Algılama işlemi, nesnelerin internetinin çekirdek ortamı olarak kabul edilmektedir. Bu işlem, farklı algılama teknolojilerine (ör. RFID, Bluetooth, ZigBee, NFC, vb.) dayanmaktadır [7]. Ek olarak bu ortam, bilgiyi ağ iletimi için daha uygun olan hale yani dijital sinyallere

dönüştürmekten sorumludur. Ancak, bazı bilgiler doğrudan IoT duyargalarından elde edilemez. Böylelikle, bu ortamda gömülü zekalar önemli bir rol oynar. Gömülü zekalar doğrultusunda, insanların IoT duyargaları ile etkileşim halindeyken bıraktığı dijital izleri analiz ederek çok çeşitli yenilikçi akıllı nesnelere geliştirilmesi için olanak sağlama fırsatı verir [8].

Ağ ortamı: Aktarım ortamı olarak da bilinen ağ ortamı, verilerin uzun mesafeli aktarımını çözmektedir. Ağ ortamı, algılama ortamından alınan verilerin işlenmesinden sorumludur. Belli aralık dahilinde, temel olarak erişim ve iletim işlevlerini tamamlamaktadır. Buna ek olarak, kablosuz / kablolu ağlar ve Yerel Alan Ağları (LAN) gibi çeşitli ağ teknolojileri aracılığıyla uygulama ortamına veri iletmekten sorumludur. İletim için 3G / 4G, Wifi, bluetooth, Zigbee, UWB teknoloji vb. ana ortam içermektedir. Ağ tarafından büyük miktarlarda veri taşınmaktadır. Bu nedenle, bu büyük miktarda veriyi saklamak ve işlemek için sağlam bir ara katman yazılımı sağlamak çok önemlidir. Bu hedefe ulaşmak için ortamdaki asıl teknoloji bulut hesaplanmasıdır. Bu teknoloji, verilerin saklanabileceği ve işlenebileceği güvenilir ve dinamik bir arayüz sunar. Aslında işleme (processing) kısmındaki araştırma ve geliştirme IoT'nin gelecekteki gelişimi için önemlidir.

Uygulama ortamı: Uygulama ortamı aynı zamanda işleme ortamı olarak bilinmektedir. Bu ortam, bilgi işleme ve insan-makine arayüzü sorunlarını çözmektedir. Uygulama ortamı, iletim ortamı tarafından sağlanan verileri kullanmaktadır. Aslında bu ortam, IoT potansiyelinin kullanılacağı tüm IoT mimarisinin temelini oluşturmaktadır. Ayrıca bu ortam, geliştiricilerin IoT vizyonunu gerçekleştirmeleri için gerekli araçları (örn. çalıştırma cihazları) sağlamaktadır. Ek olarak, uygulama ortamı kullanıcıya uygulamaya özel hizmet sunmaktan sorumludur. Bu vizyonda, olası uygulamaların çeşitliliği etkileyici biçimde çok fazladır (ör. Akıllı ulaşım, lojistik yönetimi, kimlik doğrulama, konum tabanlı hizmetler, güvenlik vb.). Nesnelerin İnternetinin konuşlandırılacağı çeşitli uygulamaları, örneğin akıllı evleri, akıllı şehirleri ve akıllı sağlığı tanımlamaktadır [9, 10].

1.1.2. Uygulama Alanları

Yakın Alan İletişimi (Near-Field-Communication-NFC), Radyo frekansı Tanımlama (RFID) ve Makineden Makineye İletişim (Machine 2 Machine-M2M) IoT'nin uygulandığı teknolojilerdir. Nesnelerin İnterneti insan hayatını, çalışma tarzını, eğlence yollarını ve daha

fazlasını değiştirmeyi amaçlamaktadır. IoT tabanlı birçok uygulama alanı vardır ve bu uygulamanın alanı gün geçtikçe artmaktadır. Uygulama alanlarından kısaca bahsedilecektir. Askeri uygulamalar: Nesnelerin İnterneti hem sivil uygulamalar hem de askeri uygulamalar için verimli bir alandır. Savunma alanında, İnternete bağlı duyurgalar ve nano dronelar, keşif, savaş alanlarının ve sınırlarının izlenmesi ve düşman kuvvetlerinin takibi için çok yönlü uygulamalar tasarlamayı mümkün kılmaktadır. Askeri gler bağlantı ve iletişim için özel altyapı kullanma eğilimlidir. İnternete geçerek, operasyonel esneklik sağlayabilecek bulut altyapılarını kullanmak mümkün olacaktır. Savaş alanlarına yerleştirilecek olan duyurga ağları ile gerekli savunma mekanizmaları sağlanarak alan hakimiyetlerinin sağlanması amaçlanır.

Sanayi: Sanayi sektörü, IoT tarafından devrim yaratacak bir başka alandır. Kablosuz duyurga cihazlarının, RFID etiketlerinin ve gömülü denetleyicilerin sayısı endüstriyel üretim sistemlerinde, imalat zincirlerinde ve hatta ürünlerde önemli ölçüde artmaktadır. Bu, şirketlerin üretim süreçlerinin artmasına ve daha rekabetçi bir satış sonrası hizmet sunmasına yardımcı olmaktadır. Böylece, internete bağlı olan fabrikalar olmayanlara göre daha çok verimli, etkili ve akıllıdır. Ayrıca çalışmamızın temelini oluşturan 6tisch ağları sanayi alanlarında gittikçe önem kazanmaktadır.

Akıllı şehirler: IoT, su, gaz ve elektrik gibi şehir hizmetlerinin insan eli değmeden sürekli kontrol edilmesini sağlayarak, bu hizmetlerin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrolünü sağlayacaktır. Duyurgalar, otoparkların ve kentsel trafiğin yönetimini iyileştirmek için kullanılabilir ve bunun sonucunda da önemli miktarda CO_2 emisyon azaltımlarına katkıda bulunabilir.

Akıllı sağlık: IoT, sağlık sektöründe kronik hastalıkları olan bireyleri uzaktan takip edebilmek ve gerekirse hızlı hareket edebilmek için birçok uygulamaya sahip olmayı hedefler. Hastanın vücuduna eklenen vücut sensörleri sıcaklık, kan şekeri, kalp atışı ritmi ve hatta kan basıncı gibi tıbbi parametreler hakkında bilgi toplar. Günümüzde evden yaşlıların takibi, hastaların nabız durumlarının ve kalp atışlarının durumları geliştirilen giyilebilir cihazlar ile doktorların anlık olarak hastaları kontrol etmesini ve gerektiğinde uzaktan müdahale etmesine olanak tanır.

Akıllı ev: Geleceğin evi, akıllı telefonlar, tablet veya bağlı bilgisayarlar aracılığıyla uzaktan erişilebilen (uzaktan erişebilme olasılığı olan), İnternete bağlı bir nesne olacaktır. Kapı, televizyon, termostat, buzdolabı, saatler gibi bir sürü cihaz İnternete bağlanacaktır.

Örneğin İnternet tabanlı bir kapı, çocuklar eve döndüğünde ebeveynlerini bilgilendirebilir. Klasik olarak televizyon sadece alıcı bir son olmuştur. İnternete bağlı televizyonla, izleyiciler e-posta gönderip alabilir, İnternet üzerinden telefon görüşmeleri yapabilir veya IP tabanlı TV içeriği izleyebilir.

1.2. IoT’de Kablosuz İletişim Teknolojileri

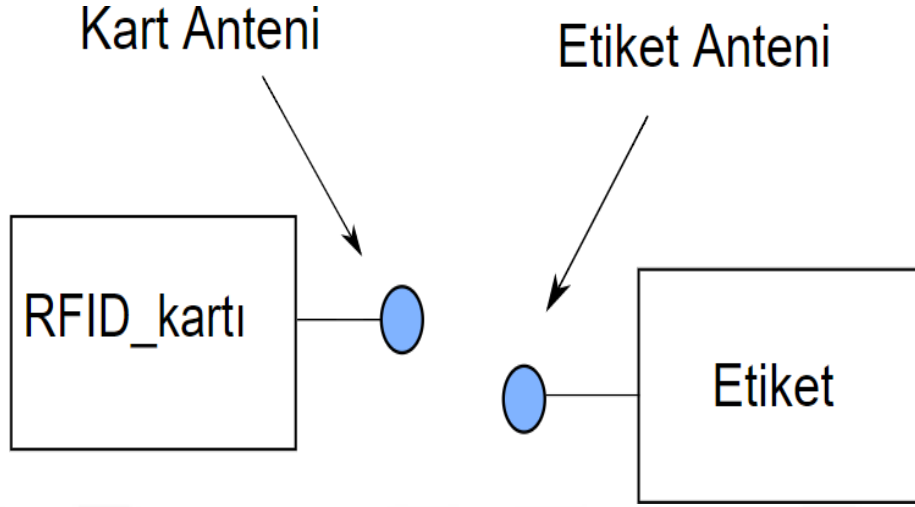
İletişim, IoT’nin en önemli bileşenidir çünkü farklı IoT cihazlarını birbirine bağlamak için iletişim kurabilmeleri gerekmektedir. Kablosuz iletişimdeki hızlı teknolojik gelişmeler, çok işlevli düşük güçlü duyurga cihazlarının çevredeki bilgileri algılamasına ve bunlara yanıt vermesine olanak sağlamaktadır.

1.2.1. Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisi (RFID)

Tüm teknolojiler arasında Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) teknolojisi en yaygın olarak uygulanan teknolojilerden birisidir. Kullanıcılara daha iyi bir çözüm sunmak amacıyla bilgi taşıyıcısı görevi görmektedir ve kullanıcıların bu tür verileri verimli bir şekilde toplamalarına yardımcı olmaktadır.

RFID teknolojisi, gömülü cihazlar alanında önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir. RFID, günlük hayatımızda kullanılan küçük mikroçiplerin (etiketler olarak adlandırılmaktadır) tasarımına izin vermektedir. Sonuç olarak, bu etiketlerde depolanan veriler otomatik bir şekilde nesnelere yararlı bilgileri tanımlamak ve çıkarmak için kullanabilmektedir. Dolayısıyla, etiket elektronik bir barkod görevi görmektedir.

RFID kartları, bir RFID etiketinin varlığını algılayabilen / tanıyabilen ve üzerinde depolanan bilgileri okuyabilen bir cihazdır. Ek olarak, RFID teknolojisi radyo dalgalarıyla kablosuz olarak etiketlenmiş nesnelere bilgi elde edilmesini sağlamaktadır. RFID etiketlerinde bilgi toplamak ve ortamı gerektiği gibi değiştirmek için duyurgalar ve aktüatörler bulunmaktadır. Bu etiketlerin dezavantajı olarak bant genişliği, güç, işlem enerjisi ve bellek açısından oldukça sınırlı olmasıdır. RFID teknolojisi tipik olarak, bir RFID kartlarının güç sağlamak için aldığı ve enerjiye dönüştürdüğü bir radyo frekansı (RF) sinyali yayınladığı şekilde çalışır. Etiket daha sonra kimliğini tekrar kartlara iletacaktır. Değişiklik olmasına rağmen, genel olarak RFID teknolojisi Şekil.4 ‘teki gibi çalışmaktadır [33].



Şekil 4. Çalışma biçimi

Genel olarak, RFID cihazları pasif ve aktif olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Pasif RFID etiketleri kendilerine ait bir güç kaynakları yoktur. Böylelikle, kendi çiplerini harekete geçirme konusunda ve iletişime geçme konusunda tamamıyla kartlara bağımlıdırlar. Bu etiketlerde, gerekli olan enerjiyi radyo sinyalleri aracılığı ile kartlardan alırlar. kartlardan gelen bu enerji etiket anteninde bir gerilim indüklenmesi oluşturarak etiketin çipini harekete geçirir. Böylelikle, çip içinde barındırdığı bilgiyi yine anteni aracılığı ile kartlara gönderir [34]. Çeşitli alanlardan birçok uygulama bu tür etiketleri kullanmaktadır. Özellikle perakende satışta taşımacılık alanlarında kullanılır. Ek olarak, banka kartlarında ve otoyol geçiş ücreti etiketlerinde erişim kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, aktif RFID kartları kendi pil enerjilerine sahiptirler ve bir iletişimi başlatabilirler. Ancak, radyo kapsama alanı pasif etiketlere kıyasla daha önemli olmasına rağmen daha yüksek üretim maliyetleri pahasına çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Aslında, RFID teknolojisinin kullanımındaki en ilginç avantajlardan biri, yaygın bir şekilde benimsenmesini sağlayacak sınırlı maliyettir. Diğer uygulamaların yanı sıra, aktif RFID etiketleri kargoyu izlemek için liman konteynerlerinde, akıllı ev ortamında, robotikte ve müşteriler için otomatik giriş sağlamada sıkça kullanılmaktadır

1.2.2. Bluetooth

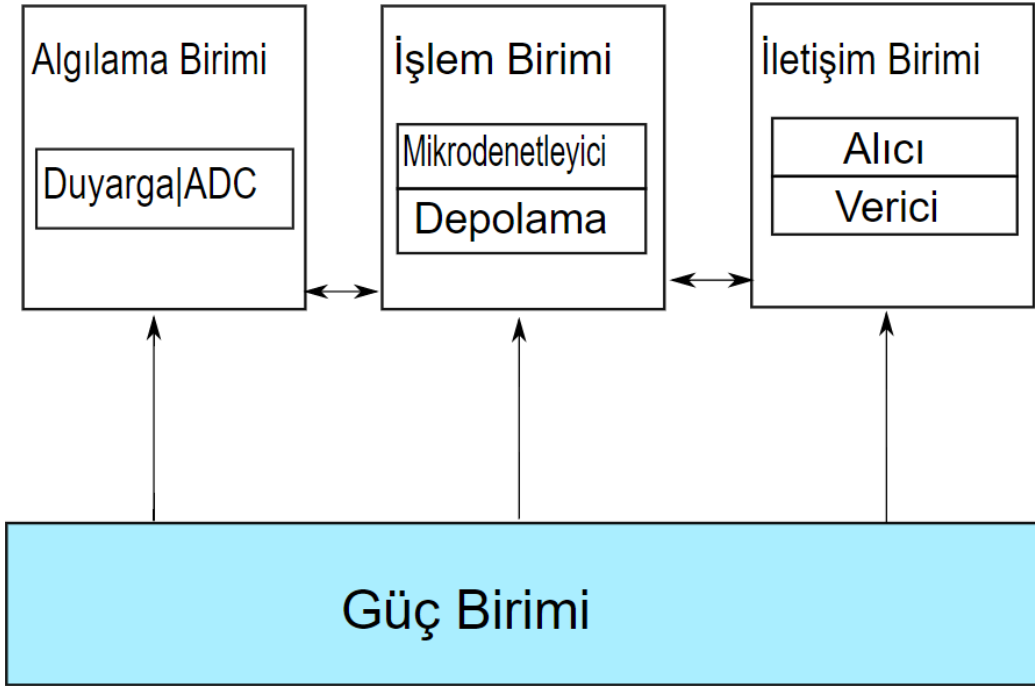
Bluetooth genel olarak, düşük güç ve düşük maliyet gerektiren kısa menzilli (alan) iletişimlerde kullanılmaktadır. İletim alanı ise, 30 mW'dan daha küçük bir güç tüketimi ile 10 metre veya 100 metreye kadar çıkabilir. Ortam erişim kontrolü ve veri iletimi için TDMA-tabanlı kanal erişim şeması kullanılmaktadır. Burada, bir server (master) Bluetooth cihazı diğer alt (slave) Bluetooth cihazlarını yönetmek için bir star topoloji ağı oluşturur. Bu doğrultuda, her bir zaman dilimi sırasında sadece ya server birimi veya alt birimlerden biri uyarlamalı frekans atlama (adaptive frequency hopping-AFH) tekniğine göre seçilen belirli bir frekansta iletim yapma olasılığına sahiptir [34]. Bluetooth teknolojisi klavye, yazıcı, fare, kulaklık gibi bilgisayarlara veya cep telefonlarına bağlanan cihazlarda uygulanmaktadır.

1.2.3. Kablosuz Duyarga Ağları

Kablosuz Duyarga Ağlar (Wireless Sensor Network-WSN), çok sayıda küçük boyutlu, düşük maliyetli ve kısa mesafede kablosuz ortam üzerinden haberleşen duyargalardan meydana gelen ağıdır [11]. Bu ağlar, kendi kendine yapılandırılmış ve altyapıdan bağımsız olarak tanımlanabilir. Böylelikle, bu ağlar sıcaklık, ses, titreşim, basınç, hareket veya kirlenici maddeler gibi çevresel koşulları izlemek ve verilerini ağ üzerinden iletmek için işbirliği yaparlar. KDA'ların temel amacı, çevredeki durumlar hakkında veriler toplamaktır [12]. Bu doğrultuda, verileri gözlemlenebildiği ve analiz edilebileceği bir ana konuma veya toplayıcıya iletmek için işbirliği yapar. Bir toplayıcı veya baz istasyonu, kullanıcılar ve ağ arasında bir arayüz görevi görmektedir. Toplayıcıdan veriler alınarak, merkezi ya da dağıtık ortamlarda bilgiler işlenebilir. Genellikle kablosuz bir duyarga ağı yüz binlerce duyargayı içermektedir. Duyargalar radyo sinyalleri kullanarak kendi aralarında iletişim kurabilmektedir. Bir kablosuz duyarga algılama ve hesaplama cihazları, radyo alıcı-vericileri ve güç bileşenleri ile donatılmıştır. Kablosuz duyarga ağındaki (KDA) duyargalar sınırlı işlem hızı, depolama kapasitesi ve iletişim bant genişliğine sahip olmalarından dolayı kaynak kısıtlı cihazlar olarak adlandırılmaktadır.

Bir duyarga, Şekil 2'de gösterildiği gibi algılama birimi, işlem birimi, alıcı-verici birimi ve güç birimi olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır. Aynı zamanda konum bulma sistemi, jeneratör gibi uygulamaya bağlı olarak ek bileşenler içermektedir. Algılama

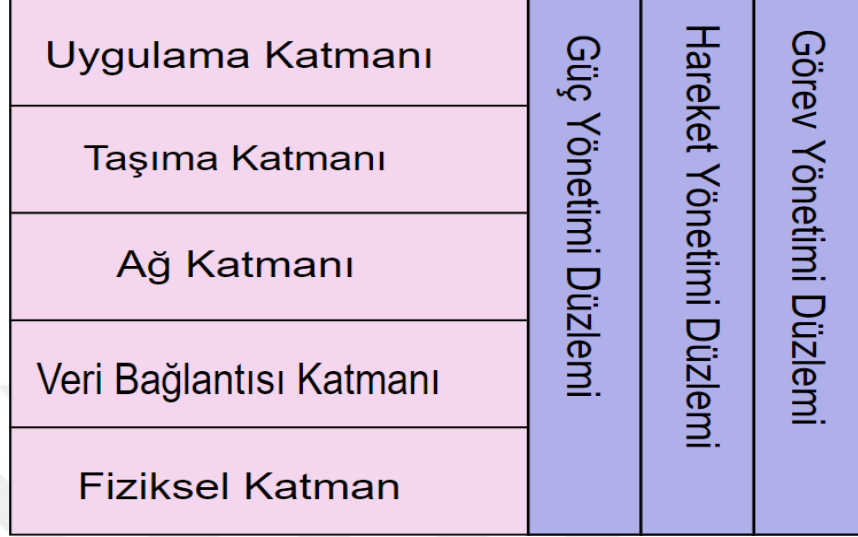
birimi genellikle duyargalar ve analogdan dijitale dönüştürücüler (Analog to digital converts-ADC) olmak üzere iki alt birimden oluşmaktadır. Duyargalar tarafından üretilen analog sinyaller, ADC tarafından dijital sinyallere dönüştürülür ve daha sonra işlem birimine aktarılır. İşlem birimi genellikle küçük bir depolama birimiyle ilişkilidir. Aynı zamanda işlem birimi atanan algılama görevlerini yerine getirmek için duyarganın diğer duyargalar ile işbirliği yapmasını sağlayan prosedürleri yönetebilmektedir. Duyarga bir alıcı-verici birimi vasıtasıyla ağa bağlanır. Duyarganın en önemli bileşenlerinden birisi güç birimidir. Güç birimine, güneş pilleri gibi bir birim tarafından gerekli güç sağlanabilmektedir. Duyarganın diğer alt birimleri uygulamaya bağlıdır [13].



Şekil 2. Kablosuz Duyarga Ağ Blok Şeması

KDA'lar genel mimarisi OSI modelini referans almaktadır. Duyarga ağları temel olarak uygulama, taşıma, ağ, veri bağlantısı ve fiziksel olmak üzere beş katmandan oluşur. Bu katmanlara ek olarak güç yönetimi, hareket yönetimi ve görev yönetimi düzlemleride Şekil 3'te gösterildiği gibi çapraz olarak tanımlanmıştır. Güç yönetimi düzlemi, duyarga gücünü nasıl kullanacağı ile ilgilenmektedir. Hareket yönetimi düzlemi, duyarga hareketlerini sezgiler. Görev yönetimi düzlemi, verilerin algılama görevlerini bölerek farklı zamanlara sahip görevlere ayrılmasıyla ilgilenir. Bu katmanlar, ağı yöneterek ağın genel

verimliliğini artırmakla beraber duyargaların birlikte çalışmasını sağlamak için kullanılmaktadır [14].



Şekil 3. Kablosuz Duyarga Ağının Mimarisi

Fiziksel Katman: Bir KDA'daki fiziksel katmanın temel amacı, verileri iletmek için kullanılan sinyalin modülasyonunu ve demodülasyonunu sağlamaktır. Böylelikle fiziksel katman, hedef uygulamalar için izin verilen frekans aralığına göre uygun sinyal modülasyonunu sağlamaktadır. Bu katman aynı zamanda alıcı tarafında sinyalin demodülasyonunu yapmakta ve yayılma etkilerini (örn. Yol kaybı, gecikme yayılımı) en aza indirmeye çalışmaktadır.

KDA'lardaki fiziksel katman, düşük güç tüketimi ve donanım tasarımı da dahil olmak üzere doğal kısıtlamalara özen göstermek zorundadır. Kablosuz duyarga ağlar için verimli güç yönetimi önemli bir gereksinimdir. Bu gereksinim modülasyon şeması, veri hızı, iletim gücü (iletim mesafesine bağlı olarak) ve çalışma görev döngüsü ile ilgilidir.

Veri Bağlantısı Katmanı: Veri Bağlantısı Katmanı veri akışlarını çoğaltmak, veri çerçevesi algılama, Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control-MAC) ve hata kontrolünden sorumludur. Bu katman, noktadan noktaya veya noktadan çok noktaya iletişim paradigmasının güvenilir bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Veri Bağlantısı Katmanı (Data Link Layer -DLL), temel olarak Mantıksal Bağlantı Denetimi (Logical Link Control -LLC) ve Ortam Erişim Denetimi (MAC) olmak üzere 2 alt katmana ayrılmaktadır [15].

MAC katmanı kanal erişim politikalarını, zamanlamayı, ara bellek yönetimini ve hata kontrolünü yönetmekten sorumludur. Kablosuz duyurga ağlarda enerji verimliliğini, güvenilirliği, düşük erişim gecikmesini ve yüksek verimi göz önünde bulunduran bir MAC protokolüne ihtiyaç duyulmaktadır [16].

Kablosuz duyurga ağları için MAC protokolleri çekişme tabanlı (CSMA tabanlı) ve TDMA tabanlı olmak üzere ikiye ayrılır [17]. TDMA tabanlı protokollerde, gönderme ve dinleme süreleri kullanılarak paket çakışması ve ortamın gereksiz şekilde dinlenmesi engellenmektedir. Ancak etkili bir senkronizasyon gereklidir. Diğer yandan, çekişme tabanlı protokollerde senkronizasyon esnekliklidir. Bu doğrultuda, yeni düğümlerin eklenmesi ağdaki pili bitmiş düğümlerin değiştirilmesi ve ağa yeni düğümlerin eklenmesi gibi topoloji değişikliklerine kolayca adapte olabilmektedir. Paket çakışması ve ortamın gereksiz yere dinlenmesi açısından CSMA tabanlı protokoller daha yüksek maliyetlere sahiptir. KDA'lardaki MAC protokolleri genellikle CSMA tabanlıdır. CSMA basit, esnek ve dayanıklı olduğu için popülerdir. Çok fazla altyapı desteğine ihtiyaç duymazlar. Saat senkronizasyonu ve global topoloji bilgisi gerektirmez. Bir düğüm dinamik olarak ağa katıldığında veya ağdan ayrıldığında, fazladan bir işlem yapılmadan kontrol edilebilir. Sonuçta bir düğüm, aynı kapsama alanında olmayan iki farklı düğümden bir paket alabilir. Buda, paket çakışması gerçekleşmesine sebebiyet verir. Bu problem literatürde gizli bir terminal problem olarak bilinir. Bu sorun duyurga uygulamalarında enerji kaybına neden olur. Diğer taraftan TDMA, komşu düğümlerin iletim zamanını farklı zamanlarda programladığından gizli terminal problemine ekstra mesajlara ihtiyaç duymadan çözüm sağlar. Bununla birlikte, TDMA'nın bazı dezavantajları da vardır. Her şeyden önce paket çakışmasını önlemek için etkili bir zamanlama programı olmalıdır. TDMA'nın dinamik topoloji değişikliklerini kontrol etmesi oldukça maliyetlidir. Son olarak, TDMA düşük gecikme sırasında düşük kanal kullanımına izin verir. Bu doğrultuda, CSMA ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir gecikmeye yol açar. Çünkü TDMA'daki bir düğüm yalnızca kendi saat diliminde iletim yapabilir [17].

IEEE 802.11 [18], KDA'larda veri paketi çakışmasını önlemek için rastgele bir geri çekme yöntemi ve taşıyıcı sinyal dinleme kullanan CSMA tabanlı bir MAC protokolüdür. IEEE 802.11 protokolüne mesaj göndermek isteyen bir düğüm ortamı kısa bir süre dinler ve ardından kanal boşsa mesajı göndermeye başlar. IEEE 802.11 protokolü, düğümlerden herhangi bir iletişim algılamazsa kanalın boş olduğunu doğrular. 802.11'deki düğümler,

MAC'e iletme hakkını elde etmek için diğere düğümlele uğraşmak zorundadır. Çekişmeyi kaybeden düğüm beklemeli ve tekrar denemelidir.

CSMA / CA tabanlı bir protokol olan IEE 802.15.4 [19, 20], Kablosuz Özel Alan Ağları (WPAN) için MAC ve Fiziksel Katmanları belirler. Bu protokol KDA'lar için özel olarak geliştirilmese de düşük güç tüketimi, düşük maliyeti ve esnekliğı nedeniyle KDA'larda için kullanılabilir.

S-MAC, IEEE 802.11 ile tasarlanmış CSMA tabanlı bir MAC protokolüdür [21]. Birincil hedefi güç tüketimidir. Bu protokoldeki yenilikler periyodik dinleme, çakışmayı azaltma, istem dışı alımları önleme ve mesaj geçişini sağlamaktır. Burada, duyargalar genellikle ortamı sürekli dinlemek yerine uyurlar. Dinleme ve uyku süreleri sabit ve periyodiktir. Duyargaların birlikte hareket edebilmesi için sıkı bir senkronizasyon olmalıdır. S-MAC, büyük boyutlu paketlerin daha verimli gönderilebilmesi için mesaj geçişini destekler. S-MAC'ın olumlu yönü, simülasyon modeli ve duyargalar üzerinde çalışan nesC [22] dilinde yazılmış bir TinyOS [23] işletim sistemi sürümü olmasıdır. Böylece, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. S-MAC'ın olumsuz yönü, duyargaların birlikte hareket etmek için sıkı bir senkronizasyona ihtiyaç duymasındır. Bu doğrultuda, kararlı dinleme / uyku zamanlaması nedeniyle senkronize olmaz ve dolayısıyla gecikme artar.

T-MAC, KDA'larda için geliştirilmiş CSMA tabanlı bir MAC protokolüdür [24]. S-MAC'deki sabit uyku-dinleme süreleri enerji verimliliğini artırmasına rağmen yüksek gecikme ve düşük verimliliğe de yol açar. T-MAC'in değişken trafik yoğunlukları sırasında zayıf S-MAC sonuçlarını iyileştirmesi önerilmektedir. T-MAC'de belirli bir dinleme süresi (zaman aşımı, TA) sırasında herhangi bir iletişim gerçekleşmezse, uyku modu devreye girer. T-MAC, S-MAC'den daha az enerji tüketmektedir. Ancak daha fazla gecikmenin meydana gelmesine neden olur.

P-MAC, KDA'lar için geliştirilmiş CSMA tabanlı bir MAC protokolüdür [25]. S-MAC gibi MAC protokollerinin çoğu enerji tasarrufu için periyodik olarak uyurlar. Bu protokollerde, görev döngüsü sabittir. P-MAC'de sabit uyku ve dinleme süreleri yerine uyku-dinleme süreleri farklı bir şekilde belirlenir. Burada, zamanlama duyarganın ve komşularının trafiğine göre belirlenir.

DSMAC, S-MAC protokolüne dinamik bir zaman dilimi özelliğı eklenerek geliştirilmiştir [26]. Amacı, gecikmeye duyarlı uygulamalar için gecikmeyi azaltmaktır. Tüm duyargalar, SYNC periyodundaki bir atlama gecikmesini paylaşırlar (kuyruktaki toplantı paketi ile onu gönderme arasında geçen süre) ve ayrıca aynı saat diliminde başlarlar.

TRAMA, enerji verimliliği için tasarlanmış TDMA tabanlı bir MAC protokolüdür [27]. Bu protokolda, duyargalar serbest olduklarında ve dolayısıyla bir paket çakışmasının meydana gelmeyeceğini garanti ederek enerji tüketimi azaltılır. TRAMA üç ana bileşenden oluşmaktadır. İlk olarak, komşu protokol (Neighbor Protocol-NP) komşu duyargalardan bilgi toplar. Zamanlama Değişim Protokolü (Scheduling Exchange Program-SEP), duyargaların iki atlamalı komşu bilgilerini ve programlarını değiştirilmesine olanak tanır. Uyarlanabilir Seçim Algoritması (Adaptive Election Algorithm-AEA), komşu ve program bilgilerini kullanarak mevcut saat diliminde gönderip alacak duyargalara karar verir. Bu protokol, gecikmeye duyarlı uygulamaların dışında enerji verimliliği ve verimlilik gerektiren uygulamalar için kullanılır [28,29,30,31,32]

Ağ Katmanı: Ağ Katmanının asıl görevi, ağdaki uçtan-uca iletişimin kurulmasını ve muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda, ağdaki tüm duyargalar birbirleri ile iletişim kurarak tamamen bağlı bir ağ gerekmektedir. Bu katman bağlantıyı sağlayarak amaç noktasına giden yolu bulmakla görevlidir. Yönlendirme protokolü bu katmanda çalışır. Bu protokol amaç noktasına giderken hangi yolun seçilmesine katmandaki parametrelere dayanarak belirler. Bir kablosuz ağdaki ağ katmanının asıl işlevleri olarak komşu bulma, yönlendirme ve kaynak tahsisi olarak bahsedilir. Bu katman ayrıca, güç tüketiminde tasarruf sağlamak amacıyla en düşük enerji yolu, en düşük atlama yolu gibi bazı yönlendirme mekanizmalarını takip eder.

Taşıma Katmanı: Taşıma katmanı güvenilir veri iletimini ve tıkanıklıkla başa çıkabilmeyi sağlamaktadır. Bu katman özellikle bir sistemin diğer ağlara erişmesine ve bu ağlarla iletişim kurması gerektiğinde gereklidir [13]. Bu katmanda geleneksel taşıma kontrol protokolleri (TCP ve UDP) mevcuttur.

TCP üç yönlü el sıkışma mekanizması aracılığıyla veri dağıtımının uçtan uca doğrulanmasını gerektirdiğinden KDA için ideal değildir. Bu mekanizma, büyük bir protokol yükü gerektirdiği için sınırlı enerji kaynaklarına sahip duyargalar için zararlı olabilmektedir.

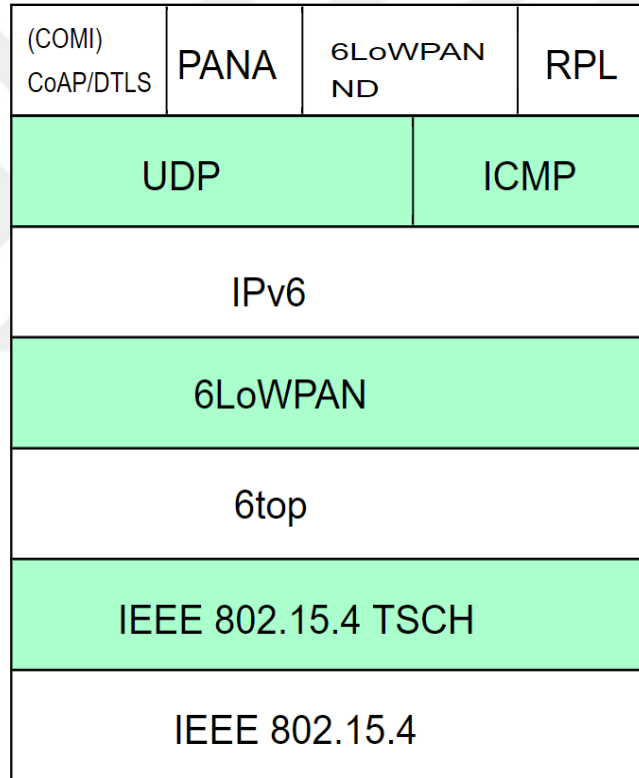
UDP, herhangi bir güvenilirlik mekanizması içermez. Ayrıca herhangi bir akış kontrolü ve tıkanıklık kontrol mekanizması yoktur. Bu dezavantajlara rağmen, verilerin uçtan uca doğrulanması gerek olmadığından UDP daha hızlı ve verimli hale gelir. Böylelikle UDP protokolü kaynak kısıtlı kablosuz duyarga ağları için daha uygundur.

Uygulama katmanı: Uygulama katmanı sorgu yayma, mote yerelleştirme, zaman senkronizasyonu ve ağ güvenliği gibi duyarga ağı uygulamalarını gerçekleştiren çeşitli

protokoller içermektedir. Birçok önemli KDA teknolojisinin ortaya çıkmasıyla birlikte, KDA'ların internet'e dahil edilmesi için çabalar artmıştır. İnternet'e hazır KDA'lar birkaç yeni ortamda kullanılabilir. Örneğin İnternet özellikli IoT uygulaması, askeri gözetim, ulaşım, çevre, sağlık, akıllı ev ve diğer iş alanlarında uygulanabilir.

1.3. Nesnelerin İnterneti İçin Protokol Yığını

Nesnelerin interneti ortamında bir dizi ağ, uygulama ve cihazın varlığı nedeniyle farklı standartlar kullanılmaktadır [35]. Şekil 4'te, IEEE ve IETF tarafından Nesnelerin internetini gerçekleştirmeye yönelik bazı protokol eklentileri geliştirilmektedir.



Şekil 5. 6TiSCH Mimarisi

Buna göre IEEE 802.15.4-e TSCH , 6LoWPAN ,6Top, CoAP gibi protokoller bu eklentilerin bazılarıdır ve aynı zamanda şekilde 6LoWPAN tabanlı protokol yığınındaki yerleri de belirtilmektedir. Her bir protokol, kısıtlı kaynaklara sahip cihazların düşük güç tüketimi altında çalışmaları için uyarlanmıştır. Bu eklentilerin hedefi, düşük güçlü ve kayıplı ağların kararlı bir şekilde internet erişiminin gerçekleştirilmesidir [36].

1.3.1. IEEE 802.15.4e

2012 yılında onaylanan IEEE 802.15.4e standardı, IEEE 802.15.4 MAC protokolünün düşük güvenilirlik ve gecikme gibi kısıtlamaları düzeltilmesi için yayınlanmıştır. IEEE802.15.4 ayrıca bir ortam erişim katman protokolü tanımlamaktadır. Bu katman doğrudan radyo ile etkileşime girmektedir. Bu standart, dış parazitlere karşı sağlamlığı arttırmaktadır ve endüstriyel pazarlar için daha iyi gecikmeler ile güvenilirlik açısından daha iyi destek sağlamaktadır. Bununla birlikte zaman senkronizasyonu ve kanal atlama sayesinde, çok düşük görev döngülerini korurken yüksek güvenilirlik sağlayarak ortaya çıkan nesnelerin interneti için şiddetle tavsiye edilmektedir.

IEEE802.15.4e genel olarak Düşük Güç (Low Energy-LE), Bilgi Öğeleri (Information Elements-IE), Gelişmiş İşaretçi (Enhanced Beacons-EB) gibi işlevlerinin gelişmesini sağlar.

- Düşük Güç (LE). Bu mekanizma enerji verimliliğini için gecikmeye maruz kalan uygulamalar tasarlamıştır. Burada, bir düğüme çok düşük görev döngüsü ile çalışmasına izin verilmektedir [42].
- Bilgi Öğeleri (IE). Bu mekanizma MAC alt katmanında bilgi alışverişini genişletilebilir.
- Gelişmiş İşaretçi (EB). 802.15.4 işaret çerçevelerinin bir uzantısıdır ve daha fazla esneklik sağlar [42]. Bu paketler sayesinde düğümler ağa senkronize olur ve ağ parametrelerinin güncellenmesinde kullanılır. Ayrıca zaman damgası, güvenlik seviyesi, hücre süresi gibi bilgiler bu paketten elde edilir.

IEEE802.15.4e donanımda herhangi bir değişiklik yapılmasını gerektirmeyen bir ortam erişim katman protokolüdür. Zaman Dilimli ve Kanal Atlamalı protokol olarak ifade edilen bu mekanizma(TSCH), 2010'dan beri IEEE802.15.4e standardının bir parçasıdır. Aynı zamanda yüksek güvenilirlik ve düşük güçlü ortam erişim katman protokolünün son nesli olduğu için Nesnelerin internetine de uyumludur [5].

TSCH, zaman dilimi erişimi ve kanal atla özelliklerini birleştirir. Zaman dilimli erişim düğümler arasındaki çakışmayı engelleyerek iletilen veri miktarının artmasını sağlar. Çoklu kanal düğümlere farklı kanal ofsetlerini kullanarak aynı zamanda farklı çerçevelerini değiştirmeye izin vermektedir. Ortaya konulan bu özellikler sayesinde, TSCH tabanlı ağın verimliliği artar.

TSCH'de düğümler, zaman içinde tekrarlanan zaman aralıklarından oluşan periyodik bir hücre çerçevesinde senkronize olur [40]. Her düğüm periyodik bir şekilde diğer düğümlerin yaydığı gelişmiş işaretçilerden senkronizasyon, kanal atlama, zaman dilimi ve aralık çerçevesi bilgilerini elde eder. Her düğüm geçerli EB aldıktan sonra ağa senkronize olur ve kendi işaretçisini göndermeye başlayabilir.

TSCH zaman dilimi sayıcı olarak bir (Absolute Slot Number-ASN)tanımlar. Ağın başlamasından bu yana geçen toplam zaman sayısının toplam sayısı olarak tanımlanan mutlak dilim sayısıdır. Temel olarak bir sayıcı görevini üstlenir ve ağ sonuna kadar sürekli artan bir değeri ifade eder. ASN, ağ oluşturduğunda 0 olarak başlatılır ve her zaman diliminde artmaktadır ve ağdaki bütün düğümler için eşsizdir. Bir düğüm ağa katıldığı herhangi bir anda ASN değerine erişebilir. Ağ senkronize olduğu için bütün düğümler ASN değerini bilirler. ASN 5-byte'lık bir değerden oluştuğundan dolayı bellek boyutunu aşmadan yıllarca artarak ilerleyebilir .

TSCH 'in önemli özelliklerinden birisi çoklu kanal kabiliyetidir. İletişim için standart yapıda 16 farklı kanal mevcuttur. Her kanal bir channel offset ile tanımlanır. Çoklu kanal kabiliyeti sayesinde, aynı zaman dilimi içerisinde farklı kanal ofsetleri kullanarak birkaç eşzamanlı iletim sağlanabilir. Ayrıca ardışık zaman dilimleri içerisindeki frekansı değiştirerek kanal atlama mekanizmasına izin verir.

TSCH düğümleri diğer düğümlere veri transferi yaptığı sırada senkronize olabilmesi için gönderilen paketlere zaman bilgisi ekler. IEEE802.15.4e TSCH protokolünde senkronizasyon hem işaretçi tabanlı ve hem ACK tabanlı sağlanabilir.

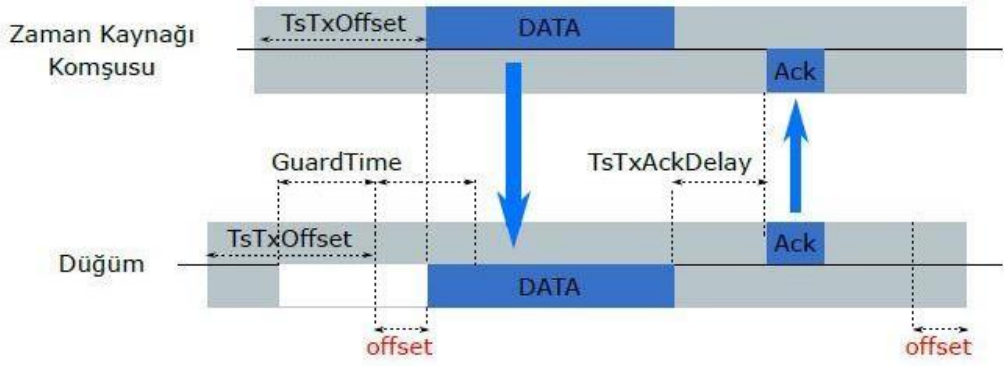
İşaretçi tabanlı senkronizasyon- Her düğüm, komşusundan aldığı paketin alındığı anı referans olarak işaretler. Daha sonra komşu düğümlerle zaman aralığının sınırlarını kaydırarak zamansal olarak eşleşir ve senkronizasyonu sağlamaya yardımcı olur. Buna "çerçeve tabanlı senkronizasyon" da denir.

ACK tabanlı senkronizasyon- Bu senkronizasyonda, onay mesajını(ACK) iletecek ve alacak olan cihazların zamanlama bilgileri karşılaştırılır. Düğümün alma zamanıyla, düğümden alınması gereken zaman arasındaki fark bulunur ve karşılaştırma işlemi yapılır. Aradaki zamanlama farkı, paketi gönderen düğüme ACK paketine konulacak bir zaman damgası yardımıyla bildirilir.

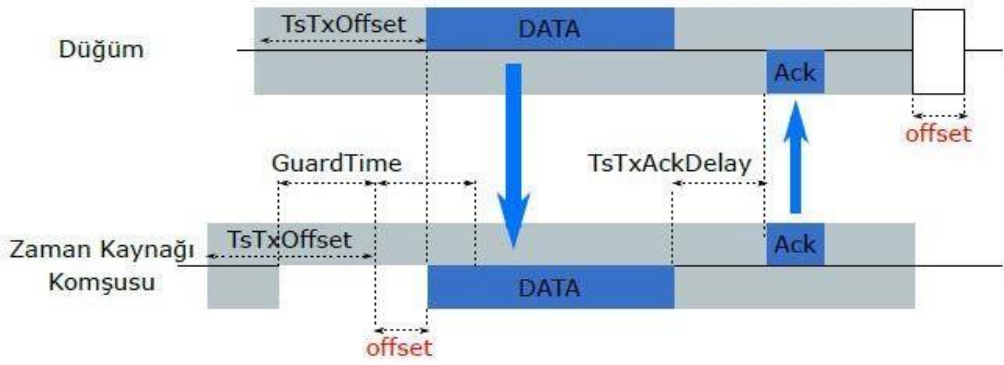
Şekil 6'da gösterildiği gibi iki farklı yöntem IEEE802.15.4e TSCH protokolünün senkronizasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. TSCH ağındaki her bir cihaz, zaman dilimlerinde nasıl davranacağını belirleyen bir süreci izler. Ayrıca her aktif zaman dilimi

(slot) için süreç, iletişim kuran komşu düğümleri ve kanal offset değerini de göstermektedir [42].

TSCH ağında düğümlerin birbirleriyle iletişim kurması için bir zaman dilimi ve bir kanal ofseti ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle, bir bağlantı, zaman dilimi ve kanal ofseti belirten bir çift ile temsil edilebilir



(a) Çerçeve Tabanlı Senkronizasyon



(b) Ack Tabanlı Senkronizasyon

Şekil 6. IEEE 802.15.4e TSCH ağlarında ACK ve çerçeve tabanlı senkronizasyon [42]

1.3.2. 6LoWPAN

Düşük Güçlü Kablosuz Kişisel Alan Ağları (6LoWPAN) IPv6 kullanılarak IETF tarafından tasarlanan bir standarttır. 6LoWPAN, sınırlı güç ve yüksek verim

gereksinimlerine sahip uygulamalarda düşük maliyetli kablosuz bağlantı sağlayan bir adaptasyon katmanı görevi görür [36]. Bu protokol, IEEE802.15.4 PHY veri paketlerinde IPv6 çerçevelerini güvenli bir şekilde kapsüllemek için ek bir katman görevi görür. 6LoWPAN, maksimum performans sağlamak için başlık sıkıştırma ve parçalanma özelliğini tanımlar. Başlık sıkıştırma iletim yükünü azaltmak için IP ve UDP başlıklarının nasıl sıkıştırılabileceğini açıklar. Parçalanma bağlantı katmanı çerçevesinde paketlerin parçalanması için bir algoritma belirterek, daha sonra daha sonra IP paketlerinin toplanması ve çok sekmeli paket dağıtım hizmetini destekler. Öte yandan, IEEE802.15.4 ağlarında fiziksel katmandan iletilebilecek veri boyutu 127 bayttır. Bu nedenle, IPv6 uyumluluğunu korumak için cihazın IPv6 datagramlarını parçalayabilmesi ve bir IPv6 ağına yönelik olan bir IEEE 802.15.4 ağından alınan paketleri birleştirebilmesi gerekmektedir.

IPv6 paketinin veri bağlantısı katmanında parçalanması gerektiğinden, her veri bağlantı çerçevesi bir parçalanma başlığına sahiptir. Böylece aynı datagramın tüm fragmentleri (parçaları), orijinal datagramdaki fragment (parça) pozisyonunu tanımlayan toplam boyut fragmanına, bir tanımlama etiketine ve ofseti belirten parametrelere sahiptir [37].

6LoWPAN, OSI modelinin ağ ve veri bağlantı katmanları arasında bir adaptasyon katmanı önermektedir, böylece KDA düğümlerinde IPv6 kullanımını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşımın ana avantajı IEEE 802.15.4 düğümlerinin herhangi bir IP ağı ve internet ile entegre edilebilmesidir.

1.3.3. 6TiSCH

IETF 6TiSCH protokolü düşük güç, yüksek performans ve kapasite sorunları ile başa çıkmış KDA'lar oluşturmak için IPv6 adreslemeli Zaman Dilimli Kanal Atlamalı (Time Slotted Channel Hopping-TSCH) MAC içermektedir. Bu protokol sayesinde endüstriyel uygulamalarda daha fazla kabiliyetler elde edilmiştir. 6TiSCH (IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e) protokolünün asıl hedefi IPv6 paketlerinin IEEE 802.15.4e ağları üzerinden aktarımını sağlamaktır. 6TiSCH mimarisi, 6LoWPAN ve IEEE 802.15.4e katmanlarını birleştirerek düşük gecikmeli ve yüksek güvenilirlikli veri iletimini sağlamaktadır. Bu mimari merkezi, dağıtık ve karma bir yaklaşımla 6TiSCH endüstriyel kablosuz duyurga ağlar ve endüstriyel uygulamalar için bir standart haline gelmektedir.

TSCH, ağda komşu düğümlere birden çok zaman aralığı atar ve düğümlerin birbirleriyle değiştireceği paket sayısını yani iletişim çıktısını (throughput) artırır [40]. Bağlantıların artmasıyla birlikte düğümlerin radyolarını daha sık kullanılmaya başlarlar ve sonuç olarak fazla enerji tüketimini beraberinde getirirler. Bunun yerine düğümlerin birbirleriyle haberleşmesini tarifleyen bir çizelge çerçevesi (slotframe) oluşturulur. Çizelgede düğümler birbirleriyle farklı zaman dilimlerinde farklı kanallardan haberleştiği için yüksek güvenilirlik sağlar ve çakışmayı önler [40].

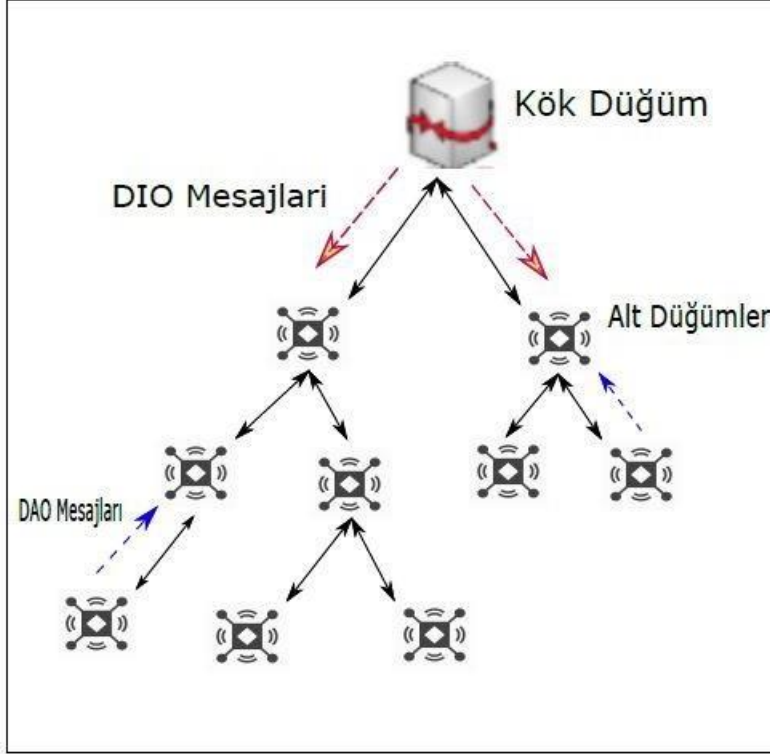
6TiSCH'in hedefi, TSCH MAC katmanı üzerinden IPv6 çok sekmeli bağlantı oluşturmaktır

1.3.4. RPL

Düşük güçlü ve kayıplı ağlar için tasarlanan RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), IoT ağlarında cihaz yönlendirmesi için kullanılan enerji tasarruflu bir protokoldür. Düşük güçlü ve kayıplı ağlar bağlantı durumlarında RPL mesafe vektörü yönlendirmesini kullanarak çok az bir bellek tüketimine ihtiyaç duyar. Ayrıca, yönlendirme bilgisini duyargalar arasında dağıtabilir ve topolojiyi çok verimli bir şekilde değiştirebilir.

RPL protokolünde yönlendirme topolojisi ağaç şeklindedir ve buna DAG (Yönlü Döngüsüz Graf) denir. DAG, ağaç yapısının yön almış halidir. RPL DODAG (Hedefe Yönelik DAG) şeklinde kurulur [41]. RPL yönlendirme protokolü, DODAG oluşturarak fiziksel topolojinin etkin bir şekilde haberleşmesini sağlar. DODAG, grafla ilgili bilgileri diğer duyargalara duyurmak için kök duyargadan başlayarak ağa veriler yayar. Kök (sink) duyarga, DIO (DODAG Bilgi Nesnesi) olarak bilinen ICMPv6 denetim iletileri biçiminde bilgi gönderir. İletileri alan duyargalar, bu iletileri işleyerek grafa katılıp katılmamaya karar verirler ve DIO mesajlarını komşu duyargalara iletirler. Bu işlem kök duyargadan kenar duyargalara doğru sürekli yayılmaktadır. Grafa katılan her bir duyarga, Şekil 8'de gösterildiği gibi grafin köküne ulaşabileceği bir yola sahiptir. Grafa katılan duyargalar iki yoldan biriyle hareket ederler. Eğer duyarga bir yönlendirici gibi davranırsa graf bilgilerini komşularına bildirir. Aksi takdirde, duyarga bir yaprak duyarga görevi görür ve DIO mesajlarını göndermez. Komşu çiftlerin tümü bu süreci tekrarlayarak graf kenarlarını oluşturur. Tüm yaprak duyargaları, veri paketlerini köke (Yukarı) doğru sekmeler üzerinden gönderir. Böylece ağdaki duyargalar yerlerini alır. RPL üç farklı kontrol mesajı kullanarak

tüm topoloji grafiği oluşturur: DIO (DODAG Information Object), DAO (Destination Advertisement Object) ve DIS (DODAG Information Solicitation) [38].



Şekil 7. RPL DODAG

DIO Mesajları: DIO mesajları, yerel bağlantı olarak yaprak duyargalara doğru iletilen ağ oluşturma paketlerini ifade eder. Yeni duyargalar keşfetmek, konfigürasyon parametrelerini iletmek ve haberleşmek için kullanılır. DIO mesajları, kök duyarga kimliğini, yönlendirme metriklerini, sıralamayı, objektif işlevi ve DODAG-ID'yi içerir [38].

DAO Mesajları: Bu iletiler, tek noktaya yayın olacak şekilde bir alt duyargadan seçilen üst öğeye veya kök duyarga'ya doğru (SINK) gönderilmektedir. DAO mesajları arasında RPL Örnek Kimliği, DAO sırası, DAO ömrü, Yol etiketi ve Hedef prefiksi bulunmaktadır [38].

DIS Mesajları: Bir ağa katılmak için duyarga tarafından gönderilen ve gövdesi bulunmayan iletilerdir. Bir duyarganın bir DIS mesajı yayınlaması ve RPL komşu duyargalardan DIO'ları istemesi de DIO mesajı beklemek yerine kullanılabilir alternatiflerden biridir [38]. Hedef İşlev (Objective Function-OF), RPL'de DODAG'ı oluşturmak ve RPL'deki duyargaların bir örnek içindeki yolları nasıl seçeceğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Amaç işlevi, en iyi yolu bulmak için metrikleri ve kısıtlamaları

birleştirmektedir. Amaç işlevi, bir duyarganın kök duyargaya olan mesafenin sırasını tanımlamak için de kullanılmaktadır.

1.3.5. CoAP

Uygulama katmanı protokolleri, Nesnelerin İnternetinde büyük öneme sahip cihazların kullanmış olduğu farklı yapıdaki uygulamaların birbirleri ile haberleşmesine olanak sağlamaktadırlar[39].

CoAP, kısıtlanmış duyarga ve ağlar için özel bir web aktarım protokolüdür. CoAP özellikli bir mote, hem web istemci hem de web sunucu gibi davranır. Bir web istemcisi, web sunucuya ait kaynakları kullanabilmek için bir CoAP isteği göndermektedir ve sunucu istemciye yanıt vermektedir. Bu işlemler, bir UDP paketi üzerine yerleştirilmiş bir datagram üzerinden eşzamansız olarak gerçekleştirilmektedir.

CoAP'ın temel amacı, özellikle enerji, bina otomasyonu ve makineden makineye (machine 2 machine-M2M) uygulamalar göz önünde bulundurularak kısıtlı ortamların özel gereksinimleri için genel bir web protokolü tasarlamaktır. CoAP, mesajın ek yükünü küçük tutmak, parçalanma ihtiyacını sınırlamak ve HTTP'yi körü körüne sıkıştırmamayı hedeflemektedir. HTTP'yi sıkıştırmak yerine HTTP ile yönetilen ancak M2M uygulaması için optimize edilmiş bir Temsili Durum Transferi (REST) alt kümesi kullanılmaktadır[16].

1.4. Tez Motivasyonu ve Amacı

1970'lerde İnternet, farklı coğrafi konumlarda bulunan iki cihazı bağlamak için basit bir amaç ile ortaya çıktı. Zaman içerisinde teknolojinin gelişmesiyle birlikte dünyadaki fiziksel nesnelere "akıllı" hale getirilmektedir. Bu doğrultuda, her akıllı nesne Nesnelerin İnterneti olarak adlandırılan İnternet omurgasına bağlanarak çeşitli ilerlemelere sebebiyet verdi. Bu ilerlemelerin nihai vizyonu, bilgilerin web üzerinde anında paylaşılmasını sağlamaktır. Veri tüketiminin muazzam büyümesi ve yüksek internet trafiği düşük güçlü cihazlarda depolama ve işleme yeteneği gibi yeni gereksinimleri ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kablosuz mobil radyo ağlarındaki son gelişmelere rağmen, kaynak kısıtlı cihazlardan oluşan bu ağlar veri trafiğindeki büyük artışa ayak uyduramamaktadır.

Nesnelerin İnterneti, kablosuz duyargalar ve nanoteknoloji gibi önemli alanlarda teknik yeniliklere dayanan teknolojik devrim olarak değerlendirilmektedir. Bu teknolojiyi

kullanan ağlar, milyarlarca küçük cihazın İnternete entegre edilmesi ve bu sayede şehir otomasyonu, yaşlılar için evde sağlık çözümleri gibi sayısız uygulama alanına hizmet etmesi beklenmektedir.

Kaynak yönetimi hizmet kalitesinde iyileşme sağlamanın bir yolu olabilir. IoT ağları, bant genişliği, enerji ve kaynak kısıtlamaları nedeni ile birçok sorun yaşamaktadır. Bu doğrultuda, merkezi yaklaşımımız kaynakların doğru ve dinamik bir şekilde yönetimini sağlamak için gereklidir.

Bu çalışma, aynı lokasyonda bulunan farklı 6TiSCH ağlarında meydana gelen çakışma problemine çözüm olarak bir merkezi denetleyici yaklaşımı kullanmaktadır. Aynı zamanda, Bu yaklaşım sayesinde, ağlar üzerindeki yoğunluğu teşhis edip ve frekans kanallarının doğru bir şekilde atanmasını sağlayarak ağda istikrarı sağlamayı hedefler.

1.5. Yöntem ve Metodoloji

Bu tez çalışması, IoT ağlarındaki kaynak yönetiminin merkezi denetleyici ile yapılmasını anlatmaktadır. IoT cihazlarının kaynak açısından sınırlamaları vardır. Kaynak yönetimi düşük güçlü cihazları verimli bir şekilde kullanarak yapılmalıdır ve bu zorluğa karşın yenilikçi bir çözüm üretilmesi bir motivasyon konusudur. Bu çalışmada, “merkezi kaynak yönetimi” olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşıma göre cihazlardan gelen veriler denetleyicide işlenir ve bu verilere göre kaynak tahsisinin yapılması sağlanır. Aynı zamanda, merkezi denetleyici, kablosuz duyarga ağlarındaki ağ geçitlerinden gelen veri miktarlarını öğrenmektedir. Gelen veri paketlerine göre denetleyici ağda var olan sınır yönlendiriciye ilgili kanal değerlerini göndererek ağın kanal kullanımını etkili hale getirir. Temel olarak sınır yönlendirici tarafından oluşturulan ağ, denetleyiciden aldığı kanal kullanım bilgilerine göre ağı günceller.

1.6. Tez Yapısı

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de IoT'nin önemli teknolojileri ve protokolleri açıklanmaktadır. Bu bölümde IoT'deki bazı gerçek uygulamalar da tartışılmaktadır. Tezin motivasyonu ve hedefi, çalışma aşaması ve metodolojisi ile yapısı hakkında kısa bir tartışma ile bu bölüm sona ermektedir.

İkinci bölümde, literatürde taramasını içermektedir.

Bölüm 3, ilk olarak mevcut sistemin sorununu anlatarak başlar. Daha sonra, önerilen sistemin mimarisi anlatılır. En sonda ise, önerilen algoritma hakkında bahsedilir .

Bölüm 4, simülasyon kurulumlarından bahsedildiği ve sonuçların analiz edildiği önerilen sistemin performans değerlendirmesini tartışmaktadır.

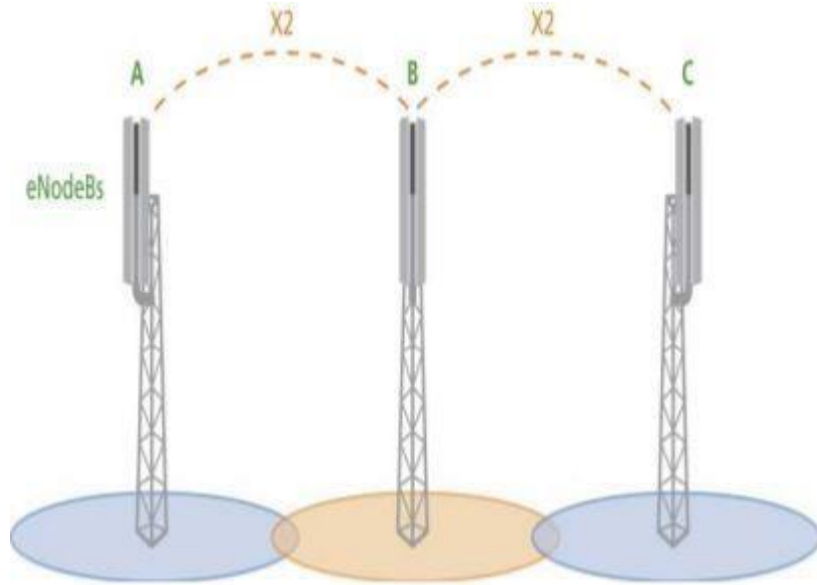
Bölüm 5, bu çalışmanın sınırlamaları da dahil olmak üzere tüm araştırmayı özetlemektedir. Bölüm 5.2'de tartışılan bu araştırmanın daha da geliştirilmesi yönündedir.



2. LİTERATÜR TARANMASI

Bu bölümde, var olan çalışmalar özetlenir ve mevcut çalışmaların yapılan tezle olan ilgisi irdelenir. IEEEExplore, Google Scholar gibi çevrimiçi araştırma veritabanları taranarak bu bölüm hazırlanmıştır. Son zamanlarda, IoT ağlarında kaynak yönetimi için giderek artan sayıda çalışma bulunmaktadır fakat bu çalışmaların birçoğu gerçek cihazlar üzerinde uygulanmamıştır. Bu eksikliği gidermek için, tezde gerçek cihazlara uygulanabilecek bir kaynak yönetimi mekanizması önerilmiştir.

Uzun Vadeli Evrim (Long-Term Evolution-LTE) ağları, verileri yüksek hızda iletmek için kullanılır. Bu standart 3GPP (3rd Generation Partnership Project) tarafından geliştirilmiştir. Bu ağlarda dikkate alınan konular bant kullanım miktarı ve frekans değişikliğidir. Ayrıca burada, X2 adlı yeni tip bir arayüz sunuldu. X2 arayüzü, geçişi iyileştirmek ve karşılıklı girişimi azaltmak için komşu eNodeB'ler arasında bilgi paylaşımı yapmak için bir araç sağlamaktadır. Bu doğrultuda, bu arayüz ile bağlantı yapıldığında eNodeB'ler arasında tahsis edilmiş fiziksel bir bağlantı gerekmediğinin yanı sıra IP taşıma ağı üzerinden geçiş yapabilen mantıksal bir arayüz sağlandı. Şekil 8'de detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 8. X2 arayüzü komşu eNodeB'larda [52].

Pauli vd., heterojen ağılarda Hücreler Arası Girişim Koordinasyon (Inter-Cell Interference Coordination-ICIC) yöntemlerinin kullanılması sayesinde, sistem bant genişliğini ve iletim gücünü yöneterek bir sistem performans artışıyla ilgili temel kuralları açıklarlar [43]. İlgili çalışmada, ilk olarak, Tam Frekans Yeniden Kullanımda aynı ağın düğümleri arasında hiçbir frekans bölümlenmesinin olmadığı anlamına gelir. Burda düğümler, tüm sistem bant genişliği üzerinde tek tip güçle iletilirler. Burda, en önemli sorun kenar hücreler ile komşu hücreler arasında oluşan yoğun etkileşim nedeniyle meydana gelen ağır girişimdir. Buda iletişim performansını önemli ölçüde etkiler. Sabit Frekans Yeniden Kullanımda ise, frekansları hücreler arasında kümelere bölerek dağıtmaktadır. Böylece, girişimi önemli ölçüde azaltır. Kısmi Frekans Yeniden Kullanım yönteminde, sistemdeki spektrumun bir bölümü tüm hücrelerde dağıtılırken, diğer kısmı ise sabit frekans yeniden kullanımının yönteminde olduğu gibi farklı düğümler arasında bölünmüştür. Yumuşak Frekansın Yeniden Kullanımı, tek tip olmayan bir güç kullanarak tüm sistem bant genişliğinde iletim yapar. Ancak, bu yöntemlerin olumsuz tarafı, ICIC destekli LTE sürüm 8 / 9'daki veri kanallarıyla sınırlıdır. Kontrol kanallarına yönelik ICIC desteğinin daha fazla geliştirilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Tezde, ağ mimarisinin temel yapısını zaman ve frekans dilimlerini ayırt etmeye odaklanmıştır. Buradaki çalışmada ise, ağılarda koordineyi sağlamak için sadece tek bir frekans bileşenine ağırlık verilmektedir. İletişim sırasında kullanıcılar arasında sadece tek bir bileşen kullanıldığından ötürü kaynaklar dikkatli bir biçimde ayırt yapılmazlar. Böylelikle, 6TiSCH ağlarına kıyasla daha düşük bir ağ performansı gösterirler.

Madan vd., Uzun Vadeli Evrim-Gelişmiş (Long Term Evolution-Advanced -LTE-A) kablosuz ağlarında, baz istasyonları farklı iletim güçlerine sahip olarak kullanıcılar arasında trafik yoğunluğunun önüne geçmeyi sağlarlar. LTE ağlarında tek tip güç kullanıldığı için, çok daha yüksek girişim büyüklüğüne ve karasızlığına maruz kalabilir. Bu nedenle heterojen ağılarda, ilişkilendirme ve kaynak bölümlenme teknikleri önerilmektedir. Önerilen teknikler sonucunda, farklı baz istasyonlarının konuşlandırılması yoluyla hücre boyutunu küçülterek spektral verimliliği arttırmıştır [44]. Tezde yapılan çalışmada, bu makalede olduğu gibi kaynakların bölümlenme yaklaşımına odaklanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde, kaynakları farklı istasyonlara atayarak ağ verimliliğini artmasına neden olmuştur. Her iki çalışmada ise, bölümlenme yoluyla elde edilen kaliteye odaklanmıştır.

Sathya vd., 4G Uzun Süreli Evrim (LTE) hücreyel ağ mimarilerinde, Femto baz istasyonlarını (Ev eNB / Kurumsal eNB) kullanıcı ekipmanlarında daha yüksek veri hızı ve

iyi bir kapsama alanı sağlamak için sundular. Femto hücreleri, LTE ağlarında karşılaşılan kapsama ve kapasite sorunlarını verimli bir şekilde ele almak için entegre edilmiştir. Bu doğrultuda, femto hücreleri frekansın yeniden kullanması yolu ile spektral verimlilik artırılabilir. Ancak, bu eş katmanlı girişime yol açarak hücre kenarı kullanıcı ekipmanlarında daha yüksek girişime maruz kalmalarına neden olmaktadır. Böylelikle, bu çalışmada, bu sorunun üstesinden gelmek için Değişken Yarıçaplı (Variable Radius-VR) adlı bir algoritma önerilmektedir. Bu algorithmada, femto hücre kenarı bölgesini dinamik bir şekilde artırılır veya azaltılır ve ayrıca radyo Kaynak Bloklarını (Resource Blocks -RB) femto'un hücre kenarı / hücre dışı kenar bölgesi arasında verimli bir şekilde tahsis edilmektedir. Böylece, kurumsal dağıtımlarda komşu femto'lar arasındaki katman etkileşimi önlenmektedir [45]. Her iki çalışmada, girişimin yoğun olduğu noktalara odaklanmıştır. Bu çalışmayı, tezdeki çalışmayla kıyasladığımızda, yoğun trafiğe sahip alanlara ağırlık verildiği gözlemlenmiştir. Böylece, her iki ağ modellenmesinde yoğunluğa maruz kalan alanlar için dinamik kaynak tahsisi yaparak girişim minimize edilmiştir.

Wu., 3GPP LTE'lerde spektral verimliliği artırmak ve hücreler arası girişimi azaltmak amacı için girişim koordinasyonu gerekli bir husus olduğu varsayılmaktadır. Bu doğrultuda, komşu baz istasyonları (Base station-BS) arasındaki hücreler arası girişimden kaçınmak amacıyla kaynak tahsisi koordinasyonunu içeren şemalar araştırılmaktadır. Koordinasyon statik veya dinamik olarak yapılabilmektedir. Girişim azaltma amacı için statik şemaların gerçek sistemlerde uygulanması nispeten basittir. Ayrıca, BS'ler arasında ek sinyalizasyon yükü oluşturmazlar. Ancak, mevcut frekans spektrumunun kullanımı sınırlıdır. Böylelikle, tüm mevcut frekans spektrumunun verimli kullanımı sağlamak amacıyla dağıtılmış dinamik kaynak tahsisi şemaları önerilmektedir. Bu doğrultuda, sinyal-girişim oranı (Signal-İnterference Ratio- SIR) iyileştirmesi planlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara bakılarak statik ve dinamik şemalarımızın, kaynak tahsislerinin koordine edilmemiş geleneksel ağlara göre önemli kazanç sağladığı gözlemlenmektedir [46]. Bu doğrultuda ise, yaptığımız çalışmada aynı şekilde dinamik bir koordinasyon sağlanmaktadır. Böylelikle, ağlardaki girişim seviyesini düşürmeye yardımcı olmaktadır.

Alam vd., LTE-A heterojen ağlarında verimli kaynak tahsisi için mevcut hücre birliği (ilişkisi) yük dengelemeyi ve çıktı maksimizasyonunu birlikte göz önünde bulundurmamaktadır. Bu doğrultuda, HetNet'in ana fikri sinyal gücünü artırmak amacıyla kapsama alanı zayıf olan alanlarda küçük hücreleri dağıtmaktır. Böylelikle, Baz istasyonları arasındaki uygun hücre ilişkilendirmesi yükün dengelenmesine yardımcı olabilmektedir. Bu

çalışmada, komşu küçük-hücrelerdeki girişimi azaltmanın yanı sıra, genel ağ verimliliğini ve yük dengeleme iyileştirmeyi de planlanmaktadır. Böylece, mesafe bilgileri ve sinyal-girişim artı gürültü oranına (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio-SINR) dayalı kararına sahip bir hibrit CRE-ABS hücre ilişkilendirme şeması önerilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda bu yöntemin hem iyi bir ağ performansı ve hemde yük dengelemesi ortaya koymaktadır [47]. Tezde, bu çalışmayı referans olarak kaynak dağılımı yapılmaktadır. Böylelikle, 6TiSCH ağındaki mevcut olan kaynaklar (kanallar) uygun bir biçimde ağlar üzerinde dağıtılmaktadır. Buda, ağdaki istikrari sağlayarak ağ performansının iyileşmesine neden olur. Ek olarak, girişimin minimize edilmesinde yardımcı olmaktadır.

Li vd., Hibrit makro / femto LTE ağlarında girişimi azaltmak amacıyla frekans kaynak koordinasyonu ele alınmaktadır. Bu doğrultuda, frekans kaynak tahsisi için şemalar araştırılmaktadır. İlk şema frekansı makro hücreler ve femto hücreler arasında paylaşarak ortak kanal frekans tahsisi sağlar. İkincisi ise, frekansın makro hücreler ve femto hücreler arasında ayrı ayrı tahsis ederek ortogonal bir frekans tahsis şeması sağlar. Ancak biricil şemada çapraz katman girişimi artmaktadır. İkinci şema ise, operatörler için son derece önemli olan spektrum verimliliği düşmektedir. Böylelikle, LTE ağları için önemli bir özellik olan Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) ele alınmaktadır . Bu özellik, girişimi azaltmak amacıyla fiziksel kaynak bloklarının (physical resource blocks-PRB'ler) dinamik olarak tahsis etmektedir. Bu çalışmada, bir ortak kanal dağıtımının OFDMA bağlantısı için bir hibrit kaynak tahsisi (hybrid resource allocation-HRA) planı önermektedir. Bu planda, farklı zaman aralıkları (transmission time interval-TTI) için MUE'lerden (macro users-MUE)ve (femto users- FUE) FUE'lerden gelen girişim raporlarına dayalı olarak makro hücrelerine ve femto hücrelerine fizikal kaynak bloklarını yeniden tahsis edilmektedir [48]. Yapılan çalışmamızda ise, bahsedilen ortogonal tahsis şemasına odaklanmıştır. Ayrıca, dinamiklik özelliği girişimi azaltmak amacı için kullanılmıştır. Böylelikle, kaynaklar dinamik bir şekilde atanırlar. İlaveten, tezde sadece farklı zaman dilimlerinde değil, aynı zaman dilimleri içerisinde kaynaklar tahsis edilmektedir. Bu doğrultuda, girişim en alt seviyeye indirilmiştir.

Ahmed vd., LTE ağlarında girişimi optimize etmek ve hizmet kalitesini arttırmak amacıyla femto hücrelerinin rolü araştırılmaktadır. femto hücreleri ağında hibrit erişim kontrolü için bir Dinamik Kaynak Tahsis Algoritması (Dynamic Resource allocation management algorithm-DRAMA) önerilmektedir. Böylelikle, Femtocell erişim noktası (Femtocell Access Point-FAP) olarak da bilinen Femtocell, heterojen bir ağdaki kapsama ve

kapasite boşluklarını doldurmak için umut verici bir teknoloji haline gelmektedir. Bu doğrultuda, FAP rastgele sayıda Homojen Poisson Nokta Dağılımı (Poisson Point Distribution-PPD) kullanarak alanda dağıtılır. Böylece, MBS, kullanıcı tıkanıklığını ve sinyalleme ek yükünü azaltmak amacıyla hareketliliği FAP'e doğru yönlendirir. Buda, kullanılmayan kaynakların kullanılmasına ve mobile kullanıcılar için üstün bir hizmet seviyesi sağlamasına sebebiyet verir [49]. Bu doğrultuda, iki çalışmanın temelini dinamik kaynak tahsisi oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, tezde ise, bu çalışmaya benzer bir şekilde yoğunluğu az olan ağdan kaynaklar alınıp yoğunluğu fazla olan ağa verilir. Böylelikle, optimizasyonu sağlamak için alanda kanal dağılımı kullanılmaktadır.

Tang vd., LTE heterojen ağlarında, makro ve femto hücreleri arasında kullanılan ortak bant genişliğini ve ayrıca, femto hücrelerinin rasgelelik konuşlandırmasından dolayı sistemde meydana gelecek olan girişim kaçınılmazdır. Böylelikle, makro hücreleri ve femto hücreleri ve ayrıca femto hücrelerinin kendi aralarında var olan girişimi azaltmak amaçlanmaktadır. Bundan dolayı, Bu planda tepe noktasının MUE veya FBS olduğu bu çalışmada ağırlıklı bir yönsüz grafik önerilmektedir. Bu doğrultuda, girişim grafiğini (HCIG) algoritmasına dayalı kümeleme önerilmektedir. Kümeleme şemalarında amaç, kümelerin (kanalların) sayısını en aza indirmektir. Ancak , önerdiğimiz kümeleme şemamız mevcut tüm kanalları kullanmaktadır. Ama, FBS'ye sadece bir alt bant tahsis etmektedir. Bu doğrultuda, HCIG algoritması uygulandıktan sonra minimum alt bantlar FBS'ye tahsis edilmenin yanı sıra, aynı zamanda komşu FBS'ler ile karışmayan diğer alt bantlarda spektral verimliliği artırmak için FBS'ye atanmaktadır. Ayrıca, FBS'nin konumu sabit olduğundan ve yalnızca grafik düğümleri MUE'ler girişim yaptığından dolayı HCIG'de girişim grafiğini güncellenmenin ek yükü çok düşük olmaktadır. HCIG'ye dayalı bir kaynak tahsis şeması sistemin spektral verimliliğini iyileştirerek girişimini azaltmaktadır [50]. Tezde ise, kümeleme konusu önem kazanmıştır. Böyle ki, ağların yoğunluğuna bakılarak mevcut frekans kanallarını kümelere bölerek ağlara atanması sağlanmaktadır. Bu doğrultuda, LTE ağlarda olduğu gibi ağ performansını iyileştirmektedir.

Yu vd., LTE ağlarında, dengeli bir performans iyileştirmesi elde etmek için hücreler arası girişime maruz kalan tüm kullanıcılar için düşük karmaşık ancak etkili yeni bir kaynak tahsisi şeması önermektedirler. Bu doğrultuda, performans optimizasyonunu sağlamak ve karmaşıklığı azaltmak amacı için iki ana kaynak mevcuttur. İlk kaynak radyo kaynağıdır. İkincisi ise, iletim gücü kaynağıdır. Radyo kaynağında, sistemdeki mevcut olan kenar hücreler ve merkezi hücreler için radyo kaynak tahsisi sağlamak amacıyla girişim

koordinasyonu ve programlama stratejileri önerilmektedir. İletim güç kaynağında ise, merkez hücre kullanıcıların gücü belirlendikten sonra kenar hücre kullanıcıları için optimal güç tahsisi yaklaşımı tasarlanmaktadır. Böylelikle, optimal güç tasarrufu merkezi hücre kullanıcıları için yüksek bir verim sağlarken, kenar hücre kullanıcıların genel verimini en üst düzeye çıkarmaktır. Bu doğrultuda, önerilen şemanın, çok hücreli bir ağda kenar hücre ve merkezi hücre kullanıcıları arasında daha iyi performans dengesi sağlamaktadır. Buda, önemli performans iyileştirmesi elde edildiğini göstermektedir [51]. Tezde ise, bu çalışmada olduğu gibi, programlama özelliğinden yararlanmaktadır. Böylelikle, programlama sayesinde kaynakları verimli bir şekilde dağıtarak kullanmaktadır. Her iki çalışmada, kullanılan teknikler ile girişim azaltılarak yüksek seviyede ağ performansı elde edilmiştir.



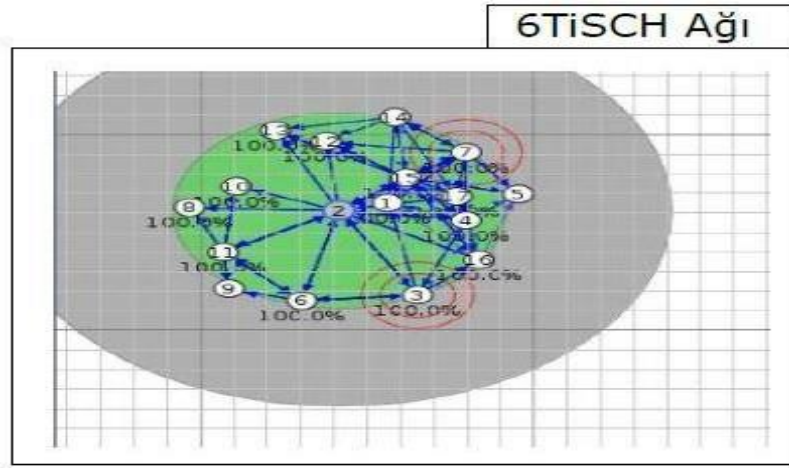
3. DAĞITIK 6TiSCH AĞLARINDA KAYNAK YÖNETİM MODELİ

Kablosuz Duyarga Ağları (KDA), çok sayıda küçük ölçülü, düşük maliyetli duyargalarının kablosuz bir ortamda birbiriyle haberleşmesini sağlayan bir ağıdır [39]. KDA'ları kaynak ve bant genişliği kısıtlamalarından dolayı, temel hedeflerinden birisi çakışmayı minimize etmektir. Böylelikle, kararlı (istikrarlı) bir ağ ortamı oluşturulur. Son zamanlarda, KDA'ların kullanım alanlarının artmasıyla birlikte, ağda iletilen veri miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Böylelikle, ağda yoğun trafik akışı meydana gelmektedir. Bu yoğunluk ağdaki tıkanıklığın yanı sıra çakışma gibi sorunların meydana gelmesine neden olur. Böylelikle, istikrarsız bir ağ ortamı meydana gelir. Ağdaki kararlılığı artırmak ve çakışmayı en aza indirmek için IEEE802.15.4e-2012 standardı Zaman dilimli Kanal atlamalı modunu önerdiler.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere TSCH, hücreleri içeren bir çizelge sağlar. Böylelikle, 6TiSCH cihazları arasında, hücrelerin tahsisi hakkında anlaşma sağlanır. Hücre slot çerçevesi $C(t, \text{choff})$ şeklinde tanımlanır. Sırasıyla, t zaman dilimini ve choff ise kanal offsetini temsil eder. TSCH standardında 16 farklı kanal mevcuttur. Bu standardta, ağdaki iletimi farklı zaman dilimlerinde farklı frekans kanalları veya aynı zaman dilimi içerisinde farklı frekans kanalları kullanarak sağlanır. Böylece, ağdaki çakışmayı en aza indirmeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda, TSCH'de hücre seçim işlemi önem kazanmaktadır. Mevcut sistemde düğümler kullanılmayan hücreleri rastgele bir biçimde seçerler. Rastgele seçimde bir çift mote diyalog sırasında mevcut hücreler hakkında önceden bilgiye sahip değiller. Buda yakın konumlarda yerleştirilmiş düğümlerin iletişim kurduğu zaman aynı hücreyi / hücreleri seçmesine imkan tanımaktadır. Bu durum, ağda çakışmalar meydana gelmesine sebebiyet verir. Ağdaki her düğüm zaman dilimleri içerisinde bu kanallara erişebilir.

Günümüzde kablosuz duyarga ağlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Böylelikle, bu ağların aynı coğrafi bölgede bulunması kaçınılmaz bir konu haline geldi. Aynı alanda bulunan ağların birbirleriyle olan etkileşimi bazı dezavantajlara sebebiyet verir. Buradaki dezavantajlar olarak çakışma, paket kaybı ve enerji tüketimi gibi sorunlarını bahsedebiliriz. Ek olarak, aynı coğrafi alanda bulunan ağdaki duyargaların hepsi mevcut frekans kanallarını ortak olarak kullanırlar. Böylelikle, duyargalar etkileşime girdiği zaman aynı alanda bulunan bir ağın duyargası belirli bir zaman dilimi içerisinde belirli bir frekans kanalını

kullanmak için talep gönderdiği zaman, diğer ağdaki başka bir duyargada aynı zaman dilimi içerisinde aynı frekans kanalını talep edebilir. Bu doğrultuda, ağlarda çakışmanın meydana gelmesine ve paketlerin tekrardan iletim yapmasına yol açmaktadır. Buda, ağdaki enerji tüketimini artırır. Şekil 9’de iki ağda, veri iletim sırasında çakışmanın meydana gelmesini göstermektedir. Bu çakışma sonucu paketlerin kaybolmasına, iletim miktarının azalmasına ve tekrardan iletim yapacağı için enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yeterince istikrarlı olmayan bir ağ ortamını oluşturur. Bu durum, düşük güçlü ve kaynak kısıtlı cihazları içeren ağlar için sorun teşkil etmektedir.



Kanal Offset Numarası	3		G -->F B -->A		
	2			D -->B	
	1			H -->F	
	0	C -->B			E -->A
		0	1	2	3
		Zaman Dilimi			

Şekil 9. Standard 6TiSCH ağlarında çakışma

- Önerilen Çalışma

Bu bölümde, önerdiğimiz sistem model hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca Şekil 10'da tasarlanan sistemin uygulama aşamaları anlatılmaktadır. Önerilen yöntemin (metod) uygulanması farklı aşamalardan oluşmaktadır. Bu sistemin modellenmesinde ilk olarak, 6TiSCH ağ ortamını ele alınmaktadır. Bu doğrultuda, aynı konumda yerleştirilen iki farklı 6TiSCH ağ ortamı Cooja simülatörü ile oluşturulur. Bu ortamın yapısında, duyargalar ve ağ geçitleri yer almaktadır. Bu doğrultuda, farklı ağ ortamının oluşturulması amacıyla aynı konumda bulunan ağ geçitlerin prefiksleri birbirinden farklı olarak tanımlanmaktadır. Böylelikle, her bir duyarga sadece tek bir ağ geçidine bağlanıp ve kendi ağ ortamını oluşturmaktadır. Her ağdaki ağ geçidine bağlanan duyargalarda prefiksine uygun bir şekilde tanımlanmaktadır. Böylece, birbirini gören ve birbirinden bağımsız olan iki ağ yapılandırılmaktadır. Böylelikle, her ağ geçidine bağlanan duyargaların yada istemcilerin sayısı ağ geçitleri üzerinde tanımlanan prefiksler ile öğrenilmektedir. 6TiSCH ağ ortamında, ağ geçitler ve duyargalar arasındaki iletişim RPL yönlendirme protokolü ile sağlanmaktadır. Daha detayli bahsedecek olursak ilk olarak, ağa katılıp ve diğer duyargalar ile iletişim kurmak isteyen her duyarga EB mesajları yayımlar. Bu mesajlar, senkronizasyon, kanal atlama ve zaman dilimi gibi bilgileri içermektedir. Böylelikle, 6TiSCH ağlarda yeni katılan düğümlerin senkronizasyonu için EB mesajları yayınlamaktadır. Daha sonra, RPL protokolü DIO mesajları ağı oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu işlemler alanda mevcut olan her ağ için ayrı olarak yapılmaktadır. Böylece, dağıtık 6TiSCH ağ mimari yapısı oluşturulmaktadır. Bu ağlar her biri RPL protokolünü kullanarak duyargalardaki yönlendirme tabelalarını dış denetleyici (sunucuya) göndermektedirler. Daha sonra, 6TiSCH ağ ortamındaki ağ geçitleri kanal isteme isteklerini denetleyiciye gönderirler.

İkinci aşama ise, bir dış denetleyiciyi tanımlamaktır. Bu doğrultuda ise, Java tabanlı bir denetleyici geliştirilmektedir. Bu denetleyicide, yerine getirmesi gereken görevler iki aşamada soyutlamaktır. İlk aşama ise, Öğrenme aşaması olarak adlandırılmaktadır. Burada, 6TiSCH ağ ortamından gelen yönlendirme tabelaları bilgileri öğrenilmektedir. Böylelikle, her bir ağdaki ağ geçiti (sınır yönlendiricisi) tarafından gelen veri miktarı öğrenilmektedir. Bu sayede, hangi ağ üzerinde yoğunluğun (ağ trafiğinin) daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Gelen yönlendirme tabele sayısı öğrenildikten sonra, ikinci aşama yani tahsis aşaması devreye girer. Tahsis aşamasında ise, 6TiSCH'teki MAC katmanında mevcut olan sabit 16 adet kanalı ağ geçitlerine doğru bir şekilde atamayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, ağ

çalışmaya başladığı zaman ilk başta kanallar eşit bir şekilde bölünerek her ağ geçidine atanmaktadır. Ağ işleyişi sırasında, 6TiSCH ağ ortamına her yeni bir duyurga bağlandığı zaman denetleyiciye gelen yönlendirme tabelaların sayısına bakılarak matematiksel hesaplamalar yapmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda, 6TiSCH ağ ortamında, ağ geçitleri üzerinde yoğunluk teşhis etmektedir. Bu doğrultuda, yoğunluğu az olan ağ geçitlerinden kanallar alınarak yoğunluğu daha fazla olan ağ geçitlerine verilmektedir. Böylelikle, ağda dinamik kaynak (kanal) tahsisi yapmaktadır.

6TiSCH ağ ortamındaki, en önemli hususlardan birisi tüm kanalların aynı anda yeni kanal listesine geçmesi gerekmektedir. Bu işlem, senkronizasyonun kaybolmaması ve duyurgaların düşmemesi için yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yapılacak olan işlem ise, uygun yeni bir ASN değeri tanımlamaktır. Böylece, ağdaki tüm düğümler yeni ASN değerini duyduğu zaman yeni kanal listesine geçeceklerdir. ASN değeri sürekli artmaktadır. Bu değerinin tanımını aşağıdaki matematiksel denklem gibi olmaktadır. ASN değerleri EB paketlerinin içine yazılmaktadır.

$$\text{yeni ASN değeri} = \text{Şuanki ASN değeri} + \Delta t \quad (1)$$

Ağ geçitleri her bir duyurga ağa dahil olmak istediğinde gerekli mesaj içeriğini merkezi denetleyiciye iletir. Merkezi denetleyici sürekli dinlediği port üzerinden gelen veriler ışığında önceden belirlenen frekans kanallarını yeniden hesaplayarak ağ geçitlerine gönderir. Her ağ geçidi üzerindeki cihazların senkronizasyonunu bozmadan bu yeni frekans kanal değerlerini belleğinde kullanmak üzere saklar. Bu güncel frekans kanalları Δt süresi kadar geçtikten sonra sistemi yeniden günceller. Burada Δt süresi aslında sistemin en alt düğüm ile ağ geçidi arasındaki haberleşme zamanını ifade etmektedir.

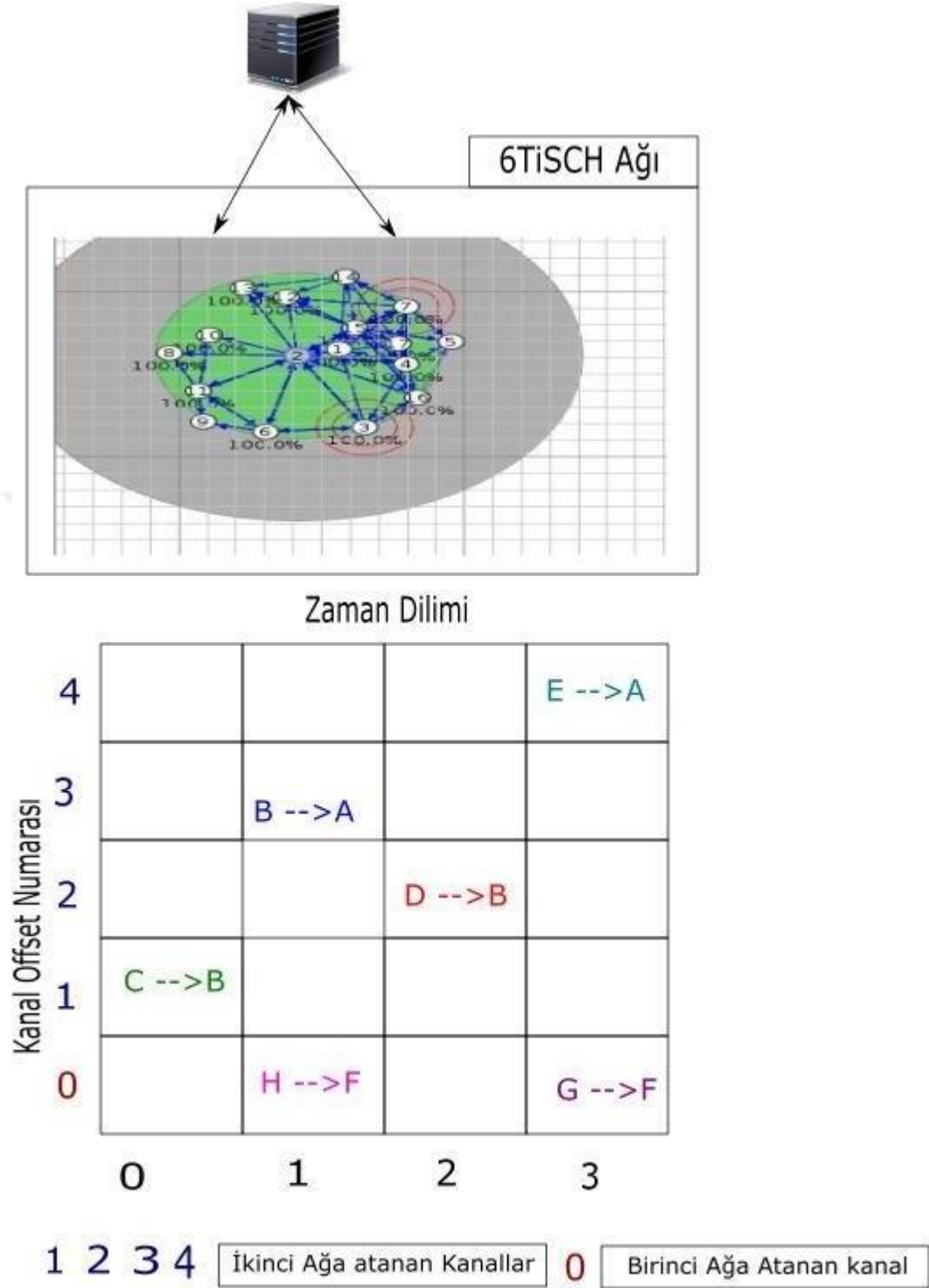
Bellek sürekli güncel frekans kanal değerlerini tutmaktadır. Ayrıca, bütün bu işlemler yapıldığı sırada ağ işleyişi bozulmamaktadır.

Üçüncü aşama ise, mevcut iki ortamı birbirine bağlamak ve veri alışverişi yapmak amacıyla SLIP arayüzü kullanılmaktadır. SLIP ana makine tarafından bir sanal ağ arabirimi oluşturmaktadır. Böylece, IP trafiğini diğer ortama iletmektedir ve aynı zamanda diğer taraftan IP paketlerini almak için SLIP arayüzünü kullanılır.

Bu sistemin modellenmesi için üç farklı aşamaya dayandırarak özetlenmektedir. İlk olarak, aynı coğrafi alanda bulunan 6TiSCH duyurgaları konumlandırılır. İkinci adım ise, bir Java tabanlı merkezi denetleyici uygulaması geliştirilmektedir. Üçüncü adım ise,

6TiSCH ağlarındaki ağ geçitleri (sınır yönlendirici) ile merkezi denetleyici ile ilişkilendirilir.

Bu çalışmada, Kablosuz Duyarga Ağlarındaki duyargalardan gelen verilere dayanarak bir kaynak yönetim tekniği önermektedir. Bu doğrultuda, merkezi yöntem yaklaşımı geliştirerek 6TiSCH ağ ortamında mevcut olan kanalları dinamik bir şekilde ağ geçitleri üzerinde yoğunluğu dikkate alarak atamaktadır. Mimarimizde, bu dinamiklik sayesinde, kablosuz duyarga ağlarının sorunlarından birisi olan çakışma probleminin önüne geçilmeye yönelik bir çözüm sunmaktadır. Kablosuz duyarga ağlarındaki duyargaların , düşük güçlü ve kaynak kısıtlı olduğundan dolayı, önerdiğimiz merkezi yaklaşımı sayesinde kaynakları dinamik olarak ağlardaki duyargalara tahsis ederek (frekans kanallarından bahsedilmektedir) esneklik ile birlikte kararlılığında ağlara kazandırmaktadır. Bu yöntem, 6TiSCH ağlarındaki çakışma problemi ile başa çıkarak ağ performansını iyileştirmek için kullanılabilir etkili bir çözümdür. Böylece, yoğunluğa maruz kalma olasılığı olan ağ geçitlerine uygun miktarda frekans kanallarının atayarak ağda meydana gelecek olan tıkanıklık, paket kaybı ve yüksek enerji tüketimi sorunlarını minimize etmektedir.



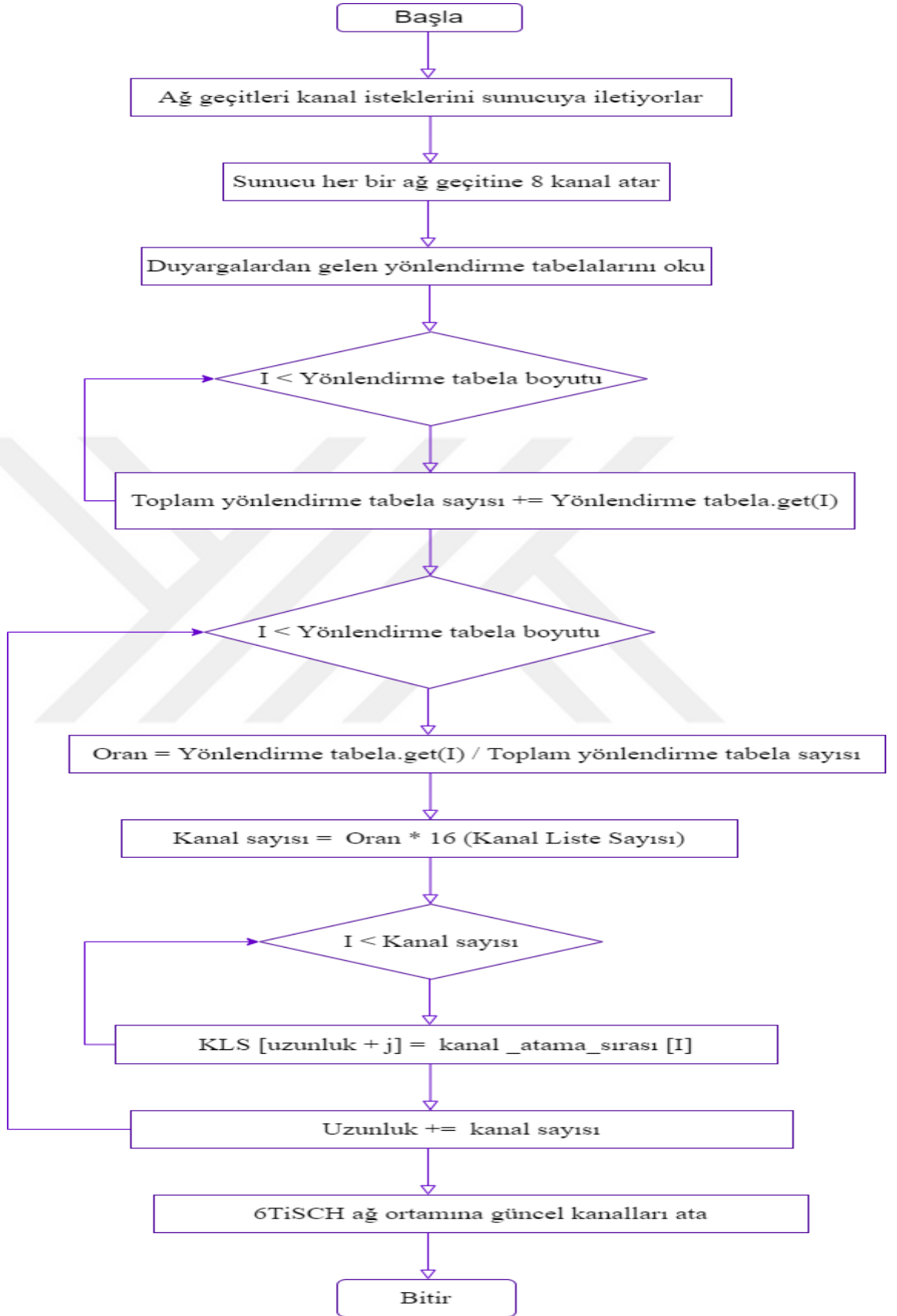
Şekil 10. Önerilen sistem mimaris

- Önerilen Algoritma

Bu çalışmada, oluşturduğumuz denetleyiciye önerdiğimiz yük dengeleme algoritması uygulanmaktadır. Bu geliştirilmiş algoritma, kablosuz duyurga ağlarından her an gelen

verilere dayalı olarak MAC katmanında mevcut kanal listesindeki frekans kanallarının 6tisch ortamındaki ağ geçitlerine dinamik olarak atanması için yenilikçi bir yol sunmaktadır. Bu algoritmayı uygulamak için Java tabanlı bir denetleyici geliştirilmiştir. Algoritmayı geliştirmemizdeki ana motivasyon, aynı coğrafi bölgede bulunan sistemlerde, duyarğalar arasında tıkanıklık sorununa çözüm bulmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu doğrultuda, denetleyici kullanarak ağlar üzerindeki yoğunluk teşhis edilip ve frekans kanalları dinamik bir şekilde ağ geçitlerine tahsis edilerek hem tıkanıklık hemde çakışma sorunu ile başa çıkılmaktadır. Bu sayede, veri iletiminin maksimuma çıkarılması hedeflenir. Buda, ağ performansının artmasıyla sonuçlanmaktadır.





Şekil 10. Yük Dengeleme Algoritması

Bu algoritma, iki bölümden oluşmaktadır. Birincisi, istemci kısmıdır. İkinci ise, sunucu kısmıdır. Bu doğrultuda, ilk olarak, ağ geçitleri merkezi denetleyiciye kanal isteğinde bulunurlar. Böylelikle, merkezi denetleyici ilk başta her ağ geçidine eşit bir şekilde 8 kanal değeri gönderir. Daha sonra, ağ işleyişine devam eder ve zaman geçtikçe her bir yeni düğümün ağa dahil olmasıyla birlikte bu kanal sayılar ağlardaki yoğunluğa göre değişime uğrar.

Algoritmada ağ geçitlerine bağlanan duyargalar yönlendirme tabelasını oluşturur. İletim sırasında yönlendirme tabelalarını birbirlerine aktarılmaktadırlar. Bu tabelalar ağ geçitleri üzerinde ağ geçidine bağlı tüm alt duyargaları kapsamaktadır. Her yeni duyarganın ekleme/çıkarma durumu meydana geldiğinde denetleyiciye değişim mesajları gönderilmektedir. Bu doğrultuda, Yönlendirme Listesi adlı bir liste ile her bir ağ geçitlerinden (sınır yönlendirici) denetleyiciye gelen yönlendirme sayılarını elde ederiz. Sonra her iki ağ geçidinden gelen yönlendirme sayıları Toplam Yönlendirme Listesi değişkenine atanır.

Bir sonraki aşamada ise oran adlı bir değişken tanımlanmaktadır. Bu değişken, her ağ geçidinden elde edilen yönlendirme tabelasının toplam yönlendirme sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu işlemden sonra, merkezi denetleyici tarafından her bir ağ geçidine iletilecek kanal sayıları belirlenir. Burada önemli olan diğer bir husus, merkezi denetleyici tarafında her bir ağ geçidi için önceki ve sonraki durumları ifade eden gerekli işlemlerin yapılmasıdır. Bu adım sayesinde, iki ağ geçidi için geçmiş ile o anki durum karşılaştırılarak yeni kanal değerlerinin gönderilmesi engellenir. Böylece, ağın sürekli olarak yeni kanal frekans değerleri hesaplamasının önüne geçilir. Bu durum, düğümlerin senkronizasyonunu bozmadan ata düğümleri vasıtası ile merkezi denetleyiciye veri göndermesini sağlar. Aşağıdaki Formül 2, denetleyici tarafından hesaplanarak ilgili ağ geçitlerine iletilir.

$$\text{oran} = \frac{\text{İlgili ağ geçit yönlendirme tabela miktarı}}{\text{Toplam yönlendirme miktarına}} \quad (2)$$

Buradan çıkacak sonuç yani oran değeri, mevcut kanal sayısı ile çarpılarak, ilgili ağ geçidi için o ana kadar verilecek olan kanal sayısını ve hangi kanalların atanacağını belirler. Formül 3 bunu göstermektedir.

İlgili ağ geçidine güncel kanal listesi = oran * 16 (Kanal liste miktarı) (3)

Formül 3'ye dayanarak kanallar ağ geçitleri üzerinde güncellenmektedir. Bu doğrultuda, ilgili ağ geçidine atanan kanallar sayısı belirlenir. Daha sonra, ilgili ağ geçiti için kanalların atama sırasını belirler. En son olarak, geri kalan frekans kanalları diğer ağdaki ağ geçitlerine atanır. Bu hesaplamalar ve dinamik olarak frekans kanal atama işlemleri yeni duyurga ağına bağlanana veya ağdan duyurga ayrılana kadar tekrar eder. Gelen yönlendirme tabelaları denetleyici tarafından alınmaktadır. Denetleyici yaptığı hesaplamalar ile hangi ağdaki ağ geçidinin daha yoğun olduğunu kontrol eder. Elde edilen yoğunluk durumuna göre ağ geçitlerine gerekli kanal listesi atanır. Ayrıca, burada önemli olan diğer husus ise ağ geçitlerine gönderilen kanal değerlerinin hemen işleme alınmayıp belirli bir zaman geçtikten sonra tüm ağ üzerinde aktif olmasıdır. Bu adım, duyurgaların senkronize durumunun bozulmasını engeller. Çünkü her düğüm ata düğümden aldığı kanal değerlerine göre ağa senkronize olur. Aksi halde, ağ geçidi denetleyiciden aldığı yeni kanal listesini hemen güncellerse ağdaki duyurgaların senkronizasyonu kaybolur. Buda, ağın performansını olumsuz yönde etkiler. Önerilen algoritma dinamik kanal atama sayesinde çakışmaları önlemenin yanı sıra ağa istikrar sunar.

Önerilen mekanizma ise, geliştiren algoritmayı tasarladığımız denetleyicide çalıştırarak çakışma durumuna çözüm getiren yapıyı ifade eder. Önerilen durumunda ağ geçitleri İnternet protokolü ile dış ağa açılır. Dış ağda yer alan merkezi denetleyici, gelen yönlendirme tabela sayısına bakarak ağ geçitleri için güncel kanal değerlerini hesaplar. Merkezi denetleyiciden her ağ geçidine gelen kanal değerleri farklı olduğu için haberleşen cihazlarda çakışma durumu minimize hale gelir. Bu sayede, aynı ortamda bulunan iki farklı ağın farklı kanallar üzerinden haberleşmesi gerçekleşir. Sonraki bölümde bu iki sistemin karşılaştırılarak sonuçlar elde edilir.

- Neden Bu Çalışma?

Günümüzde akıllı cihazların kullanım alanları hızla artmaktadır. Bu cihazlar ağ ortamlarını oluşturmak için birbirleriyle iletişim sağlamaktadırlar. Tüm alanlarda kullanıldıklarından ötürü hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmektedirler. 6TiSCH ağ ortamının duyurgalarında bazı kısıtlamalar mevcuttur. Böylelikle, bu kısıtlamalar

beraberinde dezavantajlar meydana getirir. Ağıdaki kısıtlamaların üstesinden gelmek amacıyla bu cihazları enerji, hafıza ve kaynak yönetimi gibi farklı açılardan değerlendirmemiz gerekir.

Günümüzde kullanım alanlarının artması dikkate alınmaktadır. Buda ağ performansını ve verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Her iki sistemde sunucu-istemci mimarisine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, mevcut sistem mimarisinin yapısı bütün bir şekilde 6TiSCH ağ ortamıdır. Burada, fazla duyargaya sahip ve lokasyonları birbirlerine yakın olan farklı ağ ortamları tasarlanmıştır. Buda, kaynakları uygun bir şekilde yönetme olasılığının düşük olmasına sebebiyet verir.

Geliştirilen yöntemle sunucumuz (dış denetleyicimiz) 6TiSCH ağ ortamının dışına alınmaktadır. Bu doğrultuda, programlanabilirlik özelliğinden yararlanılmaktadır. Önerilen yöntemde, kaynakları programlama özelliği sayesinde yöneterek ağ performansını iyileştirmektedir. Kullanılan yöntem sayesinde, ağımıza esneklik ve ölçeklenebilirlik kazandırılmıştır. Buda, daha istikrarlı bir ağ ortamının oluşmasına sebebiyet vermektedir.

Çalışmanın diğer boyutu ise, bir dış denetleyici sayesinde 6TiSCH ağ ortamındaki tüm düğümlerin davranışlarına kontrol sağlanabilmektedir. Bu dış denetleyiciye ağ performansını iyileştirmek amacıyla daha sonra farklı çalışmalar yapılabilir.

4. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

4.1. Simülasyon Yapılandırması

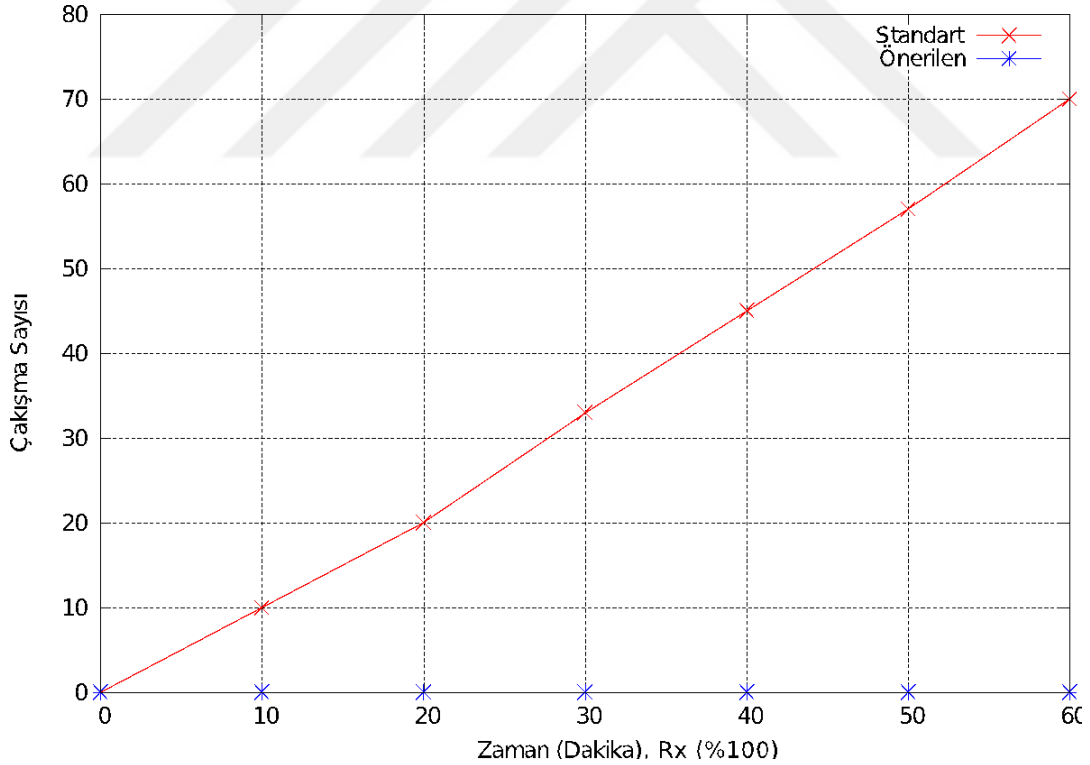
Duyarga cihazlarının kısıtlı kaynaklara sahip olduğundan ötürü önerilen kaynak yönetimi tekniğimizin ağ performansını iyileştirmek için önem arz etmektedir. Bu bölümde, 6tisch ağlarında kaynak yönetimi simülasyonunun uygulanması için Contiki işletim sistemi kullanılmıştır. Simülasyonlar 16 GB RAM Intel CORE i5 işlemcisi üzerinde koşulmuştur. Ayrıca, önerilen sistemin verimliliğini daha iyi analiz etmek için farklı sistem koşulları ve parametreleri ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak, önerilen algoritmanın işlevselliği hakkında daha derin bir bilgi, farklı parametre değerleri ile kapsamlı deneyler yapılarak elde edilebilir. Merkezi denetleyici kullanarak kaynak yönetimini 6tisch ağlarında etkisini test etmek için düğüm sayısı, ağ geçidi sayısı, kanal listesi ve aynı coğrafi alanda bulunan ağ sayısı gibi parametreler için sonuçlar gösterilmiştir. Tablo I'de, simülasyonda kullanılan sistem parametrelerinin özeti verilmiştir.

Table 1. Kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Ağ geçidi sayısı	2
Düğüm sayısı	15
Kanal sayısı	16
RPL amaç fonksiyonu	ETX
MAC Katmanı	802.15.4e
Rx(%)	70-80-90-100
Zaman aralığı süresi	10 ms
Test süresi	1 h

4.2. Simülasyon Sonuçları

Önerilen sistemin etkisini anlamak ve standart sistemle kıyaslamak için aynı coğrafi alanda bulunan iki 6tisch ağ durumu dikkate alınmaktadır. Kablosuz duyarga ağlarındaki her duyarga tanımlanan iki ağ geçidinden birisine bağlanarak sisteme dahil olur. Önerilen sistemde, ağ geçitlerine gelen veri miktarı merkezi denetleyiciye gönderilmektedir. Böylelikle, gelen veri miktarına dayanarak ağ geçitlerine frekans kanal ataması sağlanır. Bu doğrultuda, önerilen merkezi yaklaşım modelimiz ise kısaca önerilen olarak adlandırılır. Standart sistem ise, sunucular ve istemciler aynı ağ ortamı içerisinde konumlandırılmışlardır. Böylelikle, UDP-istemcisi-sunucu yapısı standart olarak ifade edilir. Şekil 12’de meydana gelen çakışma miktarı standart sistem ile önerdiğimiz sistem arasında karşılaştırmaktadır. Bu doğrultuda, sunulan yöntemin çakışma miktarını en alt seviyeye indirdiğini elde edilen veriler ile gösterilmektedir.

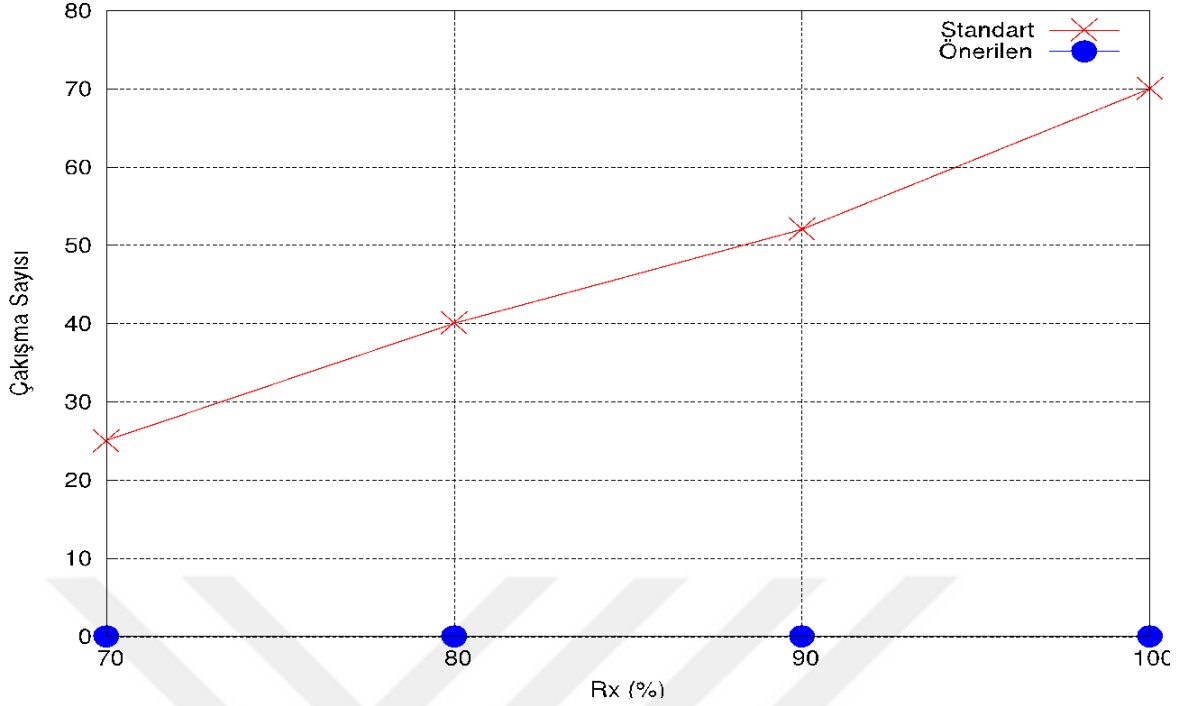


Şekil 12. Süre bazlı çakışma miktarı

Şekil 12’de, 1 saatlik simülasyon sonucunda ve bağlantı kalitesinin 100% olduğu durumda, standart sunucu-istemci modelinde meydana gelen çakışma miktarını zaman ilerledikçe arttığını göstermektedir. Bunun nedeni ise, standart sistemde frekans kanalları

ağlar arasında ortak olarak kullandığından kaynaklanmaktadır. Bu doğrultuda, zaman ilerledikçe ağdaki duyargalar arasında veri iletim miktarının artmaktadır. Bu artış sonucunda ise, duyargalar frekans kanal talep istekleri artırırlar. Buda, ağdaki iletişim sırasında farklı ağa ait duyargalar arasında çakışmanın yaşanmasına sebebiyet verecektir. Diğer yandan, aynı koşullar altında geliştirilen algoritmayı önerilen sistemde çalıştırarak çakışma miktarı 100% minimize edildiğini göstermektedir. Önerilen sistemde ise, merkezi yaklaşımı kullanarak 6TiSCH ağ ortamındaki farklı ağlar arasındaki çakışma sorununa bir çözüm getirilmektedir. Bu doğrultuda, merkezi denetleyici kullanarak frekans kanalların ağların yoğunluğuna göre tahsis ederek çakışma probleminin önüne geçilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi zaman geçtiği halde çakışma meydana gelmediğini gözlemlemekteyiz.

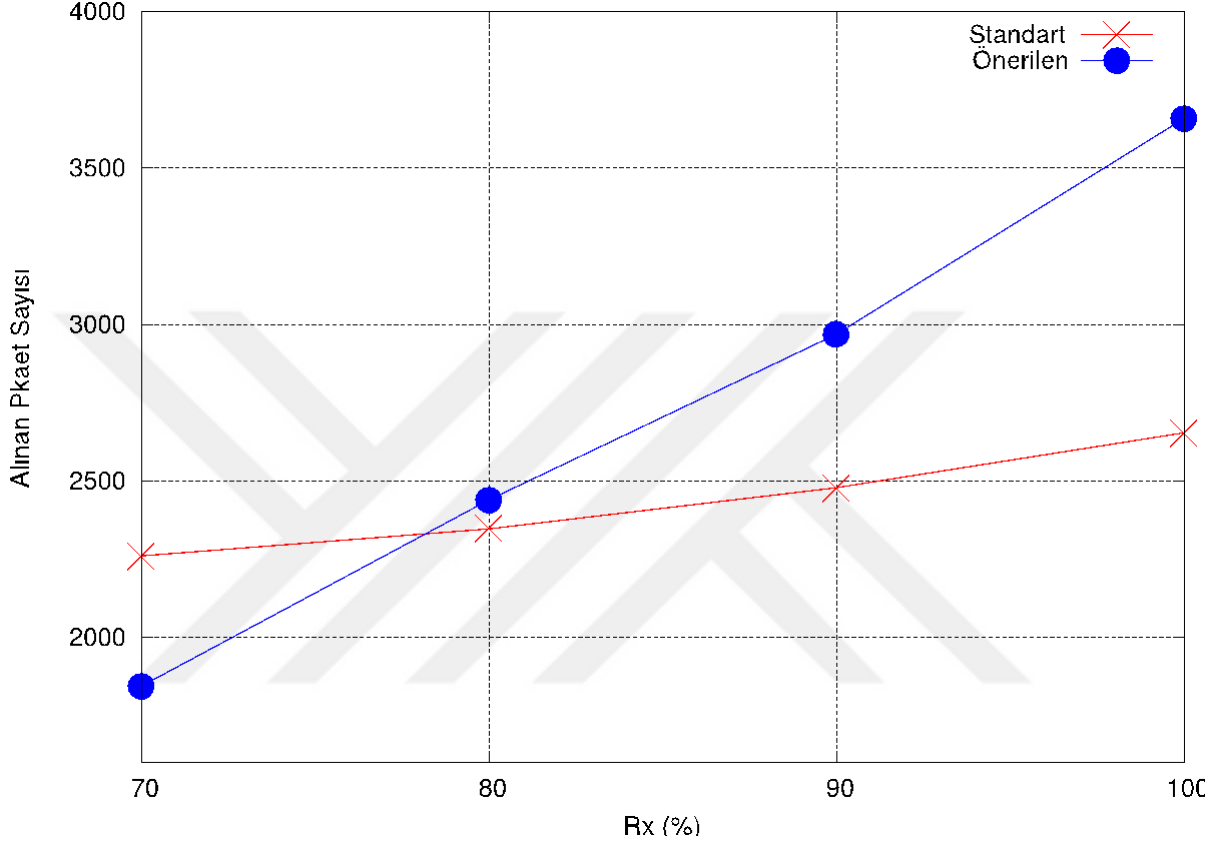
Şekil 13'de 15 düğüme sahip 6TiSCH ağ ortamları için standart sistem ile önerilen sistemi farklı bağlantı kalitesi olasılıklarında altında çalıştırılarak meydana gelen çakışma miktarını 60 dakika zaman dilimi içerisinde göstermektedir. Bu şekilde X eksen farklı bağlantı kalitesi olasılıklarını göstermektedir ve dikey eksen ise bağlantı kalitesi durumlarına göre çakışma miktarlarını ifade eder. Standart sistemde ise bağlantı kalitesi daha düşük olduğu durumlarda meydana gelen çakışma miktarının daha az olduğu gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda, bağlantı kalitesi olasılığı artışı veri alışverişi artmasını beraberinde getirir. Buda, duyargalar tarafından erişmek isteyen frekans kanal miktarını artırarak çakışma miktarını da artırmaktadır. Böylelikle, veri iletim trafiğinin bağlantı kalitesi olasılığıyla doğrudan olan ilişkisi anlaşılmaktadır. Yani, bağlantı kalitesi olasılığı arttıkça iletim trafiğide artmaktadır. Buda çakışma miktarının artmasıyla sonuçlanmaktadır. Ama önerilen sistemde ise, frekans kaynakları yöneterek simülasyon sırasında kullanılan farklı bağlantı kalitesi olasılıkları altında sistemde meydana gelecek olan çakışmanın önüne geçilmektedir.



Şekil 13. Farklı bağlantı kalitesi olasılıkları için meydana gelen çakışma miktarları

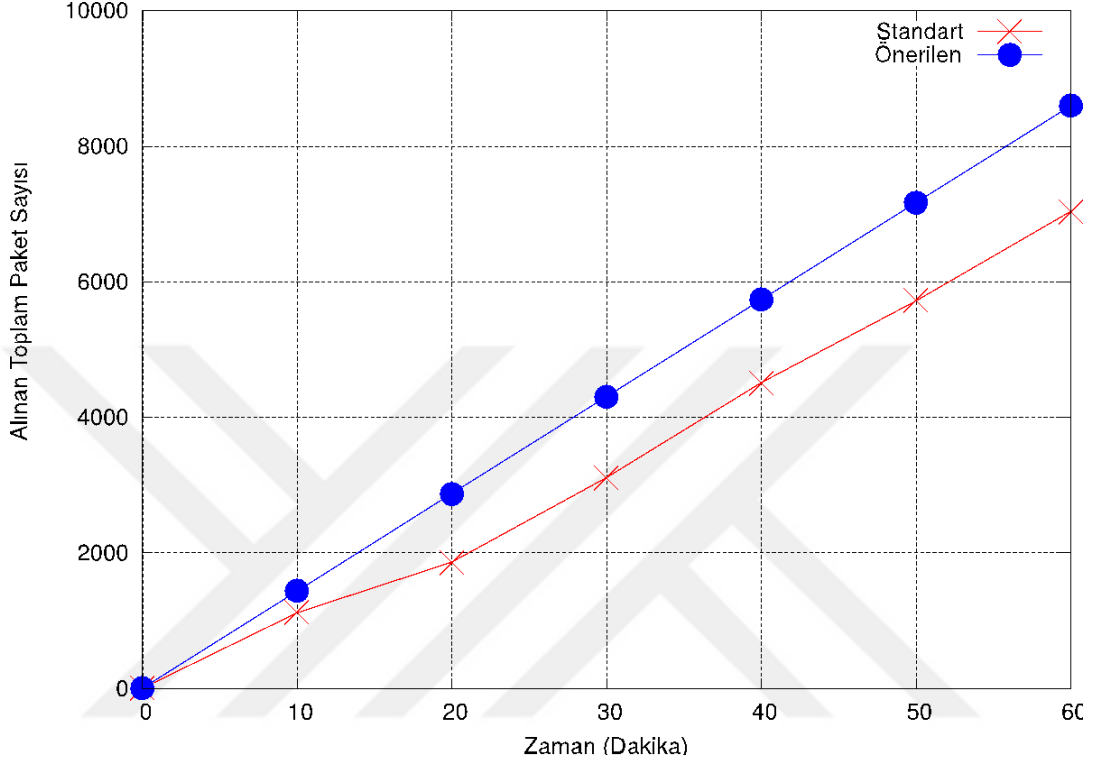
Şekil 14’te bağlantı kalitesi olasılığı 70-100% arasında olduğunda alınan UDP paket miktarı gösterilmektedir. İlk olarak, standart sistem ele alınmaktadır. Bu sistemde, bağlantı kalitesi olasılığının artması veri trafiğinin artmasında beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda, zaman ilerledikçe alınan veri paketlerinde artış gözlemlenmiştir. Diğer yandan, önerilen sistemde ise, bu koşullar aynı şekilde uygulanmaktadır. Önerilen sistemde de, bağlantı kalitesinin artması alınan UDP paket sayısının artmasına neden olmuştur. Bu sistemin avantaj ise, çakışmanın en aza indirdiğinden dolayı UDP veri paketlerin alımı bir tek 70% bağlantı kalitesi olasılığı haric standart sisteme göre daha fazla olduğu ispat edilmiştir. Önerilen sistemde, 70% bağlantı kalitesinde alınan veri miktarının standart sisteme göre düşük olmasının sebebi ise, sunucu-istemci modelinde en düşük bağlantı kalitesi olasılığına sahip olduğu durumda bir dış denetleyici ile etkileşime giren bir sisteme göre daha hızlı bir şekilde veri alımı sağlamaktadır. Bu doğrultuda, standard çözümde 70% durumu için alınan paket sayısı daha fazladır. Ama, şekilde gösterildiği gibi diğer bağlantı kalitesi olasılıkları durumunda veri transferinde alınan UDP-paket miktarı standart sistemde daha düşüktür. Böylelikle, standard sistemlerde veri transferi artması sonucu yoğunluk meydana gelir. Buda ağdaki transfer kalitesini indirerek alım olasılığını düşürmektedir. Önerdiğimiz sistemde ise, bu yoğunluk ve tıkanıklık sorunu ile başa çıkarak veri alma

potansiyeli artırılmaktadır. Dolayısıyla, şekilde gösterildiği gibi alınan paket sayısı bağlantı kalitesi olasılığıyla doğrudan iletişimi vardır.

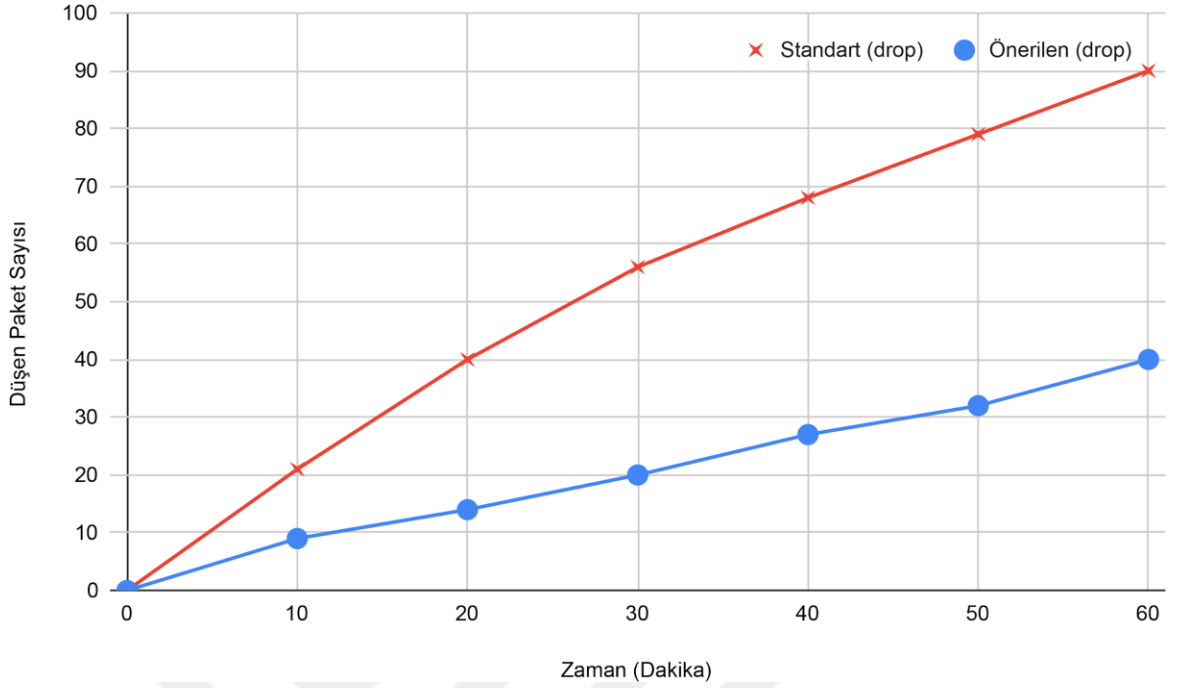


Şekil 14. Ağ geçitleri tarafından alınan hello paketleri sayısı

Şekil 15’de, X eksenini simülasyonu çalıştırdığımız süreyi göstermektedir ve Y eksenini toplam veri alışverişini ağlarda ifade etmektedir. Şekilde gösterildiği üzere, önerilen sistemde, merkezi yaklaşım kullanarak yaşanabilecek tıkanıklık sorunu teşhis edilip ve çözüm getirilmektedir. Böylelikle, veri alışverişi daha hızlı ve daha fazla olarak yapılmaktadır. Standard sisteme ise, meydana gelen ağ trafiği yüzünden ağda tıkanıklık yaşanır. Bu tıkanıklık yüzünden, veri alışverişi önerilen sistem ile kıyasladığımızda daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, çıkan sonuçlara bakarak önerilen sistemin ağ performansının iyileştirdiği sonucunu doğrulamaktadır. Böylelikle, ağda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 15. Standart ve Önerilen senaryolar için veri iletim miktarı



Şekil 16. Standart ve Önerilen senaryolar için düşen paket miktarı

Şekil 16’te 15 düğüme ve 100% bağlantı kalitesi olasılığına sahip 6TiSCH ağ ortamında 60 dakika zaman dilimi içerisinde meydana gelen paket kayıp sayısı verilmektedir. Standart sistemde, frekans kanallarının ortak olarak ağlar arasında kullanması nedeniyle trafik yoğunluğu ağlarda çakışmaya sebebiyet verir. Böylelikle, 6TiSCH ağ ortamındaki arasındaki bu çakışma paket kaybını neden olmaktadır. Bu olayların sonucunda ise , ağ ortamında karasızlık meydana getirir. Diğer yandan, Önerilen sistemde, frekans kanallarını dinamik bir şekilde ağlara atayarak yoğunluk sorunuyla baş etmektedir. Bu doğrultuda ise, önerilen sistemde çakışma meydana gelmesini engelleyerek , paket kayıp miktarını standart sisteme göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ağ ortamını daha kararlı bir hale gelir.

5. SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

5.1. Sonuçlar

IoT kavramı, geniş kullanıcı ve hizmet dünyasındaki dönüşümü ile başa çıkmak için gelecekteki İnternet mimarisi olmayı hedeflemektedir. Bu teknolojiyi kapsayan ağların birçok avantajı olmasına rağmen, IoT uygulamaları tarafından belirlenen gereklilikler henüz IoT paradigması tarafından gelişimi tamamlanmamıştır. IoT, çoğunlukla ana sunucu ile son cihazlar arasındaki yoğun trafik etkileşimin karmaşıklığından etkilenen İnternet ağıdır. Bunun nedeni ise, uygulamaların ve hizmet gereksinimlerinin getirdiği artan akıllı nesnelere kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, kaynak yönetimi kavramını IoT teknolojisinde kullanarak trafik yoğunluğu ve hizmet kalitesi konularını ele alarak optimizasyon sağlamasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışma, IoT sistemlerinde meydana gelen çakışmalara bir çözüm olarak kaynak yönetimi terminolojisi önerilmektedir. Kaynak yönetimi yaklaşımı ise, ağ performansını iyileştirmeye yardımcı olur. Tezin amacı, merkezi denetleyici yöntemi ile IoT ağındaki ağ geçitleri üzerindeki yoğunluğu belirleyerek frekans kanallarının dinamik bir şekilde atanmasına olanak sağlamaktır. Bu yaklaşım, IoT'deki ağlar arasındaki trafik çarpışmaları ile başa çıkmak için etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Burada önerilen algoritma sayesinde, denetleyici gelen verileri düzenli olarak alır ve inceleyip hesaplamalar yapar. Bu hesaplamalar doğrultusunda, ağın işleyişini bozmayacak şekilde frekans kanalları dinamik olarak 6tisch ağındaki ağ geçitlerine atanır. Simülasyon testleri önerilen bu yöntemin verimliliğini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Sunulan sistemin çakışma miktarını analiz etmektedir.

Çakışma miktarı analiz edildiğinde, bulgular farklı koşulların etkisi altında özetlenmektedir. Sayısal sonuçlar önerilen algoritmayı doğrulamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, bu bulgular önerilen yaklaşımın IoT ağlarındaki çakışma sorunu ile başa çıkıldığını gösterir. Simülasyon sonuçlarının referans alınan modelle karşılaştırılmasından sonra, yük dengeleme algoritmasının diğer yaklaşımdan daha iyi performans gösterdiği kanıtlamıştır. Özetlemek gerekirse, önerilen kaynak yönetimi stratejisinin çakışma sayısı azaltarak iletilen veri miktarını artırarak sistem performansını iyileştirdiğini ispat edilmiştir. Bu yüzden, tıkanıklığı az olan ağ geçidinden frekans kanalları alınıp yoğun mesaj trafiğine sahip ağ geçidine verilerek ağ daha verimli hale getirilir.

5.2. Gelecekteki Çalışmalar

Bu tezde, önerilen kaynak yönetimi çözümüne rağmen IoT ağının zorluklarıyla başa çıkmak için önerdiğimiz yaklaşıma farklı yöntemler uygulanarak daha iyi sonuçlar alınabilir. IoT ağları üzerine yapılan araştırmalar uygulama eksikliği ile kalırken bunların çoğu simülasyona göre değerlendirilmektedir. Bu yöntemlerin performansını doğru bir şekilde değerlendirmek için gerçek platform üzerinde uygulaması gereklidir. Gelecekteki çalışmalar için önerilen algoritma dikkate alınarak ve araştırmacılar tarafından önerilen yeni çalışmalar karşılaştırılarak gerçek hayattaki IoT ağında uygulamaları gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Günümüzün popüler konusu olan yapay zeka uygulamaları da ağlar üzerinde kullanılarak verilerin daha etkili sonuçlar üretmesine yardımcı olabilir. Duyarga cihazlarının üretmiş oldukları veriler sayesinde uygulamaların kendi kendilerine çeşitli öğrenme yöntemleriyle gerek minimum yol veya gerekse karar verme yetenekleri geliştirilebilir. Ayrıca öğrenme teknikleri sayesinde, ağda meydana gelen değişimlere hızlı çözümler üretilerek ağın performans kaybı önlenir. Uygulama tasarımlarında ağ yaşam döngüsü dikkate alınması gerektiğinden kaynak çakışması durumları geliştiriciler tarafından dikkatlice tasarlanmalıdır. Tez boyunca, ağın yaşam süresi uzatılmaya ve kanal çakışma miktarı azaltılarak etkin bir ağ simülasyonu oluşturulmaya önem gösterilmiştir.

6.KAYNAKLAR

- [1] Aydin, H., Goermues, S., ve Jin, Y., A distributed user authentication mechanism for IETF 6TiSCH protocol, 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC), Haziran 2018, Porto, Bildiriler Kitabı, 1-7.
- [2] Bose, I., Pal, R., Auto-ID: managing anything, anywhere, anytime in the supply chain, Communications of the ACM, 48, 8 (2005) 100 -106.
- [3] Alam, F., Mehmood, R., Katib, I., Albeshri, A., Analysis of eight data mining algorithms for smarter Internet of Things (IoT). Procedia Computer Science, 98, (2016) 437- 42.
- [4] Atzori, L., Iera, A., ve Morabito, G., The Internet of Things: A Survey, Computer Networks, 54, 15 (2010) 2787 - 2805.
- [5] Palattella, M., Rita, A., Nicola, V., Xavier W., Thomas, G., Luigi, A., Boggia, G. ve Dohler, M., Standardized Protocol Stack for the Internet of (Important) Things, IEEE communications surveys and tutorials, 15, 3 (2013) 1389 - 1406.
- [6] ITU Telecommunication Standardization Sector ITU-T Recommendation database. <http://handle.itu.int/11.1002/1000/1559-en?locatt=%20format:pdf&auth> Ekim 2017.
- [7] Huang, H., Zhu, J. ve Zhang, L., An SDN_based management framework for IoT devices, 25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CIICT 2014), Limerick, (2014) 175-179.
- [8] Guo, B., Zhang, D., Yu, Z., Liang, Y., Wang, Z. ve Zhou, X., From the internet of things to embedded intelligence, World Wide Web, 16, 4 (2013) 399 - 420.
- [9] Abdmeziem, M R., Tandjaoui, D., ve Romdhani, I., Architecting the Internet of Things: State of the Art, Robots and Sensor Clouds, (2016) 55 - 75.
- [10] Evans, D., How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.
- [11] Görmüş, S., Aydın, H., ve Ulutaş, G., Nesnelerin interneti teknolojisi için güvenlik: Var olan mekanizmalar, protokoller ve yaşanan zorlukların araştırılması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33, 4 (2018) 1247-1272.
- [12] Alizadeh S., ve Aydın H., Energy Efficient Communication Protocol For 6TiSCH Networks, 2019 Seventh International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), Mayıs 2019, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 63 - 67.
- [13] Matin, M., ve Islam, Md., Overview of Wireless Sensor Network, Wireless Sensor Networks-Technology and Protocols, 1, 3 (2012).
- [14] Koubâa, A., ve Mário, A., ve Eduardo, T., Lower protocol layers for wireless sensor networks: a survey, ISEP - CISTER - Research Centre in Real-Time Computing Systems, (2005) 1-16.
- [15] Çıbuk, M., ve Maraşlı, F., RFID Teknolojisi ve Kullanım Alanları, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4, 2 (2015).

- [16] Biru, B. A., Open Source Solutions For Industrial Internet of Things, Yüksek Lisans Tezi, Politecnico di Torino, Torino, 2018.
- [17] Demirkol İ., ve Ersoy C., ve Alagöz F., MAC protocols for wireless sensor networks: a survey, IEEE Communications Magazine, 2006,44,4, 115-121.
- [18] Dener M., ve Bay Ö., Medium Access Control Protocols For Wireless Sensor Networks: Literature Survey, Gazi University Journal of Science, 25,2,2012, 455-464.
- [19] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, IEEE Standards 802.11 , 1999, 195-200.
- [20] LAN/MAN Standards Committee., T Part 15.4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANS), IEEE Computer Society, 2003.
- [21] Koubaa A., ve Alves M., ve Tovar E., IEEE 802.15. 4: a federating communication protocol for time-sensitive wireless sensor networks , Sensor Networks and Configurations: Fundamentals, Tecniques, Platforms and Experiments, Springer-Verlag, Germany , 2006, 19-49 .
- [22] Ye W., ve Heidemann J., ve Estrin D., An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, IEEE INFOCOM, 3, 2002, 1567-1576.
- [23] Gay D., ve Levis P., ve Von Behren R., ve Welsh M., ve Brewer E., ve Culler D., The nesC language: A holistic approach to networked embedded systems, Acm Sigplan Notices, 38, 5, 2003, 1-11.
- [24] Van Dam T., ve Langendoen K., An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 200, 171-180.
- [25] Zheng T., ve Radhakrishnan S., ve Sarangan V., PMAC: An Adaptive energy-efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks, 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2005.
- [26] Rajendran V., ve Obraczka K., ve Garcia-Luna-Aceves J.J., Energy Efficient, Collision Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, 2003,181-192.
- [27] Enz C.C., ve El-Hoiydi A, ve Decotignie J-D., ve Peiris V., WiseNET: an ultralow-power wireless sensor network solution, IEEE Computer, 37, 8, 2004, 62-70 .
- [28] Polastre J., ve Hill J., ve Culler D., Versatile low Power Media Access for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems , 2004, 95-107.
- [29] Buettner M., ve Yee G., ve Anderson E., Han R., X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks, Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, 2006, 307-320.
- [30] Rhee I., ve Warrier A., Aia M., ve Min J., ve Sichitiu M., Z-MAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks, IEEE/ACM Transactions On Networking, 16,3,2008, 511-524.
- [31] Tavli B., ve Heinzelman W., MH-TRACE: Multi-hop Time Reservation Using Adaptive Control for Energy Efficiency, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22,5, 2004, 942-953.
- [32] Akyildiz I.F., ve Su, W., ve Sankarasubramaniam Y., ve Cayirci, E., Wireless sensor networks: A survey computer networks, The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 38, 4,2002, 393-422.
- [33] Boumaiza Y., Authentication in IoT: 6TiSCH secure join using distributed storage for the key establishment. PhD diss., Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2019.

- [34] Chen E., ve Thiam T.H., Issac B. ve Nguan T.H., Analysis of IPv6 network communication using simulation, 2006 4th Student Conference on Research and Development, 2006, 11-15.
- [35] Andersen, Q.L., Security of Internet of Things Protocol Stacks, NTNU, 2016.
- [36] <https://tools.ietf.org/html/rfc4919>, from Internet Protocol, Version 6(IPv6) Specification, 15 Ocak 2019.
- [37] Schrickte L.F., ve Montez C., ve De Oliveira R., ve Pinto A.R., Integration of wireless sensor networks to the internet of things using a 6LoWPAN gateway, 2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, 2013, 119-124.
- [38] Khan M.R., Performance and route stability analysis of RPL protocol, 2012.
- [39] Aydın H., IETF 6TiSCH protokolü için dağıtık kullanıcı kimlik doğrulama mekanizması, PhD diss., Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2018.
- [40] Bektaş, M., *Evde sağlık uygulamaları için enerji verimli nesnelerin interneti protokolü*, PhD diss, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2019.
- [41] Toğrul B., RPL'İN GÜVENİLİR VE DÜŞÜK GÜCE SAHİP HAREKETLİLİK DESTEĞİ İÇİN YENİDEN TASARLANMASI ,Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [42] De Guglielmo D., ve Brienza S., ve Anastasi G., IEEE 802.15. 4e: A survey, Computer Communications, 88, 2016, 1-24.
- [43] Pauli V., ve Naranjo J.D., ve Seidel E., Heterogeneous LTE networks and inter-cell interference coordination, Nomor Research GmbH, 2010, 1-9.
- [44] Madan R., ve Borran J., ve Sampath A., ve Bhushan N., ve Khandekar A., ve Ji T., Cell association and interference coordination in heterogeneous LTE-A cellular networks, IEEE Journal on selected areas in communications, 28, 9, 2010, 1479-1489.
- [45] Sathya, V., Gudivada, H.V., Narayanam, H., Krishna, B. M., ve Tamma, B.M., Enhanced distributed resource allocation and interference management in LTE femtocell networks , IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013, 553-558.
- [46] Wu, W., Gitlits, M., Sakurai, T., Dynamic resource allocation with inter-cell interference coordination for 3GPP LTE, Asia-Pacific Microwave Conference, 2008, 1-4.
- [47] Alam, M.J., El-Saleh, A., Tan, C.K., Ku, I., Lee, K.L., ve Chuah, T.C., Improved Joint Cell Association and Interference Mitigation for LTE-A Heterogeneous Networks, IEEE 4th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT), 2018, 1-4.
- [48] Li, B., Zhang, Y., Cui, G., Wang, W., Duan, J., ve Chen, W., Interference coordination based on hybrid resource allocation for overlaying LTE macrocell and femtocell, IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2011, 167-171.
- [49] Ahmed, A.U., Aziz, F.B., Masum, T.M., Jahan, M.S., Rahman, M.M., Reza, C., Al Mamoon, A., Day, P., ve Zaman, M., Resource allocation in hybrid access control femtocell network targeting inter-cell interference reduction, International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2013, 1-5.

- [50] Tang, H., Hong, P., Xue, K., ve Peng, J, Cluster-based resource allocation for interference mitigation in LTE heterogeneous networks, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012,1-5.
- [51] Yu, Y., Dutkiewicz, E., Huang, X., ve Mueck, M., T A resource allocation scheme for balanced performance improvement in LTE networks with inter-cell interference, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012, 1630-1635.
- [52] Mohamed, A., Babiker, A., ve Mustafa, Nabi., Functions of X2 interface, Int. J. Sci. Res. , 5,2, 2016, 1048-1051.



ÖZGEÇMİŞ

Parivash Dehghan, 15 Kasım 1991 TEBRİZ/ İran doğumludur. 2010 yılında girdiği Azerbaycan Şehid Medeni Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nden 2015 yılında mezun olmuştur.

2014 yılında İran Telekomünikasyonüne bağlı ŞASKAM firmasında çalışmıştır. 2015 yılında girdiği TÖMER sınavında Türkçe diplomasını kazanmıştır. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde Yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Parivash ana dili olan azərbaycan türkçesinin yanı sıra Farsça, Türkçe ve İngilizce de konuşuyor.

