

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Kablosuz Duyarga Ağlarda Azami Veri Güvenliğini Sağlamak için
Mimari Tasarım**

Oğuz ATA

Tez Yöneticisi
Yard. Doç.Dr. Erdem UÇAR
Doç.Dr. Hasan Hüseyin BALIK

DOKTORA TEZİ
BİLİŞİM SİYAR MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI

EDİRNE, 2011-2012

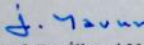
T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

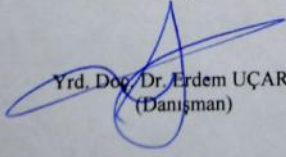
KABLOSUSUZ DUYARGA AĞLARDA AZAMI
VERİ GÜVENLİĞİNİ SAĞLAMAK İÇİN MİMARİ TASARIM

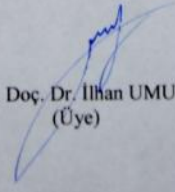
OĞUZ ATA

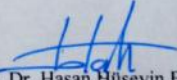
DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

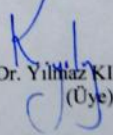
Bu tez ²⁸⁰³2012 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.


Prof. Dr. İlhami YAVUZ
(Üye)


Yrd. Doç. Dr. Erdem UÇAR
(Danışman)


Yrd. Doç. Dr. İlhan UMUT
(Üye)


Doç. Dr. Hasan Hüseyin BALIK
(II. Danışman)


Doç. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN
(Üye)

TE EKKÜR

Doktora tez danışmanım Yard. Doç. Dr. Erdem UÇAR 'a çalımlarımaya verdi i desteklerden dolayı te ekkür ederim.

Yüksek lisans ve doktora danışmanlığı yapıp, akademik hayata adım atmamda elinden gelen maddi ve manevi her türlü deste i sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Hassan Hüseyin BALIK'a te ekkür ederim.

Engin tecrubesi ile verdi i de erli tavsiyeler sayesinde bana ve tezime katkıda bulunan izleme komitemdeki Sayın Prof. Dr. İhami YAVUZ'a te ekkür ederim.

Tez sürecinde bana destek olan arkadaş larım, A. O uz TANYILDIZI, Fatih. A. AKÇORA, Enes SOYLU ve Burcu TOPKAYA' ya te ekkür ederim.

Dilek T. BALIK, O.Alperen BALIK ve ö rendi i ilk kelimelerle sürekli, doktora tezini bitirmemi ve çok çalımlamam gerekti ini hatırlatan Ömer A. BALIK' a te ekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca desteklerini hiçbir zamana esirgemeyen ve her zaman yanımda olan babam Fikret ATA, annem Figen ATA ve karde im Selcen ATA te ekkür ederim.

Ç İNDEK İLER

Ç İNDEK İLER	i
EK L L İSTES	v
TABLO L İSTES	vii
KISALTMAL İSTES	viii
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 GİRİŞ	1
2 BİLGİ SAYAR ALIŞI	5
2.1 Giriş	5
2.2 Sinyal Türüne Göre Haberleşme	5
2.2.1 Analog Haberleşme	5
2.2.2 Sayısal Haberleşme	6
2.2.3 Analog haberleşme ile sayısal haberleşmenin karşılaştırılması	7
2.3 İletim Ortamı Türüne Göre Haberleşme	7
2.3.1 Kablolü Haberleşme	8
2.3.2 Kablosuz Haberleşme	8
2.3.3 Kablolü haberleşme ve kablosuz haberleşmenin karşılaştırılması	9
2.4 Ağlar	10
2.4.1 Bilgisayar ağlarının ortaya çıkış nedenleri	11
2.4.2 Bilgisayar ağlarında yerleşim biçimleri (Ağ Topolojileri)	12
2.4.3 Büyüklüklerine göre ağlar	13
2.4.4 Ortam türüne göre ağlar	14
2.5 Kablosuz Ağlar	16
2.5.1 Sınıflandırılması	16
2.5.1.1 Kablosuz kişisel alan ağları (WPAN)	17
2.5.1.2 Kablosuz yerel alan ağları (WLAN)	17
2.5.1.3 Kablosuz metropolitan alan ağları (WMAN)	18
2.5.1.4 Kablosuz geniş alan ağları (WWAN)	19
2.5.2 Kablosuz ağlarda kullanılan teknolojiler	19
2.5.2.1 İrDA	20

2.5.2.2	HomeRF	20
2.5.2.3	Bluetooth	21
2.5.2.4	UWB (Ultra Wide Band)	24
2.5.2.5	ZigBee	25
2.5.2.6	Wi-Fi (IEEE 802.11x).....	28
2.5.2.7	HiperLAN	30
2.5.2.8	HiperMAN	31
2.5.2.9	WiMAX	31
2.5.2.10	WiBro.....	33
3	KABLOSUZ ALGILAYICILAR	35
3.1	Giri	35
3.2	Kablosuz Algılayıcıların Uygulama Alanları	36
3.2.1	Askeri uygulama alanları	36
3.2.1.1	Smart Dust.....	36
3.2.1.2	Keskin ni ancı tespiti	37
3.2.2	Çevesel bilgilerin izlenmesi	38
3.2.2.1	Büyük ördek adası projesi (Great Duck Island- GDI)	38
3.2.2.2	CORIE (Columbia River Ecosystem).....	39
3.2.2.3	ZebraNet.....	40
3.2.2.4	Yanarda hareketlerinin izlenmesi.....	40
3.2.3	Sa lık uygulamaları	41
3.2.3.1	Yapay retina projesi	42
3.2.3.2	Hasta takibi	42
3.2.4	Ev uygulamaları	43
3.2.4.1	Su sayacı	44
3.2.5	Endüstriyel uygulamalar	44
3.2.5.1	Önleyici bakım.....	45
3.3	Kablosuz Algılayıcı Teknolojileri.....	46
3.3.1	İletim Birimi	47
3.3.2	İletim Birimi	48
3.3.2.1	Alıcı-Verici Birimi.....	48
3.3.3	Algılayıcı birimi	49

3.3.4	Hafıza birimi	50
3.3.5	Güç Kayna ı.....	50
3.4	Kablosuz Algılayıcı A larda Kullanılan Protokoller.....	51
3.4.1	Kablosuz Algılayıcı A larda Ortam Eri im Protokolleri.....	51
3.4.1.1	Sensor MAC (SMAC).....	51
3.4.1.2	Enerji Duyarlı DCF.....	52
3.4.1.3	Timeout MAC (TMAC).....	53
3.4.1.4	EDSMAC.....	55
3.4.2	Yönlendirme Protokolleri.....	57
3.4.2.1	SPIN (Sensor Protocol For Information Via Negotiation- Görü me Tabanlı Algılayıcı Protokolü).....	58
3.4.2.2	DD (Directed Diffusion-Do rudan Yayılma).....	59
3.4.2.3	LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy- Dü ük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerar isi).....	60
3.4.2.4	PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems-Enerji Verimli Sensör Bilgi Sistemi).....	60
3.4.2.5	GEAR (Geographical and Energy Aware Routing-Co rafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme).....	60
4	S MÜLASYON	62
4.1	Giri	62
4.2	Günümüzde Kullanılan Simülasyon Programları	62
4.2.1	ns-2.....	62
4.2.2	ns-3.....	63
4.2.3	OMNeT++.....	63
4.2.4	JiST	64
4.2.5	SimPy.....	65
4.3	Castalia Simülasyon Programı	65
4.3.1	Giri	65
4.3.2	Castalia'ya genel bakı	66
4.3.3	Castalia'nın yapısı.....	66
4.3.4	Konfigürasyon dosyasının yapısı ve bazı parametreleri	68
4.3.5	Yeni bir modül olu turma	75

4.3.6	Çıktıların toplanması	78
4.3.7	Zamanlayıcı tanımlaması ve kullanımı	79
4.3.8	Yeni bir uygulama modülü tanımlama.....	80
5	KABLOSUZ DUYARGA ALARDA AZAM VER GÜVENLİ N SALAMAK ÇİN M MAR TASARIM	84
5.1	Giri	84
5.2	Anahtar Dağıtım Mekanizması	84
5.3	Düüm Tanımlama Mekanizması	86
5.4	Mesaj Kimliğinin Doğulanması Protokolü	90
5.4.1	Mesaj doğrulama kodu	91
5.4.2	Anahtar	93
5.5	Doğrulama Mekanizması	94
5.6	Duyarlılık Mekanizması	95
5.7	Çoklu Yönlendirme Mekanizması	96
5.8	Sonuçlar	99
5.8.1	Duyarlılığın etkisi	99
5.8.2	İletim ortamının etkisi	101
5.8.3	Enerji tüketimi	102
5.8.4	Ortalama düüm enerjisinin duyarlılığa etkisi	103
5.9	Gelecek Çalışma	107
	KAYNAKLAR	109
	DİĞER KAYNAKLAR	113
	ÖZGEÇM	Error! Bookmark not defined.

EK L L STES

ekil 1.1 : Tez bölümleri ve konu ba lıklar	4
ekil 2.1 : Analog Sinyal (Çibuk, 2009).....	6
ekil 2.2 : Sayısal (Dijital) Sinyal (Çibuk, 2009)	6
ekil 2.3 : Kablolü iletim ortamı türleri.....	8
ekil 2.4 : Kablosuz ileti im ve elektromanyetik dalga formu	9
ekil 2.5: Kablolü letim Ortam Türleri	15
ekil 2.6 : Büyüklüklerine göre kablosuz a lar ve kullanılan standartlar (Çibuk, 2009)16	
ekil 2.7 : Kablosuz A Teknolojileri (Çibuk, 2009).....	19
ekil 2.8 : Piconet ve Scatternet Olu umu.....	24
ekil 2.9 : DS, DB ve UWB sinyallerinin kar ıla tırması (Çibuk, 2009).....	25
ekil 2.10 : ZigBee A Topolojileri	27
ekil 2.11 : Mesafe ve Bant Geni li ine göre Kablosuz A lar ve Standartları [3]	32
ekil 3.1 : Boomerang Keskin Ni ancı Tespit Sistemi [27]	37
ekil 3.2 : Da ıtık Keskin Ni ancı Tespit Sistemi (Lédeczi, et al., 2005), (Akyildiz & Vuran, 2010)	38
ekil 3.3 : FPGA Tabanlı Akustik Algılayıcı (Lédeczi, et al., 2005).....	38
ekil 3.4 : Colombia Nehiri Algılayıcı stasyonlar [29].....	39
ekil 3.5 : Geli tirilen ZebraNet Dü ümü (Akyildiz & Vuran, 2010)	40
ekil 3.6 : Yanarda da kullanılan Algılayıcı Dü üm (Werner-Allen, et al., 2006)	41
ekil 3.7 : Yapay Retina [30].....	42
ekil 3.8 : CodeBlue Giyilebilir Algılayıcıları [31]	43
ekil 3.9 : FabApp'da Konu landırılmı Algılayıcı Dü üm (Krishnamurthy, et al., 2005)	46
ekil 3.10 : Kablosuz Algılayıcı Mimarisi	46
ekil 3.11 : Algılayıcı Dü üm Uyku / Dinleme Modu.....	52
ekil 3.12 : TMAC protokolünde de i ken uyku ve çalı ma periyotları	53
ekil 3.13 : FRTS Paket Gönderimi	54
ekil 3.14 : RTS almak yerine kendi RTS'sini ba ka dü üme gönderen algılayıcı dü ümler	54
ekil 3.15 : Protokolünde kullanılan paket formatları	55
ekil 3.16 : Merkezi Dü üm lem Modeli	57

ekil 3.17 : SPIN Yönlendirme Protokolünde Düğümler Arasındaki İlişkiler (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002).....	58
ekil 3.18 : Doğrudan yayılma ile SINK'in veri elde etmesi	59
ekil 4.1 : Castalia'da Modüller ve Bağılantıları	67
ekil 4.2 : Düğüm Birleşik Modülü Çatısı	68
ekil 5.1 : Anahtar Dağıtım mekanizması	85
ekil 5.2 : Tanımlama mekanizmasının zamana bağlı gösterimi	87
ekil 5.3 : Kimlik Tanımlama.....	87
ekil 5.4 : Mesaj Kimlik Kontrolü.....	90
ekil 5.5 : MicaZ Algılayıcı düğümde AES-128 tabanlı MAC algoritmaları (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)	92
ekil 5.6 : TelosB Algılayıcı düğümde AES-128 tabanlı MAC algoritmaları (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)	92
ekil 5.7 : MD'ün düğüm bilgilerini kayıtlı tutması	94
ekil 5.8 : Mesajın PDU yapısı.....	95
ekil 5.9 : Duyarlılık mekanizması.....	96
ekil 5.10 : Maksimum atlama	97
ekil 5.11 : Duyarlılığın rastgele yerleştirilen düğümler üzerine etkisi	99
ekil 5.12 : Duyarlılığın ızgara (grid) ekinde yerleştirilen düğümler üzerine etkisi .	100
ekil 5.13 : Duyarlılığın ideal ortamda rastgele yerleştirilen düğümler üzerine etkisi	101
ekil 5.14 : Duyarlılığın ideal ortamda ızgara (grid) ekinde yerleştirilen düğümler üzerine etkisi	101
ekil 5.15 : Harcanan ortalama enerji.....	103
ekil 5.16 : ~%25 Enerji ile duyarlılık	104
ekil 5.17 : ~%50 Enerji ile duyarlılık	105
ekil 5.18 : ~%75 Enerji ile duyarlılık	106
ekil 5.19 : ~%100 Enerji ile duyarlılık	107

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kablosuz İletim Teknolojileri (Öztürk, 2004)	16
Tablo 2.2 : HomeRF'in Genel Teknik Özellikleri	20
Tablo 2.3 : Bluetooth'un genel teknik özellikleri	22
Tablo 2.4 : ZigBee Teknolojisinin Karşılaştırmalı Özellikleri	26
Tablo 2.5 : IEEE 802.11 a/b/g/n standartları ve genel özellikleri[18, 19], (Öztürk, 2004)	29
Tablo 2.6 : IEEE 802.11x standartları ve genel seviyeleri [18]	29
Tablo 2.7 : HiperLAN ₂ ile 802.11a standardının karşılaştırması	31
Tablo 5.1: TelosB ve MicaZ düğümlerinde MAC algoritmalarının hafıza kullanımı (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)	93
Tablo 5.2 : Ortalama enerji tüketimi.....	102
Tablo 5.3 : ~%25 Enerji ile duyarlılık	103
Tablo 5.4 : ~%50 Enerji ile duyarlılık	104
Tablo 5.5 : ~%75 Enerji ile duyarlılık	105
Tablo 5.6 :~%100 Enerji ile duyarlılık	106

KISALTMALAR LİSTESİ

3G	: Third Generation	Üçüncü Jenerasyon
4G	: Fourth Generation	Dördüncü Jenerasyon
ADC	: Analog Digital Converter	Analog Dijital Çevirici
ADM	: Key Exchange Mechanizm	Anahtar Değişim Mekanizması
AMD	: Age-related Macular Degeneration	Yaşla İlgili Macular Bozulma
ARPA	: Advanced Research Projects Agency	ileri Araştırma Projeleri Ajansı
ARPANET	: Advanced Research Projects Agency Network	ileri Araştırma Projeleri Ajansı Ağı
ATM	: Asynchronous Transfer Mode	E-zamanlı Aktarım Modu
BR	: Basic Rate	Temel Seviye
C4ISR	: Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance	Askeri Kumanda, Kontrol, Keşif, Haberleşme, Hesaplama, Hedefleme, İstihbarat ve Gözetim
CDMA	: Code Division Multiple Access	Kod Bölme Çoklu Erişim
CORIE	: Columbia River Ecosystem	Kolombiya Nehri Ekosistemi
CPU	: Central Processing Unit	Merkezi İşlem Birimi
CRC	: Cyclic Redundancy Check	Döngüsel Artıklık Denetimi
CSMA/CA	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	Çarpışmadan Kaçınmalı Tıyıcıyı Dinleyen Çoklu Erişim
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	Çarpışma Algılamalı Tıyıcıyı Dinleyen Çoklu Erişim
CTS	: Clear To Send	Gönderime Açık
DARPA	: The Defense Advanced Research Projects Agency	ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı
DB	: Narrow Band	Dar Bant
DCF	: Distributed Coordination Function	Dağıtık Kordinasyon Fonksiyonu
DPM	: Dynamic Power Management	Dinamik Güç Yönetimi
DS	: Disturbed Spectrum	Dağınık Spektrum
DSP	: Digital Signal Processor	Dijital Sinyal İşlemci
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum	Düz Sıralı Dağınık Spektrum
DVD	: Digital Video Disk	Sayısal Video Diski
DVS	: Dynamic Voltage Scaling	Dinamik Gerilim Ölçekleme
EDR	: Enhanced Data Rate	Geliştirilmiş Veri Seviyesi
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektriksel Olarak Silinebilen Sadece Okunabilir Bellek
EKG	: Elektrokardiyografi	Elektrokardiyografi
EM	: Electro Magnetic Wave	Elektro Manyetik Dalga
EMG	: Elektromiyografi	Elektromiyografi
ENIAC	: Electronic Numerical Integrator And Computer	Elektronik numara entegreli hesaplayıcı

EOFS	: Environmental Observation and Forecasting System	Çevresel Gözlem ve Tahmin Sistemi
ETSI	: European Telecommunications Standarts Institute	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FBWA	: Fixed Broadband Wireless Access	Sabit Geni band Kablosuz Erişim
FDD	: Frequency Divison Duplex	Frekans Bölmeli Çoklama
FFD	: Full Functional Device	Tam Fonksiyonlu Cihaz
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum	Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum	Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum
FRTS	: Future Request To Send	Gelecek Gönderme isteği
GDI	: Great Duck Island	Büyük Ördek Adası
GEAR	: Geographical and Energy Aware Routing	Coğrafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme
GFSK	: Gaussian Frequency Shift Keying	Gausyan Frekans Tersleme Anahtarlama
GPS	: Global Positioning System	Küresel Yer Bulma Sistemi
GSM	: Global System for Mobile Communications	Mobil İletişim için Küresel Sistem
HiperLAN	: High Performance Radio Lan	Yüksek Performanslı Radyo Alanı
HiperMA	: Hiper Metropolitan Area Network	Hiper Metropolitan Alan Alanı
HomeRF	: Home Radio Frequency	Ev Radyo Frekansı
HP	: Hewlet Packard	Hewlet Packard'ın kısaltması
IBM	: International Business Machines	Uluslararası Makineleri
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineer	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IP	: Internet Protocol	İnternet Protokolü
IR	: Infrared	Kızılötesi
IrDA	: Infrared Data Association	Kızılötesi Veri Birliği
ISM	: Industrial Scientific Medical	Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal frekans bandı için kullanılır
JiST	: Java in Simulation Time	Java in Simulation Time
KA	: Wireless Sensor	Kablosuz Algılayıcı
KAA	: Wireless Sensor Network	Kablosuz Algılayıcı Alanı
LAN	: Local Area Network	Yerel Alan Alanı
LEACH	: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy	Düşük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerarşisi
LMDS	: Local Multi Point Distribution Service	Yerel Çok Noktadan Dağıtım Hizmeti
LOS	: Line Of Sight	Direkt Görüş Hattı
MAC	: Message authentication code	Mesaj doğrulama kodu
MAN	: Metropolitan Area Network	Metropolitan Alan Alanı
MD	: Sink	Merkez Düğüm
MIMO	: Multiple Input/Multiple Output	Çoklu Giriş /Çoklu Çıkış
MIR	: Medium Infrared	Orta Hızlı Kızılötesi
MMAC	: Multimedia Mobile Acces Communication System	Multimedya Mobil Erişim İletişim Sistemi
MMDS	: Multi Channel Multi Point Distribution	Çok Kanallı Çok Noktadan Dağıtım Hizmeti

Service

NAWMS	: The Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System	Özel Otonom Su Takip Sistemi
NLOS	: Non Line Of Sight	Endirekt Görü Hattı
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama
OOK	: On/Off Keying	Aç/Kapa Anahtarlama
PAM	: Pulse Amplitude Modulation	Darbe Genlik Modülasyonu
PDA	: Personal Digital Asistant	Kişisel Dijital Yardımcı
PEGASIS	: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems	Enerji Verimli Sensör Bilgi Sistemi
PPM	: Pulse Position Modulation	Darbe Konum Modülasyonu
PSK	: Phase Shift Keying	Faz Tersleme Anahtarlama
PTMP	: Point To Multi Point	Noktadan Çok Noktaya
QoS	: Quality of Service	Hizmet Kalitesi
RAM	: Random Access Memory	Rasgele Erişimli Bellek
RFD	: Reduced Functional Device	İndirgenmiş (Düşük) Fonksiyonlu Cihaz
RISC	: Reduced instruction set computer	İndirgenmiş Komut Takımı Bilgisayarı
ROM	: Read Only Memory	Sadece Okunabilir Bellek
RP	: Retinitis Pigmentosa	Retinitis Pigmentosa
RTS	: Request To Send	Gönderme isteği
SIG	: Special Interest Group	Özel İlgi Grubu
SIR	: Serial Infrared	Seri Kızılötesi
SMAC	: Sensor Medium Access Control	Algılayıcı Ortam Erişim Kontrolü
SN	: Sensor Network	Algılayıcı Ağı
SPIN	: Sensor Protocol For Information Via Negotiation	Görüşme Tabanlı Algılayıcı Protokolü
SWANS	: Scalable Wireless Ad-hoc Network Simulation	Ölçeklenebilir Kablosuz Ad-Hoc Ağ Benzetimi
SWAP	: Shared Wireless Application Protocol	Ortak Kablosuz Erişim Protokolü
TDD	: Time Divison Duplex	Zaman Bölmeli Çoklama
TDM	: Time Divison Multiplexing	Zaman bölmeli çokullaştırma
UFIR	: Ultra Fast Infrared	Ultra Hızlı Kızılötesi
UHF	: Ultra High Frequency	Ultra Yüksek Frekans
UMTS	: Universal Mobile Telephone System	Evrensel Mobil Telefon Sistemi
UWB	: Ultra Wide Band	Ultra Geniş Band
VFIR	: Very Fast Infrared	Çok Hızlı Kızılötesi
VFIR	: Very Fast Infrared	Çok Hızlı Kızılötesi
VHF	: Very High Frequency	Çok Yüksek Frekans
VLF	: Very Low Frequency	Çok Düşük Frekans
WAN	: Wide Area Network	Geniş Alan Ağı
WiBro	: Wireless Broadband	Kablosuz Geniş band
Wi-Fi	: Wireless Fidelity	Kablosuz Bağlılık
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave	Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk

Access

WLAN	:	Wireless Local Area Network	Kablosuz Yerel Alan A 1
WMAN	:	Wireless Metropolitan Area Network	Kablosuz Metropolitan Alan A 1
WPAN	:	Wireless Personal Area Network	Kablosuz Ki sel Alan A 1
WSN	:	Wireless Sensor Network	Kablosuz Sensör A 1
WWAN	:	Wireless Wide Area Network	Kablosuz Geni Alan A 1

ÖZET

DOKTORA TEZ

KABLOSUZ DUYARGA A LARDA AZAM VER GÜVENL N SA LAMAK Ç N M MAR TASARIM

Teknolojinin geli imi ile elektronik aygıtların kapasiteleri artmı ve beraberinde fiziksel boyutları küçülmü tür. Bu geli melerin paralelinde kablosuz algılayıcıların kullanımı yaygınla arak, birçok uygulama alanında faydalanılmaya ba lanmı tır. Bu alanlar genel olarak askeri uygulamalar, çevresel bilgilerin izlenmesi, sa lık, ev uygulamaları, endüstriyel uygulamalar ba lıkları altında toplanabilmektedir. Bu yaygın kullanım alanlarına ra men, dü ük i lem hızları, sınırlı enerji kapasiteleri, de i ken a topolojileri ve artan güvenlik ihtiyaçları kablosuz duyargaların kullanımında kar ıla ılan ba lıca sorunları olu turmaktadır.

Bu tez çalı masında kablosuz algılayıcı a ların güvenlik ihtiyaçları göz önüne alınarak, de i ken anahtarlı bir do rulama algoritması ile güvenli bir mimari geli tirilmi tir. Bu amaç ile Anahtar da ıtım mekanizması, dü üm tanımlama mekanizması, mesaj kimli inin do rulanması protokolü, do rulama mekanizması, duyarlılık mekanizması ve çoklu yönlendirme mekanizması geli tirilmi , geli tirilen mimarinin çalı abilirli i de i ik dü üm sayıları, algılayıcı yerle im biçimleri (ızgara, rastgele), farklı iletim ortamları (normal, ideal) ve pil ömürlerinde test edilmi tir. Alınan sonuçlara göre geli tirilen çalı manın ba arım ölçütleri verilmi tir.

ABSTRACT

PHD THESIS

DESIGN OF NOVEL ARCHITECTURE IN WIRELESS SENSOR NETWORKS IN ORDER TO GAIN OPTIMUM DATA SECURITY

As a result of technological development, while capacities of electronic devices increase, their physical dimensions get smaller. In parallel to these developments, the use of wireless sensor networks become more essential and they are started to be used in various areas. These areas can generally be summarized under the headings of military applications, monitoring of environmental information, health, domestic applications, and industrial applications. Despite these wide ranges of usage, main problems occur because of having low processing speed and limited energy capacities as well as variable network topologies and increasing security needs.

In this thesis, a novel architecture is developed with hash function algorithm by taking security needs of wireless sensor networks into consideration. Thus, key distribution mechanism, node identification mechanism, message identity validation protocol, validation mechanism, sensitivity mechanism and multiple routing mechanism are developed and designed architecture has been tested in terms of changing node quantity, deployment of node (grid and random), different transmission platforms (normal and ideal) and battery life. Performance criteria of the study is outlined according to the obtained results

1 G R

Haberleşme bir bilginin bir noktadan diğer bir noktaya iletilmesi olarak basitçe tanımlandığı göz önüne alınır ise, haberleşmenin insanlık için doğuşu ile başladığı kabul edilebilir. İnsanlık bilgiyi iletmek için değişik enstrümanlar kullanmıştır. Veri haberleşmesinin ise M.S. 300'lü yıllarda Yunanlıların holografiyi icadından sonra geliştiği söylenebilir (Hura & Singhal, 2001).

Haberleşme ihtiyacı arttıkça kullanılan kanallar, ihtiyaçları karşılayamaz hale gelmiştir. Artan ihtiyaçları karşılamak için daha fazla haberleşme kanalına sahip yüksek frekanslara çıkılmıştır. Ayrıca haberleşme kanalları arttıkça verinin güvenliğini konusu da önem kazanmıştır. Veri şifrelemek için ilk güvenlik kodunun 1605 yılında üretildiği söylenebilir (Hura & Singhal, 2001). İlk sayısal haberleşme aygıtı da 1831 yılında Joseph Henry tarafından üretilmiştir. İlk telefon 1854 yılında kullanılmış, ilk telgraf hattı ise 1861 yılında kurulmuştur (Hura & Singhal, 2001).

1870'lere kadar haberleşme bakır kablolar ile yapılırken, John Tyndall fiber optik haberleşmeyi önermiştir. 1873'te James Clerk Maxwell'in elektromanyetik dalga denklemlerini çözmesi ile kablosuz haberleşmenin ilk temelleri atılmıştır. İlk radyo haberleşmesi Maxwell'den 16 yıl sonra Guglielmo Marconi tarafından 1901 yılında İngiltere ve Amerika arasında gerçekleştirilmiştir (Hura & Singhal, 2001).

Bilinen anlamdaki ilk bilgisayarın geçmişi 1945 yılında ilk sayısal bilgisayar ENIAC'ın üretilmesi ile başlar. 1948 yılında transistörün ve 1959 yılında ilk entegre devrelerin üretilmesi ile sayısal bilgisayarın boyutları makul büyüklüklere indirilebilmiştir. Günümüzdeki bilgisayar boyutları ile tanımlanabilir hale gelmiştir (Hura & Singhal, 2001).

Bilgisayarlar arttıkça bilgisayarlar arası veri iletişimi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İlk mimarisi protokolü IBM tarafından 1972 yılında önerilmiş ve 1976 yılında halka açık ağlar için X25 protokolü geliştirilmiştir. 1978 yılında ethernetin icadı ile günümüz bilgisayar ağının temelleri atılmıştır (Hura & Singhal, 2001).

Teknolojideki gelişmeler ile hem bilgisayarların boyutu küçülmüş, hem de aradaki veri iletim hızı artmıştır. Bilgisayar ve bilgisayar ağları üzerinden ticarete sosyal hayatın vazgeçilmezi olması ve toplumu sanayi toplumundan bilgi toplumuna dönüştürmüştür.

Teknolojideki bu hızlı de i meler neticesinde boyutları çok küçük, bilgi i leme ve i ledi i bilgiyi iletebilme yeteneklerine sahip cihazların üretilmesi ile bu cihazları kullanarak fiziksel olayları gözleme imkanı sunacak bir yapı olu turma fikri ortaya atılmı tır. Algılayıcılar olarak da adlandırılan bu cihazlar günümüz bilgisayar dünyasının en hızlı geli en ve üzerinde en çok ara tırma yapılan konulardan biri halini almı tır.

Algılayıcılar günümüzde, askeri sa lık domestik ve endüstriyel uygulamalardan çevresel bilgilerin izlenmesine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Algılayıcılar üzerlerindeki donanımlar yardımı ile istenilen bilgi algılanabilmekte, i lemcileri sayesinde i lenebilmekte ve alıcı/verici üniteleri ile de önceden belirlenen merkezlere bilgiyi gönderilebilmektedir.

Algılayıcı a ların hareketli olması, her bir algılayıcının güvenli inin sa lanmasının mümkün olmaması nedeniyle bilginin güvenilirli inin sa lanması önemli bir problemdir.

Duyarga a larda kullanılan, duyarga dü ümleri de denilen sensörlerin, i lem kapasitesi oldukça dü ük oldu undan, çok karma ık algoritmaları yürütememektedir. Bu doktora çalı masında; kablosuz duyarga a larda azami a güvenli ini sa lamak için az i lem yükü içeren bir algoritma geli tirilmi tır. Geli tirilen algoritma simülasyon ortamında denenmi ve ba arım oranları ortaya konulmu tur.

Bu tez çalı ması altı bölümden olu maktadır. Tezin ilk bölümü giri bölümü olup bu bölümde tezin genel yakla ımları literatürdeki yeri, tezin amacı ve ileride ele alınan konuların neler oldu undan bahsedilmektedir.

İkinci bölümde, haberle me ve bilgisayar a ları kavramları üzerinde durularak sınıflandırmaları yapılmı tır. A ların genel yapısından bahsedilerek, kablosuz bilgisayar a ları konusu anlatılmı tır.

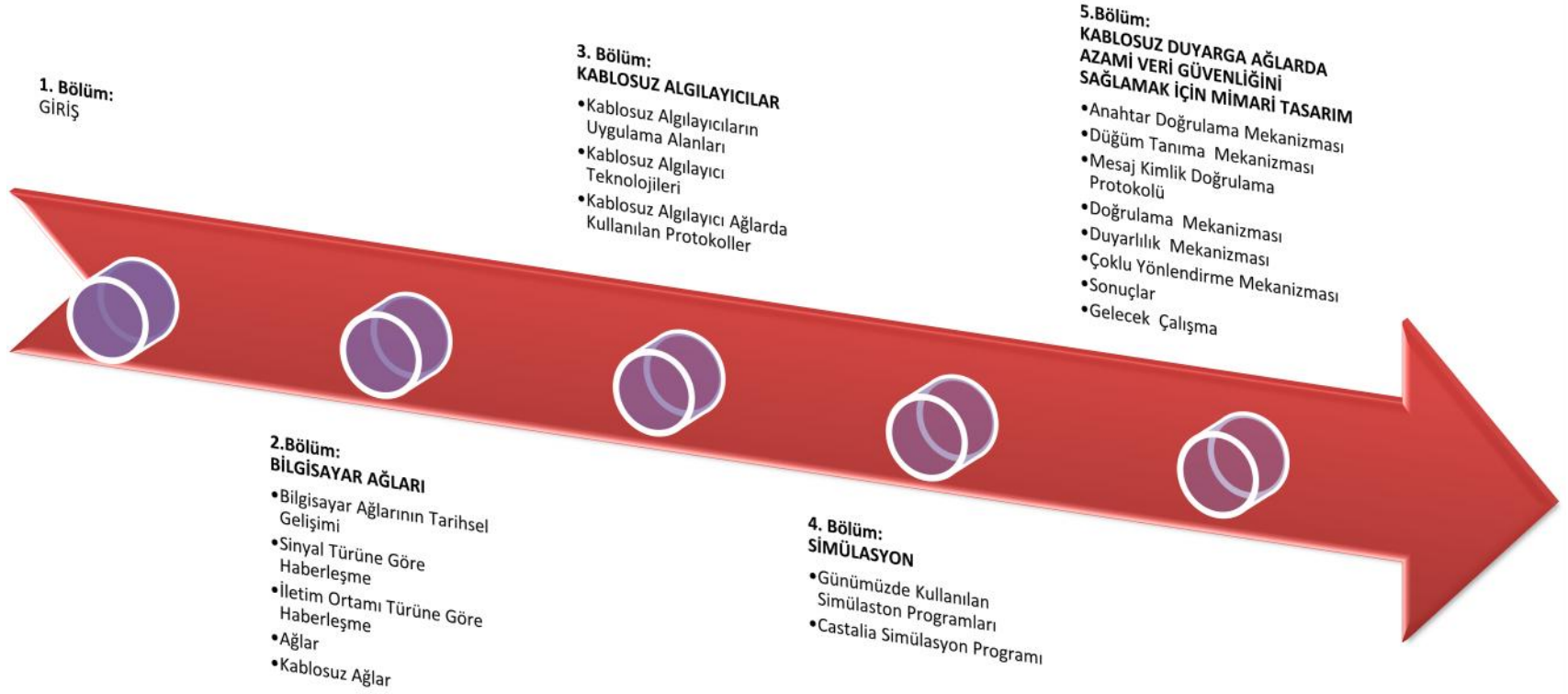
Üçüncü bölümde, kablosuz a ların genel yapısı, kablosuz algılayıcıların ba lıca uygulama alanları incelenmi ve kablosuz a donanımlarının temel yapıları anlatılmı tır. Ayrıca Kablosuz Algılayıcı A 'larda (KAA) kabul görmü , ortam eri im protokolleri, yönlendirme protokolleri okuyucuya aktarılmaya çalı ılmı tır.

Dördüncü bölümde, tasarım a masında fiziksel modüller yerine bu modüllerin bilgisayar ortamındaki simülasyonları kullanılmaktadır. Bu nedenle KAA tasarımında

kullanılan ba lıca simülasyon programları incelenmi olup, bu tez çalı ması için seçilen Castalia simülasyon ortamı detayları ile anlatılmı tır.

Be inci bölümünde ise bu tez çalı masının asıl amacı olan güvenli mimari için geli tirilen mekanizmalar ve protokoller olan anahtar dağıtım mekanizması, dü üm tanımlama mekanizması, mesaj kimli inin do rulanması protokolü, do rulama mekanizması, duyarlılık mekanizması ve çoklu yönlendirme mekanizması anlatılmı tır. Be ici bölümde devamla bu tez çalı masında gerçekleşen mimarinin ba arımı duyarlılı ın etkisine, iletim ortamının etkisine, enerjinin etkisine göre incelenip sonuçlar verilmı tır. Bölümün sonunda sonuçlar yorumlanarak gelecekte yapılması dü ünülen çalı malardan bahsedilmı tır.

Bu tez çalı masında ele alınan bölümler ve bölümlerdeki temel konu ba lıkları toplu olarak ekil 1.1'de verilmı tır. Böylece ana hatlarıyla, okuyuculara tez çalı masının genel bir bakı açısı sa lanmaya çalı ılmı tır.



ekil 1.1 : Tez bölümleri ve konu başlıkları

2 B LG SAYAR A LARI

2.1 Giri

Bu bölümde, bilgisayar a ları kavramları üzerinde durulacaktır. İlk olarak haberleşmenin temel ilkeleri anlatılacak ve daha sonra sınıflandırmalar ortaya konacaktır.

Haberleşme gibi geniş bir konuyu sınıflandırmak için haberleşmede kullanılan temel de ğerlerden yola çıkmak gerekir. Bu de ğerler iletilecek bilgiyi kodlamak için kullanılan taşıyıcı sinyal ve kodlanmış bilginin alıcı noktaya kadar iletilirken kullanılan iletim ortamıdır. İlk kısımda temel bileşenlerin karakteristilerine göre haberleşmenin sınıflandırılması yapılacaktır.

Bölümün ikinci kısmında ise bilgisayar a larına giri yapılacaktır. Bu kısımda iletim tipine göre a lar sınıflandırılacaktır.

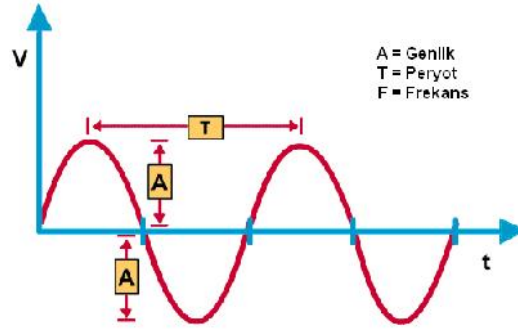
İkinci bölümün son kısmında tez konusunun ana iletim ortamı olan kablosuz a kavramı üzerinde durulacaktır.

2.2 Sinyal Türüne Göre Haberleşme

İki tür sinyal formu vardır. Bunlar Analog ve Sayısal sinyal formlarıdır. Bilgi sinyalinin anlık de ğerlerinin sürekli elektriksel sinyal olarak ifade edilmesine “**Analog Sinyal**” ve kod darbeleri veya de ğer de ğerimleri ekindeki (discrete) elektriksel sinyallere “**Sayısal (Dijital) Sinyal**” adı verilir. Kullanılan sinyal formuna göre haberleşme ikiye ayrılır:

2.2.1 Analog haberleşme

İletimde analog sinyallerin taşıyıcı olarak kullanılması ile yapılan haberleşmeye “**Analog Haberleşme**” adı verilir. Ekin 2.1 : Analog Sinyal 'de analog bir sinyalin dalga formu ile bu sinyale ait karakteristikler gösterilmiştir:



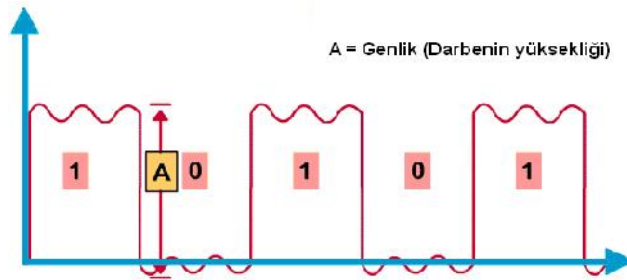
ekil 2.1 : Analog Sinyal (Çibuk, 2009)

Bilgi sinyalinin formuna göre yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalin karakteristiklerinden birinin veya birkaçının değiştirilmesine de modülasyon adı verilir. Analog haberleşme modülasyon türüne göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar,

- i. **Genlik Modülasyonu:** Bilgi sinyalinin formuna göre taşıyıcı sinyalin genliğinin değiştirilmesi ile olur.
- ii. **Frekans Modülasyonu:** Bilgi sinyalinin formuna göre taşıyıcı sinyalin frekansının değiştirilmesi ile olur.
- iii. **Faz Modülasyonu:** Bilgi sinyalinin formuna göre taşıyıcı sinyalin fazının değiştirilmesi ile olur.

2.2.2 Sayısal haberleşme

Sayısal sinyallerin taşıyıcı olarak kullanıldığı haberleşmeye “**Sayısal (Dijital) Haberleşme**” adı verilir. ekil 2.2’de iki durumlu (binary) bir sayısal sinyalin dalga formu gösterilmiştir. "1" ve "0" değerleri mantıksal değerler olup gerçekte belirli bir genlik değerini ifade eder.



ekil 2.2 : Sayısal (Dijital) Sinyal (Çibuk, 2009)

2.2.3 Analog haberle me ile sayısal haberle menin kar ıla tırılması

Sayısal haberle menin analog haberle meye göre bir takım avantajları vardır. Bunlardan bazıları u ekilde sıralanabilir [1], (Gunasekaran & Harmantzis, 2007), (Donahoo & Steckler, 2005);

- i. Yarı iletgen teknolojisinin maliyet avantajı ile çok dü ük maliyetli sayısal haberle me sistemlerin olu turulabilmesine olanak sa lamaktadır.
- ii. Analog sinyallerde sinyal kuvvetlendirmek aynı zamanda gürültülerin de ihmal edilemeyecek kadar kuvvetlenmesine yol açar. Dijital sinyallerde kuvvetlendirme ise yineleyici (repeater) istasyonlar sayesinde darbeleri yeniden üreterek yapılır. Böylece her yinelemeden sonra gürültüsüz sinyal yeniden olu ur.
- iii. Zaman bölmeli ço ullaama (TDM) i lemi sayesinde iletim kapasitesi verimli bir ekilde kullanılabilir.
- iv. Sayısal sinyallerin kodlanması ve ifrenlenmesi daha kolaydır. Bundan dolayı haberle menin güvenli i daha kolay sa lanır.

Yukarıda birkaçı sıralanan avantajlara ra men sayısal haberle menin dezavantajları da mevcuttur. Bunlar;

- i. Analog i retlerin sayısal olarak kodlanmı ekilerinin gönderimi analog i retlerin oldu u gibi gönderilmesine oranla daha fazla bant geni li i gerektirir.
- ii. Gönderilecek i ret analog ise, öncelikle i retin sayısal kodlara çevrilmesi gerekir. Alıcı ise i areti tekrar analog i arete dönü türmelidir.
- iii. Sayısal haberle mede, verici ile alıcının saat darbeleri (clock pulse) arasında duyarlıklı senkronizasyon olmalıdır.

Bu dezavantajlara ra men yukarıda belirtilen avantajları nedeni ile sayısal haberle me günümüzde büyük oranda analog haberle menin yerini almı tır.

2.3 İletim Ortamı Türüne Göre Haberle me

Haberle menin olabilmesi için bir kaynak, bir hedef ve bu ikisini birbirine ba layan ve verilerin iletilebilmesine olanak sa layan bir iletim ortamına ihtiyaç vardır. İletim ortamı kaynak ve hedefi fiziksel olarak birbirine ba layan bakır kablo, fiber optik kablo, dalga kılavuzu vs. olabilece i gibi, bilginin radyo dalgası gibi fiziksel ba lantı

ihtiyacı olmayan iletim ortamları için atmosfer ya da boşluk da olabilir. İletim ortamının karakteristik özellikleri haberleşmeyi ve haberleşme bant genişliğini direkt olarak etkileyen unsurlardan biridir. Genel olarak ortam türüne göre haberleşme konusu iki sınıfta incelenebilir:

2.3.1 Kablolü haberleşme

Kablo lu haberleşmede bakır kablo, fiber optik kablo ya da dalga klavuzu gibi iletim ortamlarını kullanılmaktadır. İletim elektromanyetik veya optik dalgalar ile bu ortamlar üzerinden gerçekleştirilir. Şekil 2.3'te yaygın olarak kullanılan iletim ortamları gösterilmiştir.



a) Koaksiyel Kablo



b) Fiber Optik Kablo

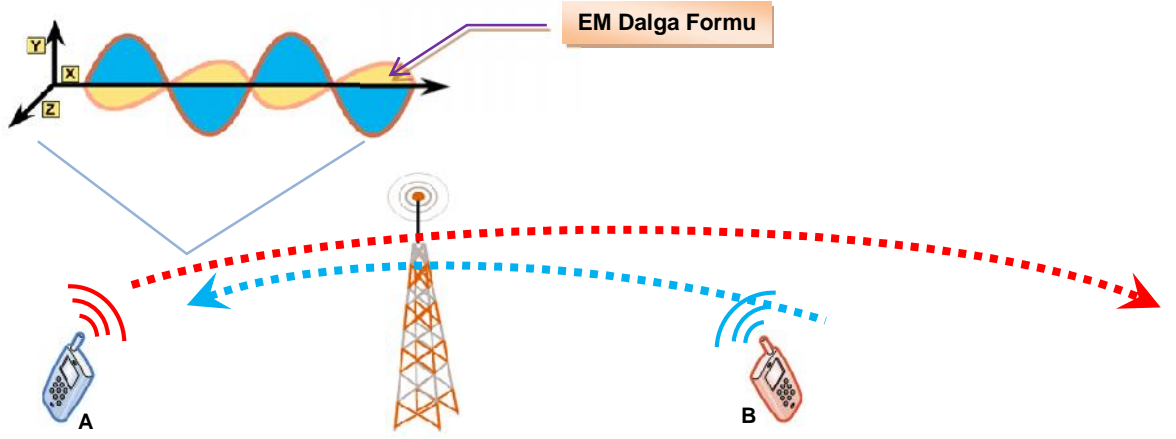


c) Dalga Yönlendirici

Şekil 2.3 : Kablolü iletim ortamı türleri

2.3.2 Kablosuz haberleşme

Kablosuz haberleşmede bilgi, hava ya da boşluk kullanılarak iletilir. İletim elektromanyetik dalgalar şeklindedir. Kablosuz iletim ortamı fiziksel olarak bir yere bağlı kalma zorunluluğunu ortadan kaldırır ve haberleşmeyi konum bağımsız hale getirir. Şekil 2.4'te kablosuz iletim modeli gösterilmiştir.



ekil 2.4 : Kablosuz ileti im ve elektromanyetik dalga formu

2.3.3 Kablolu haberle me ve kablosuz haberle menin kar ıla tırılması

- i. **Maliyet:** Birçok uygulamalarda kablolu haberle mek için kullanılacak kablo maliyeti kablosuz haberle me kurulum maliyetinden daha dü ük olacaktır.
- ii. **Operasyonellik:** A kurulumu için kablolu teknolojide, kablo dö enmesi için harcanması gereken uzun zaman ve maliyetli montaj i inin yapılması gerekirken, kablosuz teknolojide ise a ın kurulumu i lemi çok daha kısa sürede ve daha az hata oranı ile yapılabilmektedir.
- iii. **Hareketlilik:** Kurulu a ın fiziksel olarak yerinin de i tirilmesi durumunda kablolu teknolojide, daha önceden dö enen kablolar tekrar kullanılamamasına ra men, kablosuz teknolojide kullanılan cihazlar kolayca yeniden kullanılabilir.
- iv. **Geni leyebilirlik:** Kablolu teknolojilerde, a ı geni letebilmek için kablo dö enmesi ve ilgili cihazların kurulumu gerekirken, kablosuz teknolojilerde sadece ilgili alana kablosuz cihazlar yerle tirilerek gerekli ayarlamaların yapılması yeterlidir.
- v. **Geni uygulama kabiliyeti:** Belirli bir alanda kolay bir ekilde ileti im hizmeti verebilme, kamera ile çevrenin ve binaların izlenebilmesi, güvenlik ve yangın uyarıları gibi alanlarda kablolu teknolojilere göre, kablosuz teknolojiler ile yüksek kabiliyetlere ula ılabilir.

- vi. **Bant geni li i:** Kablololu haberle mede fiziksel bir ba lantı gerçekle tirildi inden aynı bandı tekrar tekrar kullanma imkanı vardır. Kablosuz haberle mede aynı bandın tekrar kullanılabilmesi için bazı ön artlar vardır. Bu nedenle kablosuz haberle mede bant geni li i kullanımı limitlidir.

2.4 A lar

Bilgisayar a ları kavramı, var olan kaynakların kullanıcılar tarafından beraber kullanılması, bilgiye ortak ula maları ve buna ba lı olarak da maliyet ve zaman tasarrufu sa lanılması gereksiniminden ortaya çıkmı tır.

“Bilgisayar A ı (Computer Network)”, iki ya da daha çok bilgisayarın birbirine, ileti im ortamını kullanarak ba lanması sonucu meydana gelen sistemdir. Bilgisayar A ı içindeki bilgisayarlar birbiriyle ileti im kurabilir ve veri alı -veri inde bulunabilirler (ibuk, 2009).

İlk bilgisayar a ı, Amerikan Savunma Bakanlı ı için 1969 yılında leri Ara tırma Projeleri Ajansı (Advanced Research Projects Agency - ARPA) tarafından geli tirilen Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET)’tir. Bu a ı 1972 yılında bir konferans aracılı ıyla kamuoyuna tanıtılmı tır. 1983’te ARPANET, askeri ve sivil iki a a ayrılmı ve ortaya çıkan di er ferdi a larla beraber bütünü ifade etmek için “Internet” ismi teklif edilmi ti [1]. Günümüzde en yaygın ve en iyi bilinen bilgisayar a ı Internet’tir.

Geli en ve büyüyen dünyada bilginin payla ımı ve bilgiye eri im gün geçtikçe önemli bir hale gelmektedir. Bu durum, bilgisayar a larını, hayatın her alanına girerek i lerin daha hızlı ve daha do ru yapılmasında kullanılan, en önemli araç haline getirmi tir.

Bilgisayar a ları hayatımızın her alanına girdi i için kullanım alanlarını sınırlandırmak mümkün olmakla birlikte, günümüzün vazgeçilmezi olan bilgisayar a larının kullanıldı ı alanlarında meydana getirdi i de i ikliklerin bazıları u ekilde sıralanabilir:

- Uzaktan e itimde kullanılması ile e itimin mekandan ba ımsız yapılabilmesini sa lamaktadır.

- Bankacılık sisteminde kullanımı, bankacılık i lemlerimizin anında gerçekle mesini sa ladı ı gibi banka ubelerine gitme zorunlulu unu da ortadan kaldırmaktadır.
- Sesli ve görüntülü ileti imde kullanılması ileti im maliyetlerini d örerek sosyal ileti imi daha kolay bir hale getirmektedir.
- Sosyal payla ım siteleri vasıtası ile insanların sosyo-kültürel de i imi üzerinde de etkilidir.

Kullanım alanları çok geni olan bilgisayar a larının ortaya çıkı nedenleri Bölüm 2.4.1'de açıklanmı tır.

2.4.1 Bilgisayar a larının ortaya çıkı nedenleri

Bilgisayar a ları veri depolama, i lem gücü vb. kaynakları payla mak gibi ihtiyaçlardan ortaya çıkmı tır. Örne in birçok birimin bir veri grubu üzerinde çalı ması gerekiyorsa ve bunu bilgisayar a ı kullanmadan yapıyorsa bu verilerin her bilgisayarda ayrı ayrı bulunması, hangi birimin hangi veriyi nasıl de i tirdi inin bilinmesi ve bunların tekrar birle tirilmesi gibi pratikte pek mümkün olmayan bir grup i lemin yapılması gerekir. Bu durum bilgiye istenildi i zaman eri ilmesini gle tirdi i gibi birçok hatalı veri ile kar ıla ı lmasına da neden olabilir. Aynı zamanda bu bilgilerin her birimde ayrı ayrı tutulması depolama kapasitesinin de gereksiz yere kullanılmasını sa lar. Aynı durum bilgisayar a ı kullanılarak yapılır ise, bilgi, merkezi bir yerde tutuldu u için bilginin en güncel ve en do ru haline hızlı bir ekilde ula mak mümkün olur. Veri tek yerde tutuldu u için depolama kapasitesinin de gereksiz yere kullanılmasının önüne geçilmi olur. A ların ileti im aracı olarak da kullanılabilmesi, farklı co rafik bölgeler ile elektronik ortamda, yazılı sesli ve görüntülü haberle me olanaklarını da sunmaktadır. Sonuç olarak bilgisayar a larına duyulan gereksinimleri u ekilde listelemek mümkündür. Bunlar;

- Verilerin payla ımı
- Elektronik haberle me
- evre birimlerinin payla ımı
- Uygulamaları ortak kullanmak
- Telemetri ve uzaktan kontrol

A larda bilgisayarlar arası veri iletiminin gerçekleştirilmesi için çeşitli iletişim protokolleri ve ağ cihazları kullanılır. Bu cihazlar ve protokollerle oluşturulan sisteme “A Mimarisi” ya da “A Topolojisi” denilir [2]. Bölüm 2.4.2’de ağ topolojileri ile ilgili bilgi verilmiştir.

2.4.2 Bilgisayar ağlarında yerleşim biçimleri (A Topolojileri)

Topoloji, bir ağın fiziksel ve mantıksal yapısını ifade eder. Ağ oluşturulan bileşenlerin birbirlerine bağlılıkları, kullanılacak aygıtlar, kablolu standartları, iletişim protokolünün seçimi ve bu protokollerin ağ yapısına uygulanabilirliği de yine topolojinin kapsamı içerisindedir [2]. Bu nedenle bir bilgisayar ağının tasarımı yapılacak zaman onun topolojisi belirlenir. Topoloji ile ilgili konular:

- Fiziksel görünüm
- Tasarım
- Diyagram
- Harita

eklinde sıralanabilir.

Bir bilgisayar ağının topolojisi, onun uygulanabilirliği ve çalışma biçimini etkileyen ana özelliğidir. Bu nedenle topolojiler belirlenirken ağdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Bilgisayar ağının gereksinim duyduğu aygıtların tipi
- Kullanılacak aygıtların yetenekleri
- Bilgisayar ağının büyümesi
- Bilgisayar ağının yönetilme biçimi

Bir bilgisayar ağı için topoloji biçimine karar vermek, bilgisayar ağını oluşturmak üzere atılan ilk adımdır. Kablolu, kurulu, iletişim ve yönetim büyük ölçüde seçilen yerleşim biçimine bağlıdır (Bahadır, 2001). Bilgisayarların iletişim ekli yerleşim biçimine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bundan dolayı bir ağ oluşturulmadan önce mevcut yapı dikkatlice incelenip, topoloji bu incelemeye göre seçilmelidir. Bir bilgisayar ağı tasarımı için şu temel yerleşim biçimleri vardır:

- Yol (Bus)
- Yıldız (Star)

- Halka (Ring)
- Örgü (Mesh)
- Hücresel (Cellular)

Bilgisayar ağları büyüklüklerine göre de ielik isimlerde adlandırılmaktadır. Bölüm 2.4.3'te bu sınıflandırmalar verilmiştir.

2.4.3 Büyüklüklerine göre ağlar

Ağlarda verilen sınıflandırmalar güncelleni yitirmesine rağmen teknik tanım olarak kullanılmı ndan verilmiştir. Örne in günümüzde kıtalararası LAN kurulabilirken, aynı ofiste WAN da kurmak mümkündür.

a) Kişisel alan ağları (Personal Area Networks-PAN)

Kişisel alan ağı, literatürde kişisel ileti im alanı (Personel Operating Space-POS) olarak tanımlanan 10 m. uzaklı a kadar olan alan içerisinde kurulan ağlardır. Küçük ofis gibi yerlerde az sayıda haberleşme birimini birbirine bağlar. Örne in IEEE 802.15.1 (Bluetooth) standardı kulaklık, yazıcı gibi çevre birimlerle haberleşmek için kullanılır. IEEE 802.15.3 (Ultra Wide Band-UWB) ise yüksek veri transferi yapabildi i için ev içerisinde Digital Video Disk (DVD) kalitesinde video paylaşımı gibi i ler için kullanılır [3].

b) Yerel alan ağları (Local Area Networks-LAN)

Yerel alan ağları, depo, tek bir ofis ya da kampüs gibi orta ölçekli co rafik alanlarda kullanım için optimize edilmiş bir standarttır. LAN istasyonları herhangi ara orta ölçekli switch kullanmaya gerek olmadan doğrudan birbirleri ile noktadan noktaya ya da noktadan çok noktaya ileti im kurar. LAN haberleşmesi birkaç milisaniye ya da daha küçük düşük haberleşme gecikmesine (delay) ve orta-yüksek veri transfer hızına sahiptir [4].

c) Metropolitan alan ağları (Metropolitan Area Networks-MAN)

MAN, LAN'a kıyasla, birkaç binadan bir şehrin tamamını kapsayacak ölçekte büyük co rafik alanlar için oluşturulan bir ağdır [4]. Ayrıca MAN, birbirinden uzak LAN'ların birleşmesi ile de oluşturulabilir.

d) Geni alan a ları (Wide Area Networks-WAN)

Geni alan a ları ülke ya da dünya çapında kullanılan çok geni bir co rafi alanı kapsayan a türüdür. Birçok MAN ve LAN birle iminden olu maktadır. WAN'a örnek olarak internet verilebilir.

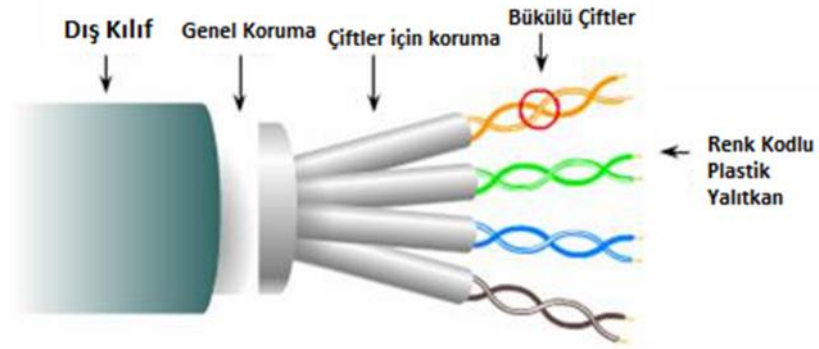
2.4.4 Ortam türüne göre a lar

Ortam türlerine göre kablolu a lar, (Wired Network) ve kablosuz a lar (Wireless Network) olarak ikiye ayrılabilir.

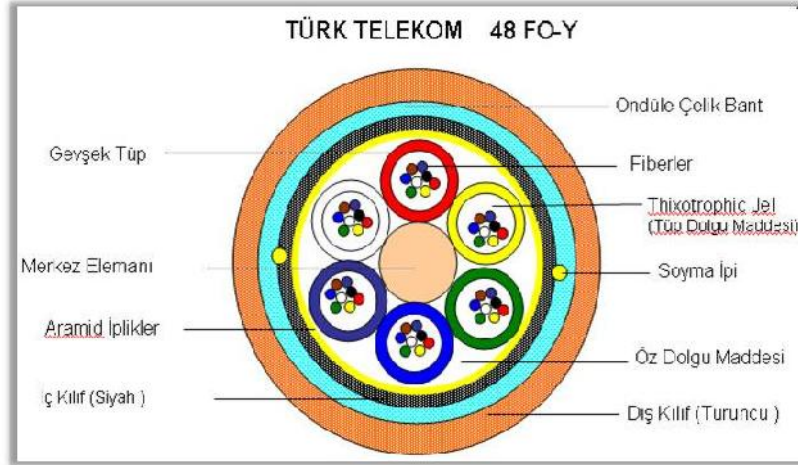
Prensipde bilgi a larında kullanılan ileti im teknikleri, kablolu ve kablosuz a lara uygulanabilir. Çünkü temel tasarım konuları iki sistem için de ortaktır (Pahlavan & Krishnamurthy, 2009).

a) Kablolu a lar

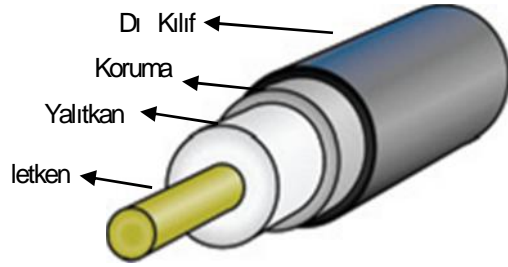
Kablolu a lar, ileti imi gerçekle tiren cihazların fiziksel olarak kablolarla birbirine ba lı oldu u a çe itidir. ekil 2.5'te kablolu ileti imde kullanılan ortam türlerinden bazıları gösterilmi tir.



a) Dolanımı Çift (Twisted Pair) Kablo



b) Fiber Optik Kablo



c) Koaksiyel Kablo

ekil 2.5: Kablolü İletim Ortam Türleri

Planlanan hıza ve fiziksel arılara göre kullanılacak kabloya karar verilir. Kısa mesafelerde ekonomik çözümler için bakır kablo kullanılır. Bakır kablolar elektriksel gürültülerden etkilenir. Bu nedenle uzun mesafelerde tercih edilmezler. Uzun mesafe haberleşme için elektriksel gürültülerden etkilenmeyen fiber optik kablolar tercih edilir. Fiber optik kablolar, bakır kablolarına göre daha pahalı fakat daha verimlidir (Smale, 1994).

b) Kablosuz a lar

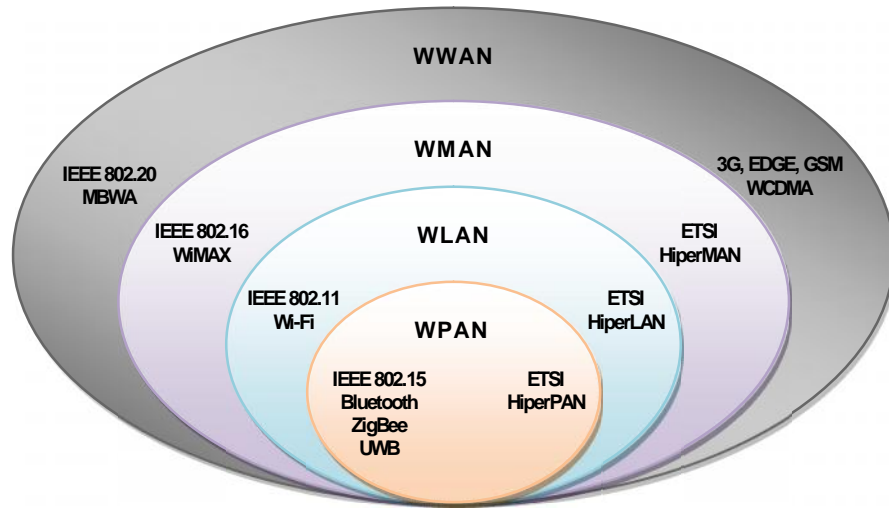
Kablosuz a lar sinyal iletim ortamı olarak havayı ya da bo lu u kullanarak haberleşme sa larlar. Kablosuz ileti m ihtiyacının artması bu alanda yapılan çalı maların da artmasına sebep olmu tur. Günümüzde, bilgisayarlar, fiziksel olarak bir yere ba lı olmadan ta nabilir büyüklükte cihazlar haline gelmi tir. Kullanımı yaygınla an akıllı telefonlar bile artık birer minyatür bilgisayar olma özelli ini

ta imaktadır. Bu nedenle bilginin de kablosuz olarak ta ınması ve hareketli kullanıcılara ulaşması için kablosuz a ların önemi her geçen gün artmaktadır. Bu tez çalışmasının konusu kablosuz algılayıcı a lar üzerine bir çalışma oldu u için, kablosuz a lar özellikle Bölüm 2.5'te ayrıntıları ile incelenmiştir.

2.5 Kablosuz A lar

2.5.1 Sınıflandırılması

Kablosuz a ları sınıflandırırken temel olarak kapsama alanına bakılabilir. Bu çerçevede kablosuz a ları tıpkı Bölüm 2.4.3'de anlatılan kablolu a larda oldu u gibi büyüklüklerine göre 4 sınıfta toplamak mümkündür. ekil 2.6'da büyüklüklerine göre kablosuz a lar ile her bir sınıfta kullanılan standartlar gösterilmiştir ve Tablo 2.1'de ise diğer karakteristikleri özetlenmiştir.



ekil 2.6 : Büyüklüklerine göre kablosuz a lar ve kullanılan standartlar (Çibuk, 2009)

Tablo 2.1 Kablosuz İletişim Teknolojileri (Öztürk, 2004)

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Standart	Bluetooth HomeRF	IEEE 802.11 HiperLAN	IEEE 802.16 HiperMAN	GSM, GPRS, CDMA ve 3G
Hız	< 1 Mbps	11-54 Mbps	11-100 Mbps	10-384 Kbps
Mesafe	Kısa	Orta	Orta - Uzun	Uzun
Uygulama	Cihazlar arası ba lantı/ Piconet	Cihazdan cihaza/ A kurulumu	Kablo yerine/ Son kullanıcı eri şimi	Mobil Telefon/ Mobil Veri

2.5.1.1 Kablosuz ki sel alan a ları (WPAN)

WPAN'lar POS içinde kullanılacak (PDA, cep telefonu veya dizüstü bilgisayarları gibi) elektronik cihazları kablosuz olarak kısa mesafede, birbirine ba layan ve kullanıcılara kablosuz ileti im kurma olana ı sa layan a lardır (Öztürk, 2004).

Bu sınıfı standartla mak için IEEE, WPAN için 802.15 çalı ma gurubunu kurmu tur. Bu çalı ma grubu basit, etkin ve az güç tüketen WPAN standartları geli tirmeyi amaçlamaktadır [5]. 802.15'in kısa mesafeler içinde de i ik amaç ve hızlarda haberle meler için farklı alt grupları bulunmaktadır. Bunlar:

- IEEE 802.15.1 (Bluetooth),
- IEEE 802.15.3 (UWB)
- IEEE 802.15.4 (ZigBee)
- IrDA (Kızılötesi)
- HomeRF gibi

gruplarıdır [5].

WPAN'ların bilinen en yaygın uygulamaları Bluetooth ve HomeRF'dir. Bluetooth kullanım amacı olarak daha çok ki sel cihazlar arası haberle meyi kablosuz gerçekte tirmek için tasarlanmı tır. HomeRF ise ev veya küçük i yerlerinde kablosuz a olu turmak üzere tasarlanmı tır. Her iki sistemde de veri ileti im hızını ve kalitesini artırmak ve yeni özellikler ilave edilmesine yönelik çalı malar devam etmektedir (Öztürk, 2004).

IEEE 802.15 (WPAN) çalı maları içinde IEEE 802.15 TG6 olarak bilinen grup, bir insan vücudu içine, üzerine veya çevresine yerle tirilen algılayıcı ve di er cihazların meydana getirdi i Body Area Network (BAN) için bir kablosuz a (WBAN) standardı geli tirme çalı malarını yürütmektedir [6].

2.5.1.2 Kablosuz yerel alan a ları (WLAN)

RF veya kızılötesi teknolojisi kullanılarak olu turulan yerel a lara kablosuz yerel alan a ları (Wireless Local Area Networks, WLAN) adı verilir. En kısa tanımıyla bir WLAN a ı aslında bir kablosuz LAN'dır. Bu nedenle kablolu LAN'ların tüm özelliklerine sahiptir

Dünyada yaygın olarak kullanılan WLAN standartları IEEE 802.11x (Amerika) ve HiperLAN (Avrupa)'dır. Bu standartlar haricinde Japonya'da geliştirilen MMAC (Multimedia Mobile Access Communication System) standardı da mevcuttur. Ancak MMAC 25/40/60GHz frekans bandında tanımlı olup; Avrupa standartlarından farklıdır [7].

WLAN'ların birçok uygulama alanı vardır. Örneğin kablolu zorlu ve çekilen kalabalık alanlar, uç sayısı belli olmayan geçici mekanlar, ya da mekan içerisinde hareketli kullanıcıların bulunduğu ortamlar sayılabilir. WLAN'lar altyapı (Infrastructure) ve Yer Arası (Ad-Hoc) olmak üzere iki farklı yöntemle çalışır. Altyapı yönteminde istemciler merkezi bir noktaya bağlanarak bir ağ oluştururlar. Merkezi nokta aracılığı ile istemciler, istenirse diğer ağ kaynaklarına da erişim sağlarlar. Yer arası (Ad-Hoc) yönteminde ise istemciler herhangi merkezi noktaya bağlanmak yerine kendi aralarında geçici bir ağ oluştururlar.

2.5.1.3 Kablosuz metropolitan alan ağları (WMAN)

Uydu veya RF iletimi ile oluşturulan MAN'lardır. Bu tür ağlar Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks- WMAN) olarak adlandırılmaktadır. WWAN'ları dağınık yapıya sahip ağları olan, üniversite kampüsleri, büyük şirketlerin ofisleri ve çok übeli kurumlar kullanılmaktadır. WMAN'lar kablolu ağlardan çok daha ucuz, esnek ve kolay kurulum özelliklerine sahiptir. Ancak, bu tür uygulamalar oldukça yenidir ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [3]. Bu alanda WiMAX adı altında uygulamalar yapılmaktadır. IEEE 802.16 standardı WMAN için geliştirilmektedir (Ramadin).

WMAN teknolojileri, kent içerisinde çok ekonomik oluşturulmasına olanak sağladığı gibi oluşturulmuş kablolu MAN'lar için alternatifi olan kablolu yedek hatlara nazaran çok daha ekonomik yedek kablosuz bağlantı sağlayabilmektedir.

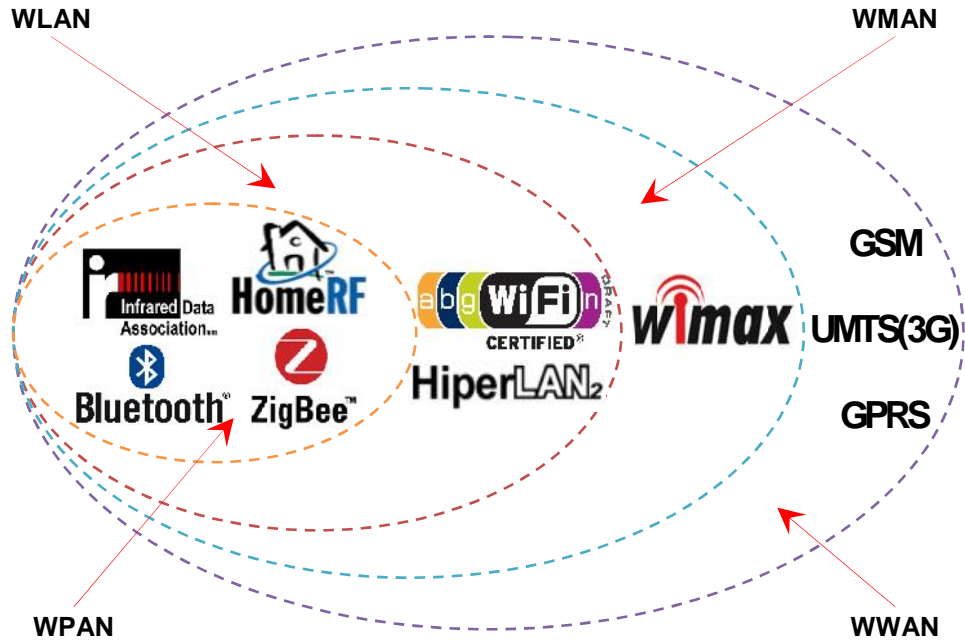
Kullanıcıların internete yüksek hızla erişmesini sağlayan geniş bant kablosuz erişim ağlarına talep gittikçe artmaktadır. MMDS (çok kanallı çok noktadan dağıtım hizmeti) ve LMDS (yerel çok noktadan dağıtım hizmetleri) gibi farklı teknolojiler kullanılsa da, geniş bant kablosuz erişim standartlarının IEEE 802.16 çalışma grubu, bu teknolojilerin geliştirilmesini standartlaştırmak için çalışmalarını sürdürmektedir (Ramadin), (Çibuk, 2009).

2.5.1.4 Kablosuz geni alan a ları (WWAN)

Uydu veya telsiz ileti mi kullanılarak olu turulan WWAN'lar Kablosuz Geni Alan A ları (Wireless Wide Area Networks- WWAN) olarak isimlendirilmektedir. Uzak yerle im birimleri ile ileti imin kuruldu u bu a larda çok sayıda bilgisayar bulunabilir [3]. WWAN teknolojileri, kullanıcıların, uzak ortak veya özel a lar üzerinden kablosuz ba lantı kurmalarına olanak tanır. Bu ba lantılar, kablosuz hizmet sa layıcılarının sundu u birden çok anten istasyonu ve uydu sistemi kullanımı aracılı ıyla, çok sayıda ehri ve ülkeyi içine alan geni co rafi bölgeleri kapsayabilir. WWAN uygulamalarına örnek olarak GSM, GPRS, CDMA ve 3G sistemleri sayılabilir. WWAN'larda trafik yükünün büyük kısmı ses ileti mi ile ilgilidir. Ancak son yıllarda yo un olarak veri ileti mi ve internet eri imi talepleri ile bu durum veri iletimi yönünde de i meye ba lamı tır (Çibuk, 2009).

2.5.2 Kablosuz a larda kullanılan teknolojiler

Kablosuz a teknolojilerinin kapsama alanları ve genel kullanım amaçları farklı oldu undan bu konuda birçok standart olu mu tur. ekil 2.7'de günümüzde kullanılan kablosuz a teknolojileri ile kapsama alanlarına göre kategorileri gösterilmi tir.



ekil 2.7 : Kablosuz A Teknolojileri (Çibuk, 2009)

Teknolojinin geli mesi ve mevcutların özellikleri gere i bazı teknolojiler birden fazla yer alabilir.

2.5.2.1 IrDA

Infrared Data Association (IrDA) kızılötesi ileti im teknolojisidir. 1993 yılında kızılötesi tabanlı ba lantılar ile 2 m.'den küçük mesafelerde kablo yerine kullanılmak için geli tirilmi tir. leti im kurulabilmesi için ilgili cihazların ba lantı uçları fiziksel olarak arada hiçbir engel olmadan birbirlerini görmelidir.

IrDA çe itli hızlarda veri alı veri ine izin verebilir. SIR (Serial Infrared) ile 9600bps, 19.2kbps, 38.4kbps, 57.6kbps ve 115.2kbps; MIR (Medium Infrared) ile 0.576Mbps ve 1.152Mbps; FIR (Fast Infrared) ile 4Mbps; VFIR (Very Fast Infrared) ile 16Mbps; UFIR (Ultra Fast Infrared ile 96Mbps; Giga-IR ile 512 Mbps ve 1 Gbps hızına çıkılabilmektedir [8].

2.5.2.2 HomeRF

HomeRF ve özellikleri ilk olarak Mart 1998'de kurulan Home Radio Frequency Working Group (HomeRF WG) isimli çalı ma grubu tarafından Ortak Kablosuz Eri im Protokolü (Shared Wireless Application Protocol-SWAP) adı altında duyurulmu tur. HomeRF evde bulunan akıllı ev cihazları, PC, kablosuz telefon gibi cihazlar arasında veri ileti imini kablolama masrafına gerek kalmadan kablosuz olarak sa lamaktadır [9]. HomeRF çalı ma grubunun kurulmasından sonra pek çok firma bu gruba katılmı ve üye sayısı 100 civarına ula mı tır. Kendi sektöründe lider konumda olan HP(Compaq), Intel, Motorola, National Semiconductor, Proxim ve Siemens firmalarının katılımıyla çalı malar sonuçlandırılarak SWAP 2.0 geli tirilmi tir. SWAP 2.0 ile ba langıçta 1.6Mbps olan veri ileti im hızı 10Mbps'e kadar çıkarılmı tır. Daha sonra HomeRF çalı ma gurubu 2003 yılında da ılmı tır. HomeRF 2.0 sürümünün genel teknik özellikleri

Tablo 2.2'de verilmi tir (Öztürk, 2004), [9].

Tablo 2.2 : HomeRF'in Genel Teknik Özellikleri

Frekans Aralı ı :	2402 - 2480 MHz
--------------------------	-----------------

Veri Oranı :	10 Mbps (v.2 için)
Mesafe :	~50 metre
RF atlama :	50 kez/s
TX Çıkı Gücü :	Azami 20 dBm (100 mW)

HomeRF 2.0 sistemlerinde FHSS modülasyon tekni i kullanılmaktadır. Bu teknikte veri kanalı bir frekanstan di erine saniyede 50 defa atlamaktadır. 2.4GHz ISM bandını kullanan HomeRF aynı frekans bandını kullanan WLAN sistemleri tarafından girişime maruz kalmaktadır. Ancak Bluetooth teknolojisinin HomeRF üzerinde bir girişim etkisi yoktur. Çünkü HomeRF, kullandığı FHSS tekni i saniyesinde birbirine girişim yapmayan 15 frekans kanalına sahiptir. Bu de er DSSS tekni i kullanan WLAN sistemleri için 3'tür. HomeRF sistemler 120 ağıta kadar bağlantıyı destekleyebilirler. Veriyi şifreli olarak iletebilirler. Bu sayede güvenlik artırılmaktadır (Öztürk, 2004), [9].

2.5.2.3 Bluetooth

Bluetooth küresel bir teknoloji olup, ilk olarak Ericsson Mobile firması tarafından 1994 yılında geliştirilmi ve daha sonra 1998 yılında kurulan "Bluetooth Special Interest Group (SIG)" konsorsiyumu çatısı altında geliştirilmesine devam edilmiştir. Teknik özellikleri ilk olarak Temmuz 1999'da açıklanmıştır. Daha sonra 2002 yılında Bluetooth v1.1 baz alınarak IEEE tarafından 802.15.1 olarak standartlaştırılmıştır. 2004 yılında Bluetooth kullanan cihaz sayısı 250 milyona ulaşmıştır ve aynı yıl ilk Bluetooth kulaklık piyasaya çıkmıştır. Günümüze kadar pek çok yenilikle kendisine bağlı üye sayısını ve kullanılan cihazları arttırmıştır. Bağlantıda Ericsson, Nokia, IBM ve Toshiba gibi şirketlerin oluşturduğu bu konsorsiyumunun şu an (2011 verilerine göre) 14.000'in üzerinde üyesi olan bu özelliğe sahip milyarlarca cihazda kullanılan bir konsorsiyum haline gelmiştir [10].

Bluetooth'un amacı; dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, modemler, LAN erişim noktaları, cep, ev ve işyeri telefonları gibi sayısal cihazların birbirleriyle kablo bağlantısı olmadan haberleşmelerine olanak sağlamaktır. Bluetooth'ta IrDa gibi cihazların birbirini direkt görme zorunluluğu yoktur. Bluetooth, kısa mesafede ve kişisel kullanım esas alınarak, düşük ücret, düşük güç ve düşük profilli bir teknolojidir.

HomeRF'in aksine Bluetooth kablo yerine kullanılacak noktadan noktaya bir ara yüz olarak dü ünülebilir (Öztürk, 2004).

Bluetooth, 2.4GHz ISM bandında çalı an RF tabanlı bir WPAN teknolojisidir. 2.402GHz'den ba layarak 2.480GHz'e kadar 1MHz atlayarak olu turulan 79 atlama frekansını kullanır. Dünyadaki tüm ülkelerin %95'i Bluetooth için bu frekans aralıklarını desteklemektedir. Modülasyon tekni i olarak FHSS kullanır. Full duplex olarak saniyedeki frekans atlama sayısı yakla ık 1600'dür. Veri iletimi için Basic Rate (BR) ve Enhanced Data Rate (EDR) olmak üzere iki farklı iletim modu kullanır. Varsayılan temel iletim modu Basic Rate olup bu modda maksimum 1Mbps veri iletimi yapılabilirken EDR modunda bu de er 3Mbps'e kadar çıkmaktadır [11,12]. EDR, Bluetooth teknolojisinde mimari yapıyı de i tirmeden veri iletim hızını arttıran bir yöntemdir. BR yönteminden farklı olarak Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) yerine Phase Shift Keying (PSK) kullanır [13]. Bluetooth teknolojisinde de i ik ihtiyaçları kar ılamak üzere güç ve mesafeleri farklı 3 ürün sınıfı tanımlanmıştır. Bunlar Class1, Class2 ve Class3 olarak adlandırılmaktadır. Bluetooth teknolojisinin genel özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir (Öztürk, 2004), [12].

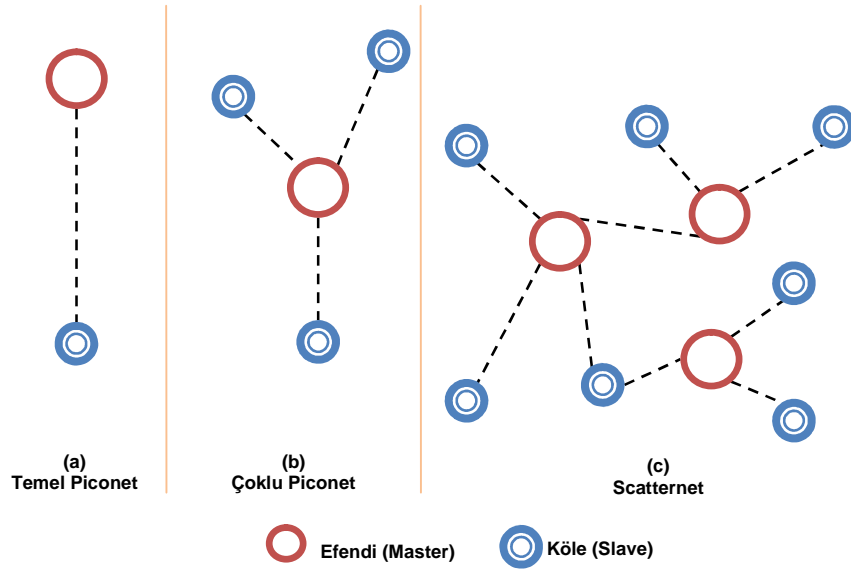
Tablo 2.3 : Bluetooth'un genel teknik özellikleri

	Class1	Class2	Class3
Frekans Aralığı :	2402 - 2480 MHz		
Veri Oranı :	1 Mbps (fiziksel) / EDR ile 3Mbps		
Kanal Band genişliği :	1 MHz		
Kanal sayısı :	79		
RF atlama :	1600 kez/s		
ifreleme :	Cihaz ID ve 0/40/64 bitlik anahtar uzunlukları		
TX Çıkışı Güç Seviyesi :	20 dBm (100mW)	4dBm (2.5mW)	0dBm (1mW)
İletim Mesafesi :	~100 metre	~10 metre	~1 metre

IEEE 802.11x gibi WLAN teknolojileri ve Bluetooth'un ortak yanı ISM bandını kullanmalarıdır. WLAN teknolojileri ve Bluetooth'un hedefledi i cihazlar ve fonksiyonlar birbirinden farklı oldu için iletim güçleri de farklıdır. WLAN orta güç ve orta iletim mesafeleri için uygunken Bluetooth gibi WPAN teknolojileri düşük güç, kısa iletim mesafeleri için uygundur. WLAN sistemleri 802.11n ile ~250 m. bir iletim mesafesine sahip iken Bluetooth'un mesafesi Class2 ile 10 m. Class1 ile en fazla 100 m.'ye kadar çıkabilmektedir [13]. Farklı güçlerde olmalarına rağmen haberleşme bandı olarak iki teknolojinin de ISM bandını kullanması giri im

(Interference) sorununa yol açmaktadır. Bu sorun 802.11x teknolojileri ve Bluetooth haberleşmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Eğer aynı frekans ve zaman aralıkları kullanılırsa her iki sistem arasında karışıklık girişimi olmaktadır. Dahası her iki sistemde de paket anahtarlama tekniği kullanıldığında girişim durumunda veri iletim hızı oldukça düşmekte ve hatta kesilebilmektedir. Ancak her iki sistemin yoğun hata kontrolü ve hata oluşması durumunda yeniden gönderme özelliğine sahip olması nedeniyle girişim durumunda veri kayıpları büyük oranda engellenmektedir. 802.11x teknolojileri en kötü durumda en düşük hız olan 1Mbps'e düşer, Bluetooth'un ise maksimum hızında %22 azalma olur. Bluetooth kullanan pek çok sistemde bu önemli olmayabilir. Ancak büyük hız düşmeleri bazı uygulamalar için çok önemli olabilir ve sistemin durmasına neden olabilir. Pazarlama açısından bakıldığında Bluetooth ve 802.11x teknolojileri ve hatta UMTS, birbirilerine rakip olmaktan ziyade büyük ölçüde birbirilerini tamamlamaktadır (Öztürk, 2004).

Bluetooth teknolojisinin bir diğer özelliği kullanıcıya kablosuz ağ bağlantısı veya internet erişimi sağlamaktır. Bluetooth cihazları 8 adede kadar birlikte "master-slave (efendi-köle)" durumunda bir ağ oluşturabilirler ki, buna "Piconet" (Piconet) adı verilir. Bir Piconet'te bir cihaz master konumunda iken diğer 7 cihaz slave konumundadır. Slave cihazlar master cihaza bağlanabilir ve böylece kablosuz ağ zinciri oluşturulur. Master cihaz ağı kontrol eder. Piconet'deki tüm cihazlar aynı frekans kanalını ve aynı frekans atlama sırasını kullanırlar. Kapsama alanı genişletmek amacıyla Piconet'ler birbirine bağlanarak "Scatternet"ler oluşturulabilir. Bu durumda her Piconet farklı bir atlama kanalı kullanır. Bluetooth sistemi cihazdan cihaza çalıştırma modeline ve sabit erişim noktalı ağ yapısına imkan vermesiyle birlikte en popüler kullanımı aynı fiziksel ortamdaki mobil cihazları birbirine bağlanmasıdır. Farklı kullanıcı sayılarına sahip Piconet ve Scatternet yapıları Şekil 2.8'de verilmiştir.



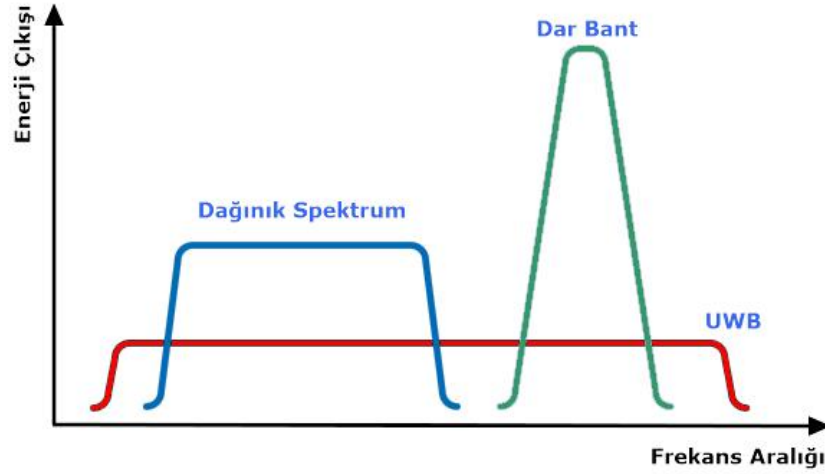
ekil 2.8 : Piconet ve Scatternet Oluşumu

WLAN sistemlerinde olduğu gibi Bluetooth teknolojisi de kullanıcıya birçok imkan sunarken birtakım dezavantajlara da sahiptir. Yukarıda belirtildiği gibi mesafesi WLAN cihazlarına göre oldukça düşüktür. Bu açıdan Bluetooth'un WLAN teknolojilerine bir tehdit unsuru olarak görülmesi doğrudur. Güvenlik açısından bakıldığında, gizliliğin korunması ve garanti edilmişinin ispatlanması gibi temel konularda güvenliliği tam olarak söylenmemiştir. Bu nedenle kullanıcı güvenini kazanmak için gizliliğin garanti edilmesi gerekmektedir (Çibuk, 2009).

2.5.2.4 UWB (Ultra Wide Band)

UWB teknolojisi, özellikle ev aletlerinde, geniş band veri iletişimi için video kamera, televizyon ve bilgisayar gibi aygıtlar arasında yoğun verilerin (hareketli görüntülerin ve seslerin) kablosuz olarak iletilmesi amacıyla geliştirilmiştir (Yılmaz & Öztürk, 2007).

UWB, çok yüksek hızlı bir WPAN teknolojisidir. 3.1GHz ile 10.6GHz arasındaki (7.5GHz'lik) bir band genişliğini, kısa mesafede düşük güç ile kullanılır. Kanal kapasitesi bakımından IEEE 802.11x ve Bluetooth gibi diğer kısa mesafe kablosuz teknolojilerden daha üstün performans göstermektedir. ekil 2.9'da UWB frekans aralığının DarBand ve Dağınık Spektrum sinyallerine göre karşılaştırılması gösterilmektedir.



ekil 2.9 : DS, DB ve UWB sinyallerinin karşılaştırılması (Çibuk, 2009)

ekil 2.9'dan da görüleceği üzere UWB sinyalinin düşük güç seviyelerinde olduğu görülür. Bu özelliği sayesinde mevcut dar band sinyallerine girişim söz konusu olmaz. Diğer sinyallere göre daha düşük güç harcarken buna karşın çok geniş bir frekans aralığını kullanır. UWB, IEEE 802.15.3a standardını temel alır. Oluşturulan standartta 10 m. mesafede 110Mbps veri iletim hızına, 4 m. mesafede ise 200Mbps veri iletim hızına çıkmaktadır (Molisch, Foerster, & Pendergrass, 2003). IEEE 802.15.3a çalışmaya girmeye başladığından beri maliyetlerin yüksek çıkması, performans beklentilerinin umulandan düşük olması gibi sebeplerden dolayı 2006 yılında bu standardı geri çekmiştir [14].

ki farklı UWB tekniği mevcuttur. Bunlardan ilki DS-UWB, diğeri ise OFDM tekniğidir. UWB tamamen sayısal bir haberleşme sistemi olduğu için Darbe Konum Modülasyonu (PPM), Darbe Genlik Modülasyonu (PAM) ve OOK (On/Off Keying) gibi temel band sayısal modülasyon teknikleri kullanır (Yılmaz & Öztürk, 2007).

2.5.2.5 ZigBee

Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerinin bazı uygulama alanlarında yetersiz kaldığını gören üreticiler ilk olarak 1998 yılında (ZigBee tarzı) kendi kendine organize olabilen ad-hoc kablosuz ağları dile getirmişler, daha sonra IEEE tarafından bu istekler 802.15.4 olarak Mayıs 2003'te standartlaştırılmıştır. ZigBee'nin ilk teknik detayları ZigBee Alliance tarafından Aralık 2004'te onaylanmış ve Haziran 2005'te versiyon 1.0 (ZigBee 2004 olarak) kullanıma sunulmuştur. Versiyon 1.0'a göre daha gelişmiş olan ZigBee

Eylül 2006 tarihinde yayınlanmıştır. Son olarak Eylül 2007’de ZigBee PRO adıyla bilinen en son halini almıştır [15].

ZigBee’nin amacı özellikle sık kullanılmayan ama uzaktan kullanımı da gerekebilecek cihaz ya da sensörlere düşük güçlü, düşük maliyetli ve güvenilir bir kablosuz iletişim protokolü sunmaktır. Bu konudaki rakibi gibi görünmesine rağmen Bluetooth’tan farklı pazarlara hitap eder. ZigBee’nin Bluetooth’tan farkı daha az enerji harcaması ve büyük olasılıkla tekrar şarj edilmeyecek piller ile kullanılacak olmasıdır. Bir diğer deyişle ZigBee, yıllarca bilgi gönderebilecek, ama çok yavaş gecikme zamanlı ve genelde uykuda olan kablosuz sensör gibi cihazlar için olup, sık kullanılan cihazlar için uygun değildir [15].

Bir WPAN teknolojisi olan ZigBee, 2.4GHz ISM bandını kullanır. Buna ek olarak, Amerika kıtasında 915MHz ve Avrupa’da 868MHz’de de kullanılabilir. 2.4GHz bandında 10 kanal ile 250kbps, 915MHz frekansında 6 kanal ile 40kbps ve 868MHz frekansında 1 kanal ile 20kbps hızlarına erişilebilmektedir. İletim mesafesi iletim gücü ve çevre etkilerine bağlı olarak 10 ile 75m arasında değişmektedir [15].

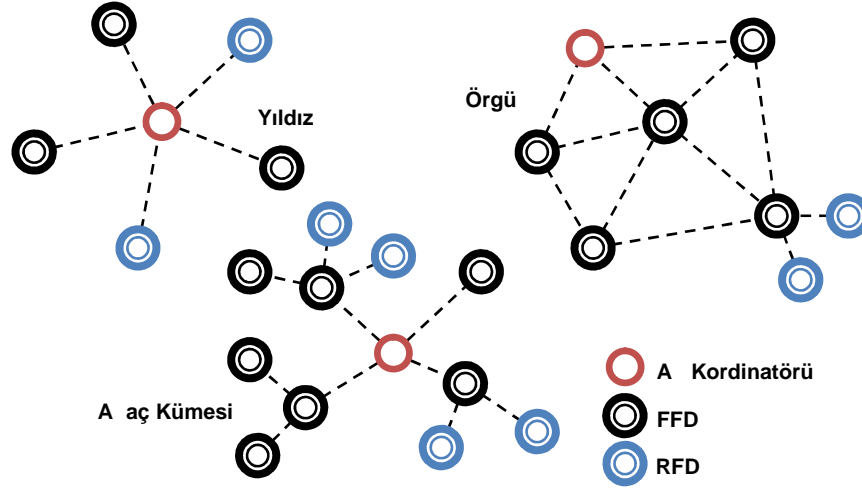
İletilen verinin akışına bağlı olarak ZigBee cihazları gerektiğinde uyku moduna geçerek enerji tasarrufu sağlayabilirler. Bu sayede saatler süren uyku devreleriyle birlikte bataryanın kullanım süresi aylarca (2 yıldan fazla) sürebilmektedir [16]. Bu özelliği ile ZigBee izleme ve kontrol amaçlı kablosuz sensör ağlarda çok önemli bir konuma gelmektedir. Tablo 2.4’te bu teknolojinin temel özellikleri ve diğer teknolojiler ile karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 2.4 : ZigBee Teknolojisinin Karşılaştırmalı Özellikleri

Özellik	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	GPRS/GSM
Odaklanma Alanı	izleme ve Kontrol	Kablo Yerine	Web, E-mail, Video	Geniş alan ses ve veri
Sistem Kaynağı	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +	16 Mb +
Pil Ömrü (Gün)	100-1000 +	1-7	0,5-5	1-7
Adres Boyutu (Uç)	2 ⁶⁴	7	32	1000
Açık Veri Genişliği (kbps)	100-1000 +	720	11000-54000	64-128 +
Kapsama Alanı (m)	1-75	1-10 +	1-100	1000 +
Değerlendirme Alanları	Dayanıklılık, Maliyet, Düşük Güç tüketimi	Maliyet, Rahatlık	Hız, Esneklik	Ulaşılabilirlik, Kalite

ZigBee ağlarda, Yıldız (Star), Örgü (Mesh) ve Küme Ağ (Cluster Tree) olmak üzere 3 farklı topoloji söz konusudur. Daha az güç tüketimini sağlamak ve bu sayede

batarya ömrünü uzatmak için yıldız topoloji uygunken etkin iletişim ve kesintisiz veri iletimi için örgü topoloji daha kullanılandır. Küme aç topolojisi ise ilk iki topolojinin bir kombinasyonu niteliinde olup etkin iletişim ve verimli güç kullanımı amaçlar [16].
ekil 2.10'da ZigBee teknolojisinde kullanılan a topolojileri gösterilmektedir.



ekil 2.10 : ZigBee A Topolojileri

ZigBee cihazlarını “kullanım amaçları” ve “i levsellik” bakımından gruplandırmak da mümkündür. Bunlar;

- **Kullanım Amacı (Mantıksal) Bakımından;** Koordinatör, Yönlendirici ve Uç Noktası olmak üzere üçe ayrılır.
- **levsellik (Fiziksel) Bakımından;** Tam Fonksiyonlu Cihaz (Full Functional Device - FFD) ve Azaltılmış Fonksiyonlu Cihaz (Reduced Functional Device - RFD) olarak ikiye ayrılır.

eklinde sayılabilir [16].

Kullanım amaçları açısından bakıldığında, Koordinatör, a n olu turulması ve yönetilmesinden sorumludur. A a dahil olan tüm dü ümler hakkındaki bilgileri saklar. Yönlendirici ise dü ümler arası haberleşme ve verilerin yönlendirilmesinden sorumludur. Koordinatör ve Yönlendirici, güç gereksinimini daha çok ebeke enerjisinden karşılar. Uç noktası ise daha çok batarya üzerinden güç ihtiyacını karşılar ve gerektiğinde batarya ömrünü uzatmak için uyku moduna geçerek enerji tasarrufu sağlar. Uç noktaları daha çok bilgi toplayan ve bunları yönlendirici üzerinden başka noktalara ileten cihazlardır [15-17].

levsel açıdan bakıldığında, FFD cihazlar herhangi bir topolojide (koordinatör veya düğüm gibi) herhangi bir rol üstlenebilirler. Diğer FFD ve RFD cihazlar ile konuşabilirler ve genelde çekimden besleme alırlar. RFD cihazlar ise A Koordinatörü olamazlar ve sadece FFD'ler ile konuşabilirler. Çok basit yapıdadırlar ve genellikle batarya beslemesi kullanırlar. Bir ağ içerisinde daha çok düğüm görevi görürler [16].

ZigBee teknolojisinin kullanım alanı çok fazladır. Bunlar akıllı ev aygıtlarından, arabaların çeşitli parçalarına kadar bir çok yer olabilir [16,17].

2.5.2.6 Wi-Fi (IEEE 802.11x)

Kelime anlamı olarak Wi-Fi, "Wireless Fidelity"nin kısaltması olup "Kablosuz Bağlılık" veya "Kablosuz Bağlantı" anlamına gelir. Kablosuz bağlantılar için bir uyumluluk göstergesidir.

Wi-Fi, WLAN uygulamalarında en çok kullanılan ve bugünkü popülerliğini kazandıran IEEE'nin 802.11 standartlarına dayanır. Bu standart IEEE tarafından ilk olarak Haziran 1997'de yayımlanmıştır [18]. Elde edilen başarı sonrasında IEEE tarafından WLAN uygulamaları için 802.11x adı altında bir dizi standart daha yayımlanmıştır. 802.11a, 802.11b, 802.11g standartları bunlar arasındadır. Son olarak 2003 yılında IEEE tarafından yeni ve daha etkin bir standart üzerinde çalışmalarına başlanmıştır ve standardın geliştirilmesi için 802.11TGn Görev Grubu kurulmuştur. Bu grup 802.11n adıyla bilinen standart için görev grubu çalışmalarını 29 Ekim 2009'da tamamlamıştır [19].

IEEE 802.11 temel standardı ile 2.4GHz bandında FHSS veya DSSS teknikleri kullanılarak 2Mbps'e kadar veri iletimini sağlayabilmektedir. 802.11 standardının esas amacı mevcut kablolu LAN'ların, kablosuz olarak genişlemesine olanak tanımak ve sabit sistemlerle mobil sistemleri bir çatı altında toplamaktır [18]. 2.4GHz bandında çalıştırılan ve 11Mbps veri iletim hızına sahip olan IEEE 802.11b ve aynı frekans bandında 54Mbps hızına sahip olan 802.11g Türkiye dahil dünyanın bir çok yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2004).

Günümüzde MIMO tekniğini kullanarak 4 antene kadar destekleyen (kanal bant genişliği 150 Mbps) ve yüksek performans ihtiyacına cevap verebilen 802.11n standardını destekleyen cihazlar daha çok tercih görmektedir.

Tablo 2.5'te geli tirme çalı maları tamamlanmı ve ürünleri piyasada bulunan IEEE 802.11x standartları genel teknik özellikleri verilmi tir.

Tablo 2.5 : IEEE 802.11 a/b/g/n standartları ve genel özellikleri[18, 19], (ztrk, 2004)

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
ıkı Tarihi	1997	1999	1999	2003	2009
Max. Veri Hızı	2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Modülasyon	FHSS, DSSS	OFDM	DSSS, CCK	DSSS, CCK	DSSS, CCK OFDM
Frekans Bandı	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz, 5 GHz
Uzaysal Saçınım	1	1	1	1	1, 2, 3, 4
Kanal Geni li i	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 ve 40 MHz
Kanal Sayısı		19	11,13,14	11,13,14	11,13,14,19
Menzil	~20 -100m	~35 -120m	~38 -140m	~38 -140m	~70 -250m
Güvenlik	WEP, WPA	WEP, WPA	WEP, WPA	WEP, WPA	WEP, WPA

IEEE 802.11n kablosuz a teknolojisini çekici kılan yönler; geriye dönük uyumlu olması, daha yüksek veri iletim hızlarına ve uzak mesafelere eri im imkânı vermesi ile daha yüksek güvenilirlik sa lamasıdır. u an piyasada bulunan taslak cihazlar, 300Mbps'e kadar veri iletim hızlarına çıkabilmektedirler. Bu de er 802.11a/g a larda 54Mbps, 802.11b a larda 11Mbps'dir. 802.11b ve g teknolojileri sadece 2.4GHz frekans bandını, 802.11a teknolojisi sadece 5GHz frekans bandını kullanabiliyorken, 802.11n, 2.4GHz ve 5GHz bandlarının her ikisini de aynı anda kullanabilmektedir [20,21], (ztrk, 2004). 802.11n, yukarıdaki bu özellikleri sa lamak için halefi oldu u standartlara göre (MIMO, Channel Bonding ve Packet Aggregation gibi) bir takım yeni teknikler kullanır [20]. Tablo 2.6'da IEEE 802.11x standartlarının tamamı ile bu standartların genel i levleri ayrıntıları ile verilmi tir.

Tablo 2.6 : IEEE 802.11x standartları ve genel i levleri [18]

IEEE 802.11	Bu standart 1997'de orijinal olarak 1Mbps ve 2 Mbps olarak 2.4GHz hızını destekler. 802.11F ve 802.11T dı ında a a ıda listelen tüm varyasyonlar bu standartta yapılan de i ikliklerdir.
IEEE 802.11a	54 Mbit/s, 5 GHz standard (1999' da çıktı ve ilk ürünlerin satı ı 2001'de oldu)
IEEE 802.11b	802.11'in 5.5 ve 11 Mbps deste i için geni letilmi hali (1999)
IEEE 802.11c	IEEE 802.1D standardını içeren köprüleme i lemleri (2001)
IEEE 802.11d	Uluslararası (lkeden-ülkeye) dola ım geni letmesi (2001)
IEEE 802.11e	Paket patlamasını da içeren QoS geni letmesi (2005)
IEEE 802.11f	Inter-Access Point Protokolü (2003) ubat 2006'da geri çekildi.
IEEE 802.11g	54 Mbit/s, 2.4 GHz standard (backwards compatible with b) (2003)
IEEE 802.11h	Spectrum Managed 802.11a (5 GHz) for European compatibility (2004)
IEEE 802.11i	Arttırılmı güvenlik (2004)
IEEE 802.11j	Japonya için geni letme (2004)
IEEE 802.11-	Standartın yeni sürümü a, b, d, e, g, h, i & j'deki de i iklikleri içerir (Temmuz 2007)

2007	
IEEE 802.11k	Radyo kaynak ölme geni letmesi (2008)
IEEE 802.11l	(Reserve edilmi ve kullanılmayacak)
IEEE 802.11m	802.11-2007'den buyana Standard üzerine bakım (devam ediyor)
IEEE 802.11n	MIMO kullanımıyla yüksek performans (Kasım 2009)
IEEE 802.11o	(Reserve edilmi ve kullanılmayacak)
IEEE 802.11p	Ambulans ve yolcu arabaları gibi araçlar için kablosuz eri im (çalışmalar devam ediyor - 2009?)
IEEE 802.11q	(802.1Q VLAN tagging ile karı tırılabilir diye reserve edilmi ve kullanılmayacak)
IEEE 802.11r	Hızlı dola im çalışması "Görev Grubu r" - (2008)
IEEE 802.11s	Mesh Networking, Geni letilmi Servis Seti (ESS) (üzerinde çalışmalar devam ediyor - 2010?)
IEEE 802.11T	Kablosuz Performans Tahmini (WPP) için test yöntemleri ve ölçütleri tavsiyesi (2008)
IEEE 802.11u	Hücresel ağlar gibi 802 olmayan ağlarla çalışabilme (teklif de erlendirme Mart 2010)
IEEE 802.11v	Kablosuz ağ yönetimi (ön öneri a masında - Eylül 2010?)
IEEE 802.11w	Korumalı yönetim çerçeveleri (ön öneri a masında - Eylül 2009?)
IEEE 802.11x	(802.1x Network Access Control ile karı tırılabilir diye reserve edilmi ve kullanılmayacak) Genelde 802.11 ailesi için kullanılır
IEEE 802.11y	ABD'de 3650-3700 MHz çalışma için (2008)
IEEE 802.11z	Do rudan bağlantı kurma (DLS) için geni letmeler (A ustos 2007 - Aralık 2011)
IEEE 802.11aa	Ses video aktarımları için sağlam bir akı mekanizması (Mart 2008 - Mayıs 2011)
IEEE 802.11ac	Çok yüksek iletim performansı <6GHz (Eylül 2008 - Aralık 2012)
IEEE 802.11ad	A ırı yüksek iletim performansı 60GHz (Aralık 2008 - Aralık 2012)

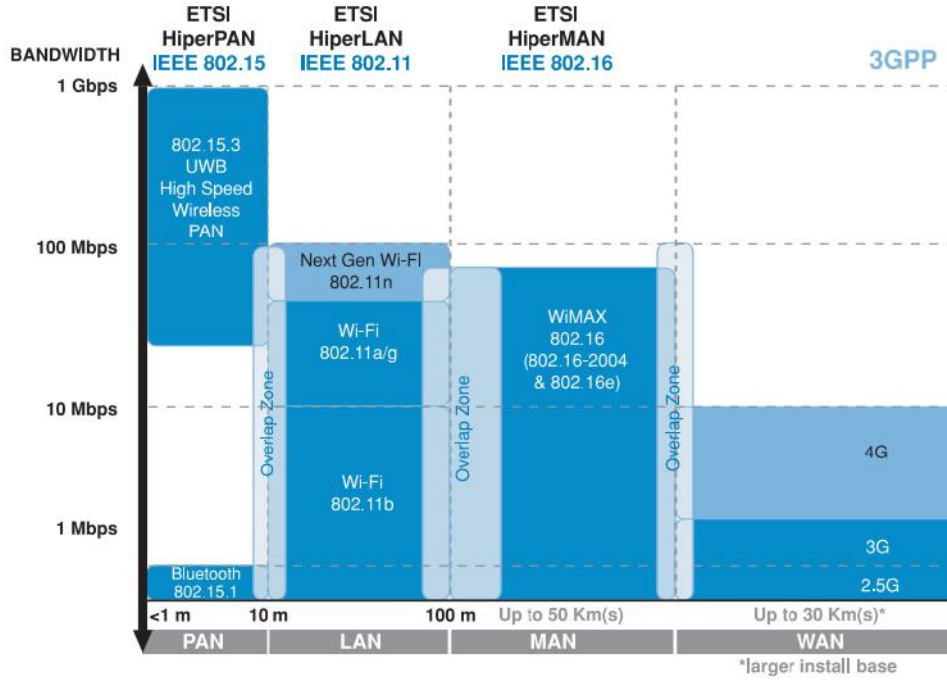
2.5.2.7 HiperLAN

HiperLAN (High Performance Radio LAN), 1996 yılında yüksek hıza sahip bir WLAN standardı olarak Avrupa ülkelerinde geliştirilmiştir. Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) tarafından tanımlanmış olup HiperLAN₁ ve HiperLAN₂ olmak üzere iki tipi vardır. Her iki tipte de OFDM tekniği kullanılmaktadır. HiperLAN'lar, 802.11 standartları ile benzer özellik ve kapasiteye sahiptir [22,23].

HiperLAN₁ 5GHz frekans bandında 20 Mbps veri iletim hızı sağlamaktadır. HiperLAN₂ ise aynı frekans bandını kullanarak 54Mbps veri iletim hızlarına ulaşabilmektedir [22,24]. HiperLAN₂'nin PHY katmanı 802.11a ile aynıdır ve iki grup ortak çalışma yürütmektedirler.

HiperLAN'lar ATM teknolojisi esaslı olup özellikle HiperLAN₂ a larında AP'lerden uç sistemlere bağlantıya yönelik bir yaklaşım vardır. Bu yapı hizmet kalitesi kriterlerinin (QoS) sağlanmasına olanak vermektedir. Böylece, 802.11 uygulamalarının aksine ses ve görüntü aktarımı için gerekli iletim türü desteklenebilmektedir. Diğer bir deyişle 802.11 teknolojisinden daha iyi servis kalitesine sahiptir (Johnsson, 1999). Tablo 2.7'de HiperLAN₂ ile 802.11a standardı karşılaştırılarak verilmiştir.

WiMAX teknolojisi, sabit istasyonlar için yaklaşık 50 km., mobil istasyonlar için yaklaşık 15 km. çapında bir alanda etkili ve 70Mbps hızında kablosuz erişimi sağlar. WiMAX, girişimlerden kaçınan bir protokol yapısı (CSMA/CA) kullanır (Dhawan, 2007). Ekil 2.11’de mesafe ve bant genişliğine göre WiMAX’ın diğer teknolojilere göre konumlandırılması gösterilmektedir.



Ekil 2.11 : Mesafe ve Bant Genişliğine göre Kablosuz Ağlar ve Standartları [3]

WiMAX, farklı alanlarda kullanım için kendi içinde de iki alt standartlar içermektedir. Bunlardan ilki büyük antenler vasıtasıyla sabit bilgisayarlarda kablosuz erişimi imkânı sağlayan 802.16a standardıdır. Özellikle kablolu teknolojilerin ula madı ı noktalar için ideal olan bu standart, IEEE tarafından revize edilip 802.16-2004 olarak yeniden yayınlanmıştır. Bu standart kapalı alanlarda 300Mbps hızına çıkmayı hedeflemektedir (Minoli, 2003).

Bir başka alt standart olan 802.16e aynı zamanda “Mobil WiMAX” olarak da adlandırılır. Bu standart, arabada, otobüste veya trende seyahat ederken, ya da benzeri koşullar altında PDA veya dizüstü bilgisayarlar aracılığıyla kesintisiz, yüksek hızda kablosuz erişimi sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca 802.16e revizyonu 3G teknolojisine rakip olarak görülmektedir (Minoli, 2003), (Kavas, 2006), (Dhawan, 2007).

Standardın ilk versiyonu olan 802.16 10-66GHz frekansında çalışırken baz istasyonlarının kurulduğu kulelerin görüş açısında bulunması (LOS) gerekmektedir. Daha sonra geliştirilen 802.16a standardı ile 2-11GHz frekans aralığı kullanılırken baz istasyonunu görme ihtiyacına gerek yoktur (NLOS). Bu aralık içinde hız 2.5, 3.5 ve 5.8GHz'in kullanılması planlanırken 50km uzaklıkta dahi 70Mbps hızlarına varan Internet erişimi sağlanabilmektedir (Dhawan, 2007).

WiMAX teknolojisinde OFDM ve MIMO teknikleri kullanılır. OFDM, Wi-Fi/802.11 ve WiMAX/802.16 tarafından kullanılan taban RF tekniği iken MIMO ise WiMAX'in etkinliğini dört katına kadar çıkartan gelişmiş bir anten tekniğidir. Bu iki gelişmekte olan teknik sayesinde tek bir baz istasyonundan daha fazla kullanıcıya hizmet sunma olanağı daha az spektrum kullanarak gerçekleştirilebilmektedir (Çibuk, 2009).

Bilgisayar ağlarının yanı sıra cep telefonları için baz istasyonları, geniş band internet ve telefon ağı da kendi başlarına birer yapıya sahiptirler. WiMAX teknolojisiyle birlikte gelişen metropol ağ bağlantısı sayesinde bu hizmetlerin hepsinin tek bir ağ üzerinden yapılabilmesi olanağı doğmuştur. Bu noktada WiMAX kullanılarak aynı hat üzerinden hem telefon, hem internet, hem de televizyon altyapısı kurmak mümkün olacaktır (Çibuk, 2009).

2.5.2.10 WiBro

Güney Kore Cumhuriyeti tarafından WiMAX alternatifi olarak yüksek band genişliği, mobilite, düşük maliyet ve geniş kapsama alanı sağlamak amacıyla geliştirilen bir WMAN teknolojisidir. 2004 yılından beri geliştirilen bu teknoloji standardı WiMAX geliştiricileri için bir rekabet ortamı olmasına katkıda bulunmuştur. 2004 yılının sonunda Intel ve LG arasında varılan anlaşmada WiBro ile WiMAX arasında uyum sağlamak amacıyla çalışmalar başlamıştır [26], (Yoon, 2004).

WiBro 2.3-2.4GHz frekans bandında çalışmakta olup TDD ve OFDMA tekniklerini kullanır. WiBro baz istasyonları 1-5 km. mesafelerde 30-50Mbps veri iletim sağlamakla beraber kullanıcılara 60km/saat araç hızlarında 512-1024kbps haberleşme imkanı sunar [26].

WiBro, 3G ve 4G cep telefonu ağına göre ortada konumlandırılacak alternatif bir teknolojidir. Hücreli çalışmaya desteklediği gibi Hızlı Elde Etme (Fast

Handover) yani hareket halindeki bir kullanıcının bağlantısının ve veri iletiminin koparmadan bir baz istasyonundan diğeri ne geçişi ile mobil IP tabanlı sistemlere de uygun bir altyapı oluşturabilir (Yoon, 2004).

3 KABLOSUZ ALGILAYICILAR

3.1 Giri

Kablosuz algılayıcıların (KA) uygulama alanları uzun zamandır tartışılan konulardan biridir. Bu bölümde KA'nın u anki akademik ve ticari uygulama alanlarına genel bir bakı yapılacaktır. Bölümün devamında KA'larda kullanılan teknolojiler ayrıntıları ile incelenecektir. Bölümün son kısmında ise KA'ların olu turdu u a larda kullanılan ileti im protokolleri detaylandırılacaktır.

Birçok farklı algılayıcı tipi kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar, sismik, manyetik, termal, görsel, infrared, akustik ya da radar olabilir. Bu algılayıcılar ile birçok de i ken ortam artlarını izlemek mümkündür. Örne in sıcaklık, basınç, nem, hız, yön, hareket, ı ık, gürültü seviyesi, belirli bir objenin varlı ı ya da yoklu u ve ba lı bulundu u cisimin gerginlik seviyesi gibi ortam artları hakkında çe itli bilgiler toplanabilmektedir. Böyle geni bir alanda bilgi edinebilme kabiliyeti aynı ölçüde geni bir kullanım alanı sunmaktadır. Bu uygulama alanlarına ev güvenli i, uzayda potansiyel varlıkların izlenmesi, sualtı ve yeraltının izlenmesi, savunma için istihbarat toplama, çevresel izleme, kentsel sava alanlarının izlenmesi, hava ve iklim analizi ve tahmini, sava alanlarının izlenmesi ve gözetimi, güne sisteminin ve ötesinin ke fi, sismik hareketliliklerin, gerilmelerin, sıcaklı ın, rüzgar hızının ve GPS bilgilerinin izlenmesi gibi alanlar örnek verilebilir.

KA'nın uygulama alanları gün geçtikçe artmasına ra men bu uygulama alanlarını

- Askeri uygulama alanları
- Çevresel bilgilerin izlenmesi
- Sa lık
- Ev uygulamaları
- Endüstriyel uygulamalar

olmak üzere be kategoride toplayabiliriz (Akyildiz & Vuran, 2010), (Yick, Mukherjee, & Ghosal, 2008).

3.2 Kablosuz Algılayıcıların Uygulama Alanları

3.2.1 Askeri uygulama alanları

KA, askeri kumanda, kontrol, keşif, haberleşme, hesaplama, hedefleme, istihbarat ve gözetim (C4ISR) sistemlerinin bir parçası olarak kullanılabilir. Askeri C4ISR sistemleri için, hızlı bir şekilde hedef alanlara da ulaşabilmeleri, kendi kendilerine organize olabilmeleri ve hata tolerans karakteristikleri bu alanlarda kullanımı konusunda gelecek vaat etmektedir. KA, düşümlerin düşük maliyetli olması, hedefe yoğun şekilde yerleştirilmeleri, düşmanın saldırısı sonucu bazı düşümler zarar görse dahi bunun askeri operasyonu etkilememesi savaş alanı için aranan özelliklerdir. Bu nedenle askeri alanlar KA'nın kullanımı için uygundur. KA'nın askeri alandaki bazı uygulamaları şunlardır: Dost kuvvetlerin ekipman, silah, mühimmat gibi bilgilerinin izlenmesi, düşmanın gücünün ve savaş alanının keşif, hedefleme, muharebenin hasar değerlendirilmesi, nükleer, biyolojik ve kimyasal saldırıların algılanması vs [27,28], (Akyıldız, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002), (He, et al., 2006), (Lédeczi, et al., 2005).

3.2.1.1 Smart Dust

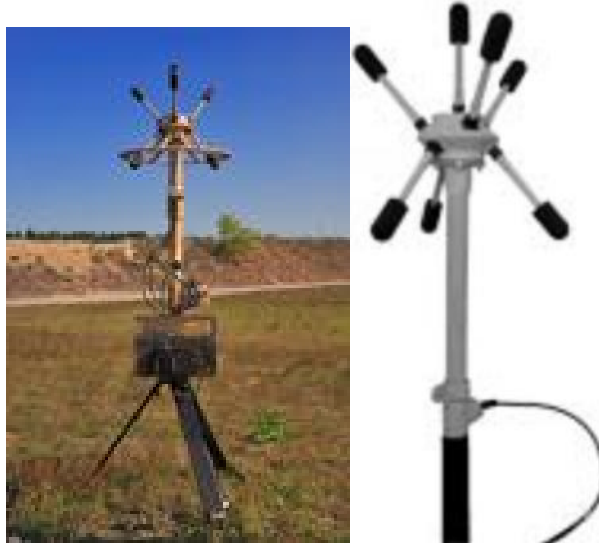
Smart Dust, KA'nın ilk uygulamalarından birisidir. DARPA tarafından finanse edilen projenin ana amacı, düşman sahasında kullanılacak KA için teknoloji sağlamaktır. KA'ların savaş alanında sağlam kalmaları, kendi kendilerine ayarlanabilmeleri ve kendi kendilerine organize olabilmeleri sayesinde kritik durumları değerlendirebilmek için gerekli olan bilgileri elde edebilirler. Böylece insanların sürekli olarak çalışamayacağı, çok tehlikeli alanlarda kullanılması, KA'nın kullanım alanlarında yeni ufuklar açmıştır. Smart Dust Projesi'nin öncelikli hedeflerinden birisi de ayrı ayrı algılayıcı haberleşme birimi ve mikro denetleyici tasarımı yerine 1 milimetre küplük algılayıcı platformu geliştirmektir. Sonuç olarak üretilen cihazlar askeri alanda savaş alanının izlenmesi, hareket izleme, scud füzesi avlama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Askeri dışında, geliştirilen bu teknoloji ticari olarak da kullanılmaktadır. Örneğin her algılayıcı düşümün her bir parçaya takılması hareketin ve ivmenin izlenmesi ve bu hareketlerin klavyenin tuşlarına basma hareketine çevrilmesi sayesinde sanal klavye geliştirilmiştir [28]. Bunun dışında bir kamyonun envanter bilgilerinin merkeze

gönderilerek izlenmesinin sağlanması, gıda maddelerinin bulunduğu ortamın sıcaklık, nem gibi bilgilerinin sürekli takip edilmesi ve ürün kalitesinin kontrolü gibi ticari uygulamalarda da kullanılmaktadır [28].

3.2.1.2 Keskin nişancı tespiti

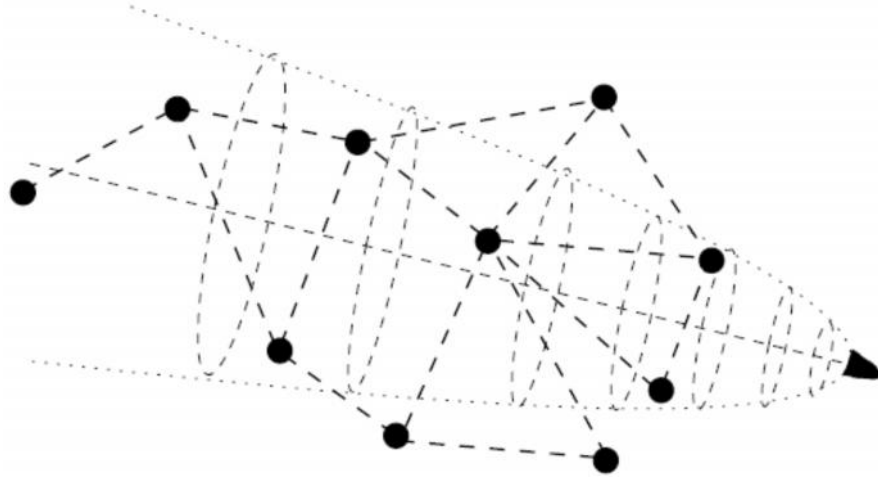
Boomerang keskin nişancı tespit sistemi, keskin nişancının kesin olarak tespit etmek için geliştirilmiş bir ve askeriye, kanun uygulayıcı kurumlar ve belediyeler tarafından kullanılmaktadır. Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi için iki farklı mimari vardır.

Bunlardan birincisi, ekil 3.1'de görüldüğü gibi mikrofon dizisinden oluşan sistemdir. Bu cihaz sabit bir yere yerleştirilebilir veya hareketli bir araçta yerleştirilebilir. Sistem ateş açılan yeri tespit için pasif akustik mikrofonlar kullanır. Mikrofonlardan gelen ses algılanarak hedefin ve bulunulan pozisyona göre ateş açılan yer hesaplanarak tahmin edilir. Bu işlem hareket halindeki araçlarda bile gerçekleştirilebilir [27] (Akyıldız & Vuran, 2010).

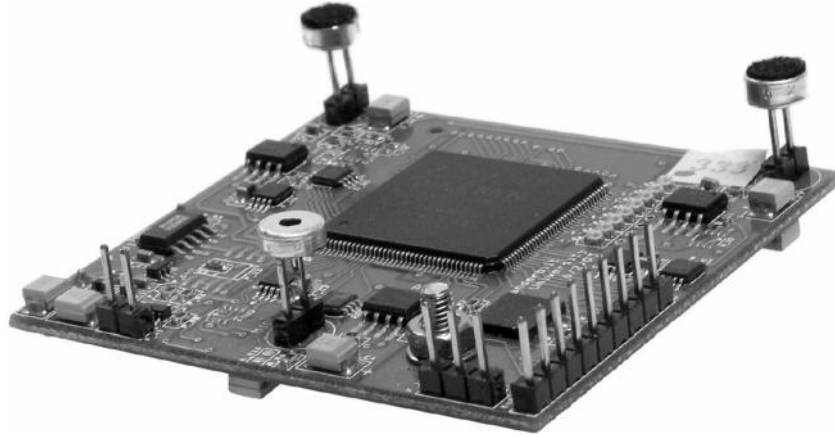


ekil 3.1 : Boomerang Keskin Nişancı Tespit Sistemi [27]

İkinci mimari ise ekil 3.2'de görüldüğü gibi geniş bir alanda dağıtık bir mimarisi kullanılır. Ateş edildiğinde gelen ses ekil 3.3'teki algılayıcılar ile algılanıp yüksek hızlı sayısal iletişim ünitelerinde değerlendirilip merkeze gönderilir. Bu sayede merminin yörüngesi hakkında elde edilen bilgiler kullanılarak keskin nişancının yeri tespit edilir (Lédeczi, et al., 2005).



ekil 3.2 : Da ıtık Keskin Ni ancı Tespit Sistemi (Lédeczi, et al., 2005), (Akyildiz & Vuran, 2010)



ekil 3.3 : FPGA Tabanlı Akustik Algılayıcı (Lédeczi, et al., 2005)

3.2.2 Çevresel bilgilerin izlenmesi

KA çevresel alanların izlenmesi konusunda çok çe itli uygulama alanlarına sahiptir. Ku ların, küçük hayvanların ve böceklerin takibi, hayvanların, sulamanın, ya da ekinlerin çevresel arlar ile olan ili kisinin izlenmesi, büyük araçların geni çaplı izlenmesi, gezegen ke ifleri vb. alanlar örnek olarak verilebilir.

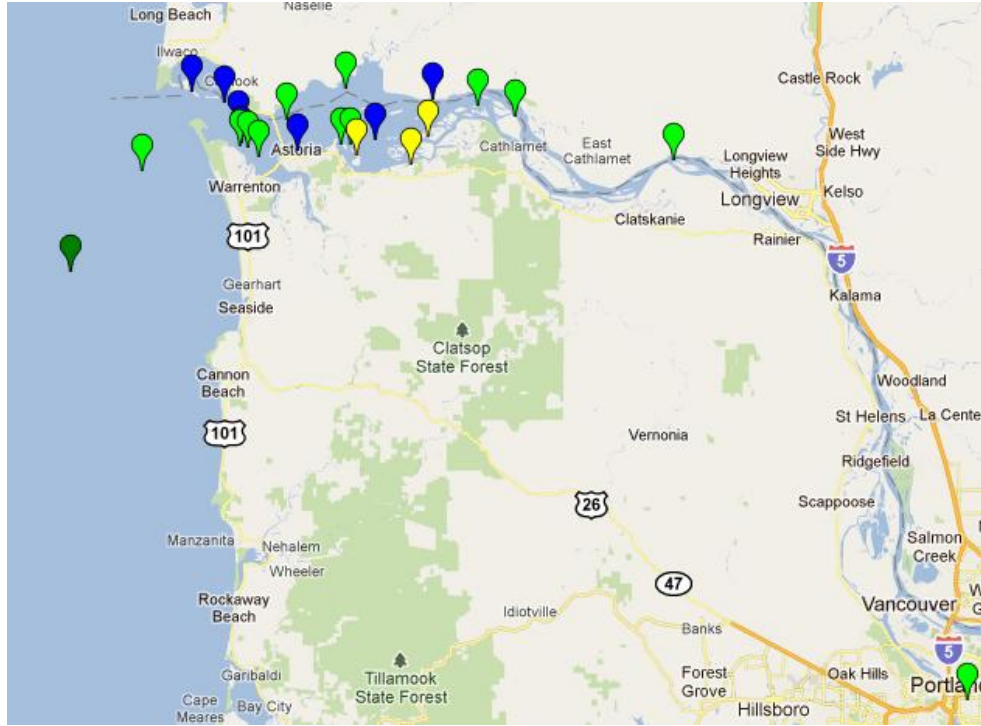
3.2.2.1 Büyük ördek adası projesi (Great Duck Island- GDI)

GDI projesi Intel laboratuarları ve Atlantis Koleji ile beraber gerçekleştirilmiştir. Bu proje ile örne in fırtına ku u gibi bir deniz ku unun, yuva seçimi, mikro iklimsel faktörlerin deniz ku larının ya am alanı seçimi üzerindeki etkileri, ya da daha özel olarak ku ların yuvada bulunma sürelerinin izlenmesi, üreme sezonu boyunca

gerçekle en çevresel de i iklimler ve bu durumların birbiri ile ili kili olarak deniz ku larının davranı larını nasıl de i tirdi i gibi durumları izlemek için gerçekle tirilmi bir projedir (Akyildiz & Vuran, 2010), (Mainwaring, Culler, Polastre, Szewczyk, & Anderson, 2002), (Szewczyk, Osterweil, Polastre, Hamilton, Mainwaring, & Estrin, 2004).

3.2.2.2 CORIE (Columbia River Ecosystem)

Kolombiya Nehri Çevresel Gözlem ve Tahmin Sistemi (environmental observation and forecasting system -EOFS) Oregon Enstitüsü'ndeki Kıyı ve Arazi Ara tırma Merkezi tarafından yaptırılmı tur. ekil 3.4'te görüldü ü gibi Kolombiya Nehri'nin içinde ya da çevresinde özellikle de denize döküldü ü yerde toplam 23 tane sabit istasyon kurulmu tur [29].



ekil 3.4 : Colombia Nehri Algılayıcı stasyonlar [29]

Bu algılayıcılardan alınan bilgiler ile gemilerin on-line kontrolü, arama-kurtarma, ekosistem ara tırması ve yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca algılayıcı bilgileri ORBCOMM LEO uydusu tarafından alınır ve internet ortamından gerçek zamanlı olarak aktarılır [29], (Akyildiz & Vuran, 2010).

3.2.2.3 ZebraNet

Hayvan izleme sistemi, zebraların uzun dönemli hareket ablonları ve türler arası etkileşim bilgilerini elde edebilmek için geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem Kenya'da iki zebra türünü incelemek ve konum bilgilerini alabilmek için ekil 3.5'teki gibi zebraların boynuna yerleştirilmiştir. Her bir cihaz GPS ünitesi, mikro denetleyici, uzun ve kısa menzilli iki adet verici, yüksek yoğunluklu lityum-ion polimer piller ve bu pilleri çalıştırmak için güneş panellerinden oluşmaktadır. Algılayıcı düğüm her üç dakikada bir konum bilgisini kaydeder. ZebraNet, merkez düğümü olmayan, çok hareketli bir ağ olarak karakterize edilebilir. Buna bağlı olarak konum bilgilerinin aktarımı konusunda gecikme toleranslıdır (Akyıldız & Vuran, 2010).



ekil 3.5 : Geliştirilen ZebraNet Düğümü (Akyıldız & Vuran, 2010)

3.2.2.4 Yanardağ hareketlerinin izlenmesi

KA'nın kullanım alanlarından birisi de sürekli insan erişiminin imkansız olduğu bölgelerden bilgi toplamaktır. Bu amaç ile volkanların izlenebilmesinde volkan çevresine kolayca yerleştirilebilir ve buldukları yerden sürekli bilgi sağlayabilir.

KA'ların volkanlarda kullanılabilirliğinin ispatı için 2004-2005 yılları arasında

Ekvator'da iki tane vaka çalı ması yapılmı tır. 2004'te ekil 3.6'daki algılayıcıya benzer üç algılayıcılı küçük bir KAA Volcán Tungurahua Yanarda ı'na yerle tirilmi tir. Bu algılayıcılar üzerlerinde bulunan dü ük frekans hassasiyetli mikrofonlar ile üç gün boyunca patlamakta olan yanarda dan bilgi iletmi tir. 2005'te ise Volcán Revendator Yanarda ı'nda ise 16 Tmote Sky dü ümüne sismik ve akustik algılayıcılar eklenmesi ile bu aktif volkan 16 gün boyunca izlenmi tir (Werner-Allen, et al., 2006).



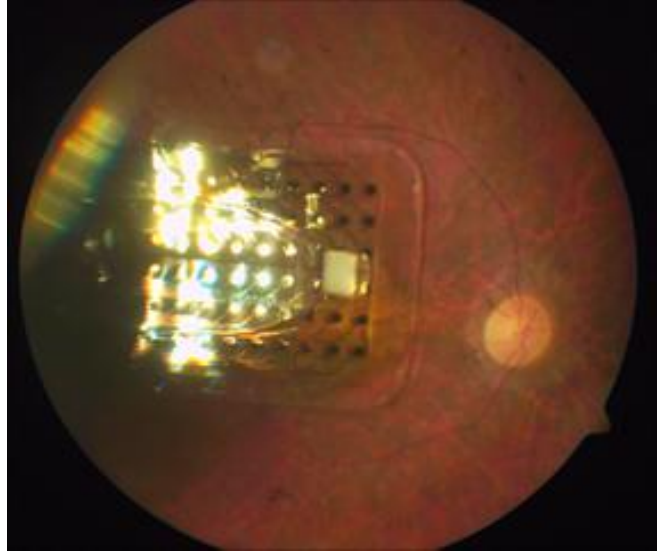
ekil 3.6 : Yanarda da kullanılan Algılayıcı Dü üm (Werner-Allen, et al., 2006)

3.2.3 Sa lık uygulamaları

Canlıya yerle tirilen biyomedikal cihazların ve akıllı entegre algılayıcıların geli tirilmesi, KA'ların biyomedikal ve sa lık gibi alanlarda da kullanım alanını yaygınla tırmı tır. KA'ların sa lık alanında kullanılmasına, engelliler için arabirim olabilme, hasta izleyebilme, hastanede hasta ve doktorların izlenmesi ve takibi, ilaç takibi ve yönetimi örnek olarak verilebilir [30], (Akyildiz & Vuran, 2010).

3.2.3.1 Yapay retina projesi

Yapay retina projesi Amerika Enerji Bakanlığı tarafından desteklenmekte olup, görme engelliler için yapay retinanın göze yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Proje iki tane retina hastalığına odaklanmıştır. Bunlar yaşa bağlı macular bozulma (age-related macular degeneration -AMD) ve retinitis pigmentosa (RP) olarak adlandırılır. AMD 60 ve sonraki yaşlarda retinanın merkezinde oluşan sıvı sızıntısı ya da kanama sonucu görme kaybıdır. Diğer taraftan RP grubu çubuk hücreleri ve fotoreseptörlerdeki problemlerden dolayı yan görüşün ve gece körlüğü gibi ışık hassasiyetinin azalmasıyla oluşan, görme kaybına sebep olan retinal hastalıklardır. Yapay retina projesi bu problemlere çözüm bulmak amacıyla 16 elektrot dizili, 60 elektrot dizili yapay retina modelleri ekil 3.7'de görüldüğü gibi üretilip hastalara yerleştirilmiştir. 200 ve üzeri elektrot dizili yapay retina çalışmaları ise hala sürmektedir [30].

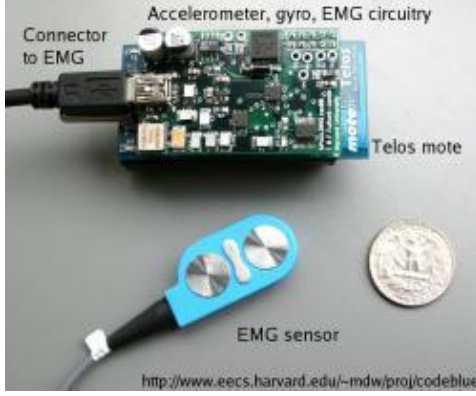


ekil 3.7 : Yapay Retina [30]

3.2.3.2 Hasta takibi

Harvard Üniversitesi'ndeki CodeBlue Projesi hastaların, hayati işaretlerini izlemek için giyilebilir algılayıcı cihazları üzerine odaklanarak, günlük yaşamı boyunca bu verileri anlık olarak takip etmek için geliştirilmiştir (Malan, Fulford-Jones, Welsh, & Moulton, 2004). Bu amaçla kandaki oksijen miktarını ölçen pulse oximeter, EKG, EMG devreleri MicaZ ve Telos algılayıcı düğümleri için ekil 3.8'de görüldüğü gibi

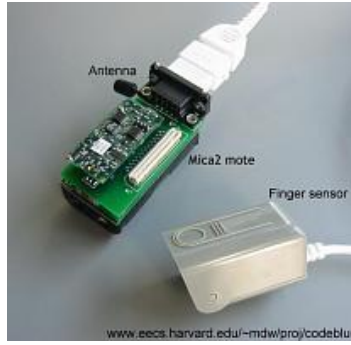
tasarlanmı CodeBlue yazılımı, sa lık personelinin hastanın durumunu PDA vb. cihazlardan takip edilebilmesi için gerekli özelliklere sahiptir [31].



a)EMG



b)EKG



c)Oksijen Ölçer

ekil 3.8 : CodeBlue Giyilebilir Algılayıcıları [31]

3.2.4 Ev uygulamaları

Teknoloji ilerledikçe, akıllı algılayıcılar ve çalı tırcılar, elektrik süpürgesi, mikrodalga fırın, buzdolabı ve DVD oynatıcının (Petriu, Georganas, Petriu, Makrakis, & Groza, 2000) yanısıra su takip sistemleri (Kim, Schmid, Charbiwala, Friedman, & Srivastava, 2008) gibi aletlerin içerisinde tümle ik olabilmektedir. Bu akıllı algılayıcı ve çalı tırcılar kendi aralarında, internet vasıtası ile harici a larla ve uydularla etkile imde bulunabilirler. Bunlar son kullanıcının dahili olarak ve uzaktan ev cihazlarını yönetebilmesini sa lar. Buna göre KA'ların birbiri ile ili ki kurabilmeleri yakından ve uzaktan kontrol edilebilmeleri, evde de i ik bir çok uygulama alanı yaratmaktadır.

3.2.4.1 Su sayacı

Özel otonom su takip sistemi (The Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System -NAWMS-) KA kullanılarak geliştirilmiştir. NAWMS'nin amacı su kullanımındaki fire ve kaçakların tespiti ve ev sahibi ya da kiracının bu konuda bilgilendirilmesini sağlamaktır (Kim, Schmid, Charbiwala, Friedman, & Srivastava, 2008), (Akyildiz & Vuran, 2010).

Su şirketleri evin sadece toplam harcadığı su miktarı hakkında bilgi sahibidir. Bu toplamın evin içerisinde nerelerden harcadığını bilimsiz bir kaynak tarafından hesaplanması kolay değildir. Fakat birbirleri ile haberleşebilen dağıtık KA kullanımı ile sistemden bir evin içerisinde hangi borudan ne kadar su çekildiği düşük bir maliyet ile izlenebilmektedir (Kim, Schmid, Charbiwala, Friedman, & Srivastava, 2008), (Akyildiz & Vuran, 2010).

NAWMS, her bir borudan akan suyun boruda oluşturduğu titreşimin ölçülmesi ile tahmin edilmesi temel prensibine dayanmaktadır. Çünkü bu ikisi arasında oransal bir ilişki vardır. Buna bağlı olarak ivme ölçer vasıtasıyla borudaki titreşimin ölçülmesi için kablosuz algılayıcı boruya takılır. Titreşim ve su akışı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğundan dolayı her bir kablosuz algılayıcı düğüm, ivme bilgisinden su akışı bilgisinin doğru hesaplanabilmesi için kalibre edilir. Elle kalibrasyon yerine ana su sayacı yardımıyla kablosuz olarak takılan her bir düğüm kendisini otomatik olarak kalibre eder (Kim, Schmid, Charbiwala, Friedman, & Srivastava, 2008) (Akyildiz & Vuran, 2010).

3.2.5 Endüstriyel uygulamalar

Erişim kontrolü, bina otomasyonu, endüstriyel algılama ve kontrol uygulamaları gibi endüstriyel alanlarda uzun zamandır kablolu algılayıcılar kullanılmaktadır. Ancak kablolu algılayıcıların dağıtım ve yerleştirilmesi ile ilgili maliyetlerden dolayı uygulanma alanları kısıtlıdır. Ayrıca algılayıcı sistem endüstriyel alanlar için yerleştirilmesi olsa bile algılayıcı güncellemesinin ve yenilenmesinin maliyeti çok yükseklikle yeni bir sistemin maliyetini geçebilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda önleyici bakım için algılayıcı tabanlı sistemlere ek olarak elle izleme sistemleri kullanılmaktadır. Elle izleme, deneyimli personeller tarafından, merkezi noktalardan analiz için el analizörleri ile bilgileri toplarlar. Algılayıcı temelli sistemlerde, algılayıcı yerleştirme maliyetinin

yüksekli i, elle yapılan izleme ve takip sistemlerinin dü ük kesinlikteki hassasiyeti, personel ihtiyacı yerine Kablosuz algılayıcıların kolay yerle tirilmesiyle, yüksek kesinlikte hassasiyetiyle, pille çalı an kablosuz veri aktarım birimiyle bu sistemlere alternatif olarak umut verici bir çözümdür (Krishnamurthy, et al., 2005), (Akyildiz & Vuran, 2010).

3.2.5.1 Önleyici bakım

Önleyici bakım, uzun süreli kullanımda pahalı ekipmanların etkin maliyetli kullanımını sa lamaktadır. Ancak mevcut sistemlerde önleyici bakım sistemlerinin kurulumu ilgili maliyet kazanımlarına bakıldı ında geni bir kabul görmez. Fakat KA'lar biri petrol tankeri ve di eri yarı-iletken üretim fabrikasında olmak üzere yapılan iki vaka çalı masında, yeterli önleyici bakım hizmeti sa layarak etkim maliyetli bir sistem oldu unu göstermi tir (Krishnamurthy, et al., 2005).

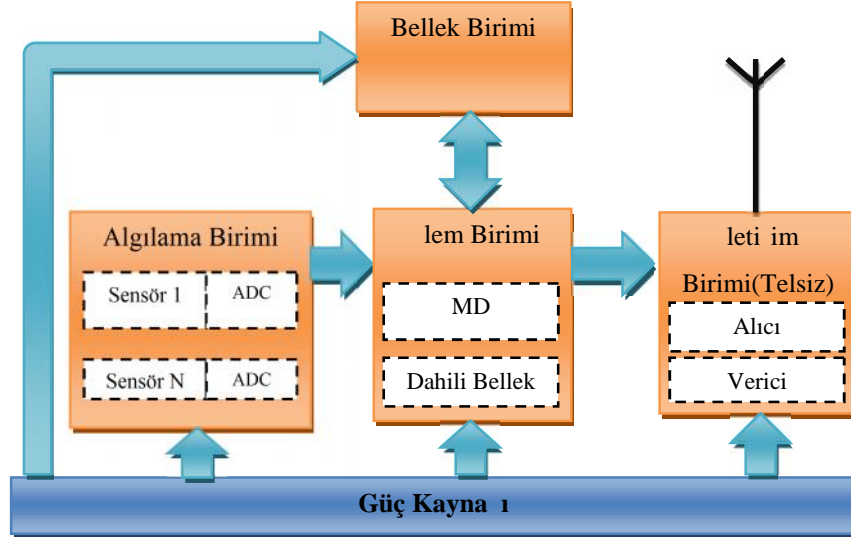
Ekipmana takılan ivme ölçer ile titre im analiz teknikleri kullanılarak ekipmanın "sa lı ı" takip edilebilir. Intel'in yarı-iletken fabrikasında binlerce algılayıcı, ekipmaların de i ik parçalarına ait titre imler izler. Makineler sürekli izlenir, iyi çalı an bir cihazın, parçalarına ait imza haritaları çıkarılır. Ancak çalı anlar tarafından algılayıcılardan gelen veriler elle toplanır. Veri toplama i lemini otomatikle tirmek için Mica2 ve Intel Mote dü ümleri yanı sıra Stargate a geçitleri de kullanılarak olu turulan a yani "FabApp" ekil 3.9'da görüldü ü gibi kurulmu tur (Krishnamurthy, et al., 2005).



ekil 3.9 : FabApp'da Konu landırılmı Algılayıcı Dü üm (Krishnamurthy, et al., 2005)

3.3 Kablosuz Algılayıcı Teknolojileri

KA Mimarisinde be ana bile en bulunmaktadır. Bunlar güç kayna ı, hafıza birimi, algılama birimi, i lem birimi ve ileti im birimidir. ekil 3.10'da örnek bir KA dü ümünün mimarisi görülmektedir.



ekil 3.10 : Kablosuz Algılayıcı Mimarisi

Algılama birimi birden fazla algılayıcı ve analog sayısal dönü türücüden (Analog Digital Converter- ADC) olu abilir. Algılayıcılar ivme, ısı, basınç, nem gibi

bilgileri ölçen donanımsal birimlerdir. Algılayıcılar tarafından ölçülen analog bilgiler ADC birimi ile sayısal bilgilere dönü türülüp i lem birimine iletilir. lem birimi bir mikro denetleyici ve dahili bir hafızadan meydana gelmektedir. lem birimi, dü ümün nasıl davranaca nı yöneten, i lemleri yerine getiren ve di er bile enleri kontrol eden birimdir. leti im birimi ise kablosuz algılayıcıların kendi aralarında ya da merkez dü üm ile haberle mesini sa lar. Kablosuz iletim ortamı radyo frekansı, optik veya kızılötesi olabilmektedir (Xia, 2009). A a ıda bu birimler ayrı ayrı irdelenmi tir.

3.3.1 lem Birimi

lem birimi kablosuz algılayıcının yapaca ı i i, di er dahili birimlerle haberle erek algılayıcı bilgileri almak, gereken bilgileri hafızada saklamak, di er dü ümlerle haberle mek, ilgili haberle me protokollerini yerine getirmek gibi i lemleri yerine getirir.

lem birimi olarak yüksek performanslı i lemciler veya sayısal i aret i leyiciler (DSP) gibi birimler kullanılabilmele beraber kablosuz a lardan genel olarak beklenen dü ük enerji tüketimi ve di er cihaz ve birimlerle haberle me için çok esnek de illerdir. Bunların yerine mikro denetleyiciler, kendi üzerlerindeki hafıza birimi, di er cihazlarla haberle me özelliklerindeki esneklik, enerji verimlili i için uyku moduna geçebilmeleri ve programlanabilir olmaları gibi özellikleri neden ile kablosuz a larda kullanmak uygun bir seçim olacaktır. Kablosuz a larda kullanılacak mikro i lemciler ve mikro denetleyicilere örnekler verilmi tir (Karl & Willig, 2005). Bunlar;

- i. **Intel Strong ARM:** Özellikle PDA cihazlarında kullanılmakla birlikte KA'larda da kullanılan bir i lemcidir. SA-1100 modeli 32 bit RISC mimarisine sahip 206 MHz hızında çekirde e sahiptir [32].
- ii. **Texas Instruments MSP 430:** Texas Instruments firması bütün mikro denetleyici ailesini MSP-430 tanımı altında piyasaya sürmü tür. Gömülü sistemler için geli tirilmi bir mikro denetleyicidir [33].
- iii. **Atmel ATmega:** Atmel AT mega128L, 8 bitlik RISC mimarisine sahip 16MHz hızında bir mikro denetleyicidir. Gömülü sistemlerde kullanıma uygun genel çevre artlarında kullanılacak bir di ara yüze sahiptir [34].

3.3.2 İletim Birimi

İletim birimi düğümler arasında haberleşmeyi sağlayan birimdir. İletim için optik (lazer), kızılötesi (IR), ya da radyo frekansı (RF) vb. iletim ortamları kullanılabilir. Kullanılacak iletim ortamına göre de iletim birimi seçilir.

3.3.2.1 Alıcı-Verici Birimi

Haberleşme tek yönlü ve iki yönlü olabilmektedir. Alıcı-verici birimin görevi, iletim biriminden gelen bilgileri alarak haberleşmenin yapılacağı fiziksel ortamı kullanarak ilgili yere iletilmesini sağlamaktır. Aynı şekilde iletim ortamından gelen sinyalleri demodüle ederek iletim birimine gönderilmesini sağlamaktır.

Kablosuz algılayıcı düğümler için seçilecek alıcı-verici biriminin bazı karakteristik özellikleri olması beklenir. Üst katmanlara hizmet kapasitesi, güç tüketimi ve enerji verimliliği, taşıyıcı frekans ve çoklu kanal sağlama, durum değiştirme süreleri ve enerji, veri hızı, modülasyon, frekans ayarlaması, iletim gücü kontrolü, gürültü faktörü, kazanç, alıcı hassasiyeti, frekans kararlılığı gibi karakteristik özellikleri dikkate alınır (Karl & Willig, 2005).

Birçok alıcı-verici biriminin dört iletim durumu mevcuttur.

- i. **İletim durumu (transmit):** Alıcı-verici biriminin verici kısmının aktif olduğu ve antenden enerji yaydığı durumdur.
- ii. **Alıcı durumu (receive):** Alıcı kısmının aktif olduğu durumdur.
- iii. **Boş (idle):** Alıcı-vericinin veri almaya hazır olduğu fakat aktif olarak veri alıp vermeye başlamadığı durumdur. Idle durumunda alıcı-verici biriminin birçok kısmı aktif durumdadır.
- iv. **Uyku durumu (sleep):** Alıcı-vericinin birçok önemli biriminin kapalı halde beklediği durumdur.

Kablosuz algılayıcıları için uygun alıcı-verici birimleri pek çok firma tarafından piyasaya sürülmüştür. Bu aygıtların sınıflandırılmasında genellikle Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da, taşıyıcı frekans üzerinde yapılan düzenleyici kısıtlamalar dikkate alınmaktadır. Piyasada kullanılan bazı ürünler şunlardır; RFM TR 1001, Chipcon CC 1000 & CC2420 ve Inineon TDA525x ailesi. Aşağıda bu ürünlere ait kısa açıklamalar verilmiştir.

- i. **RFM TR1000 Ailesi:** TR1000 ailesi 916MHz ile 868MHz frekans aralığına sahiptir. 115.kbps üzeri kısa mesafe veri iletişimine yöneliktir. Dinamik olarak ayarlanabilen çıkış gücüne sahiptir. Üretici bilgilerinde maksimum çıkış gücü 1.5dBm 1.4mW olarak verilmiştir [35].
- ii. **Chipcon CC1000 ve CC2420 Ailesi:** Chipcon kablosuz sensör ailesi donanımlarını çekici kılan geniş bir alıcı-verici aralığı sunmasıdır. CC1000 programlanabilir 250Hz'lik aralıklarla 300 ile 1000MHz aralığında bir frekans genişliği ve programlanabilir çıkış gücü sunmaktadır [36,37]. CC2420 ise CC1000'e göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. IEEE 802.15.4 standardında tanımlanan fiziksel katman ve MAC protokol standardı desteklemektedir [36,38]
- iii. **Infineon TDA 525x Ailesi:** TDA 525x ailesi esnek, tek parça çip ve enerji verimliliği konusunda dikkat çekmektedir. Örnek vermek gerekirse TDA 5250 üretici bilgilerine göre; 868 MHz de çalışmakta, ASK ve FSK modülasyonu sağlamakta, yüksek verimli güç yükseltici, ayarlanabilir kristal osilatör, tümleşik veri filtresi, gelişmiş güç kesme özelliği sunmaktadır [39].

3.3.3 Algılayıcı birimi

Algılayıcı birim, dışarıdan elde etmek istenilen bilgileri almak ve bu bilgileri işlem birimine göndermekle görevlidir. Algılayıcı birime bağlı iki modül bulunmaktadır. Bunlar algılayıcı ve analog sinyalleri sayısal sinyallere çeviren ADC modülleridir. Algılayıcıları sınıflandırmak gerekirse [40], (Çibuk, 2009);

- **Ölçülen Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma:** Algılayıcılarla ölçülen büyüklükler 6 gruba ayrılabilir
 - **Mekanik :** Uzunluk, alan, kütleli akı, kuvvet, tork (momentum), basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu
 - **Termal :** Sıcaklık, ısı akışı
 - **Elektriksel :** Akım, gerilim, direnç, endüktans, kapasite, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alan şiddeti ve frekans
 - **Manyetik :** Manyetik alan şiddeti, akı yoğunluğu, manyetik moment, manyetik geçirgenlik katsayısı
 - **İnertiyel :** Yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme

- **Kimyasal** : Yo unla ma, içerik miktarı, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH de eri
- **Çıkı Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma:** Analog ve sayısal olarak ikiye ayrılırlar. Analog çıkı lara alternatif olan sayısal çıkı lı algılayıcılar, bilgisayarlarla do rudan ileti im kurabildiklerinden günümüzde daha çok tercih edilmektedir.
- **Besleme ihtiyacına Göre Sınıflandırma:** Algılayıcılar besleme ihtiyacına göre iki sınıfa ayrılabilir.
 - **Pasif Algılayıcılar;** Hiçbir ekilde dı ardan harici enerji almadan (besleme kayna na ihtiyaç duymadan) fiziksel ya da kimyasal de erleri bir ba ka büyüklü e çevirirler. Bu algılayıcı tipine örnek olarak termocouple (T/C) ya da termik anahtar gösterilebilir.
 - **Aktif Algılayıcılar;** Çalı maları için harici bir enerji kayna na ihtiyaç duyarlar. Bu algılayıcılar tipik olarak zayıf sinyalleri ölçmek için kullanılırlar.

3.3.4 Hafıza birimi

Dahili hafıza olarak rasgele eri imli bellek kullanılır (RAM). Algılayıcıdan gelen bilgiler di er dü ümlerden gelen bilgiler ve i lemcinin i lem yapmak için ihtiyaç duydu u saklama alanı bu bellek tarafından kar ılanır. Fakat RAM bellekler elektrik kesintisinde üzerindeki bilgi kaybeder. Bu nedenle saklanması gereken bilgiler harici bellek olarak kullanılan fla bellek benzeri belleklerde saklanır. Kablosuz algılayıcının yapaca ı i i ve davranı eklini belirleyen program kodları ise ROM bellek veya EEPROM belleklerde saklanır.

3.3.5 Güç Kayna ı

Algılayıcılarda algılama, veriyi i leme ve ileti im nedeniyle enerji tüketimi olmaktadır. Algılayıcılarda gereksinim duyulan enerji, pil içerisinde saklanmaktadır. arj edilebilir ve arj edilemez olmak üzere iki tip pil kullanılmaktadır. Günümüzdeki algılayıcılar yenilenebilir (güne enerjisi, ısı enerjisi, titre im enerjisi vb. gibi) enerji kaynaklarını da kullanabilecek ekilde geli tirilmektedir.

Güç kaynaklarının kısıtlı olmaları ve algılayıcıların daha uzun süre canlı kalmasını sağlamak için güç yönetim politikaları kullanılır. Algılayıcılarda yaygın olarak kullanılan iki güç yönetim politikası vardır;

- **Dinamik Güç Yönetimi (Dynamic Power Management - DPM):** Algılayıcının çalışması esnasında o an için kullanılmayan veya etkin olmayan sistem parçaları uyku modunda veya kapalı tutularak güç tasarrufu gerçekleştirilir (Chen, Wei, & Ma, 2010).
- **Dinamik Voltaj Ölçeklendirme (Dynamic Voltage Scaling - DVS):** Algılayıcının o anki yüküne bağlı olarak güç seviyeleri arasında geçişler yaparak çalışır. Algılayıcının çalışma gerilimi, frekans ile birlikte değiştirilerek güç tüketiminde azalmalar sağlanması mümkündür. Özellikle yoğun olmayan çalışmalarda algılayıcı gerilimi ve frekansı düşürülür ve daha az güç harcanmasını sağlar (Chen, Wei, & Ma, 2010).

3.4 Kablosuz Algılayıcı A larda Kullanılan Protokoller

Bu bölümde kablosuz algılayıcıların ortamdaki topladıkları bilgileri iletebilmeleri ve/veya merkezden gerekli komutları alabilmeleri için iletişimde kullandıkları protokoller verilmiştir.

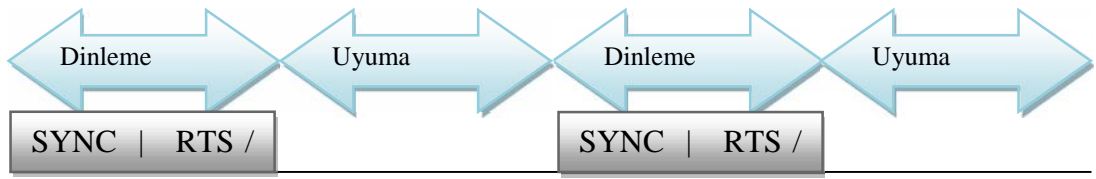
3.4.1 Kablosuz Algılayıcı A larda Ortam Erişim Protokolleri

3.4.1.1 Sensor MAC (SMAC)

Çekim tabanlı bir protokol olan SMAC (Sensor MAC) kablosuz algılayıcı a larda enerji tüketimi en aza indirmek için önerilmektedir. SMAC, gecikme duyarlılığını göz önünde bulundurmaz. Erişim için her döngüde öncelikli sahiptir. Ayrıca enerji kullanımını en aza indirmek için algılayıcı döngüleri belli aralıklarla uyku moduna alınır. Döngüler sürekli dinlemek yerine çoğunlukla uyku modunda bulduklarından dolayı enerji daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Döngülerin dinleme ve uyuma periyotlarında beraber hareket edebilmesi için senkronizasyona ihtiyaç duyulur. Döngüler dinleme ve uyuma zamanlamasından önce tüm komut döngülerin zamanlama tablolarını bilmelidir (Pantazis & Vergados, 2007), (Ye, Heidemann, & Estrin, 2004). Bunun için algılayıcı döngü kendine ait zamanlama tablosunu seçerken iki noktaya dikkat eder:

1. Algılayıcı düüm belirli bir süre içinde SYNC mesajı almazsa rastgele bir zaman (t) sonra uykuya geçeceğini gösteren bir SYNC paketi yayınlar. (synchronizer)
2. Algılayıcı düüm kendi zamanlamasını seçmeden önce bir SYNC paketi alırsa o pakete uyar ve $(t-t_1)$ süre sonra uykuya geçeceğini gösteren SYNC paketini gönderir (follower).

ekil 3.11’de algılayıcı düüme ait uyku ve dinlenme modları gösterilmektedir.



ekil 3.11 : Algılayıcı Düüm Uyku / Dinleme Modu

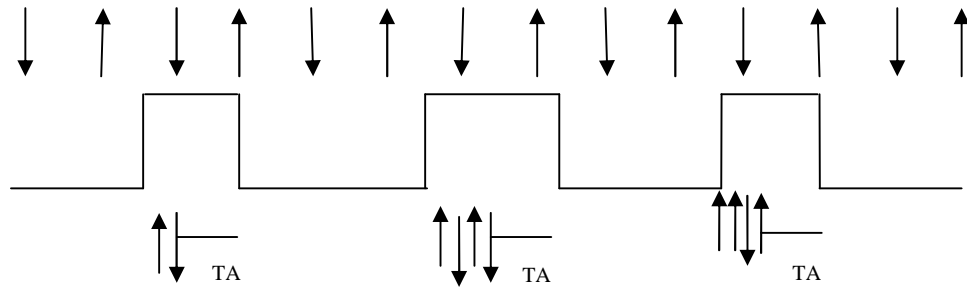
S-MAC protokolü enerjisi daha verimli kullanmasına karşın a üzerinde fazladan veri trafiğine yol açmakta ve sabit uyuma/dinlenme zamanlaması nedeniyle yüksek trafik yoğunluğunda bulunan kablosuz algılayıcı a larda gecikmeye neden olmaktadır.

3.4.1.2 Enerji Duyarlı DCF

DCF (Distributed Coordination Function), CSMA/CA protokolünün dağıtık ve güdümlü fonksiyonudur [42]. Enerji duyarlı DCF protokolünde algılayıcı düümler iletim ortamında veriyi elde ettikten sonra veri paketi gönderirler. Gönderilecek paket büyükse enerji tüketimi fazla olacaktır küçük parçalara ayrılır ve tüm parçalar tek bir RTS (Request To Send)-CTS (Clear To Send) ile gönderilir. Paketin alınıp alınmadığının kontrolü için karşı taraftan bir ACK paketi beklenir. Beklenen ACK paketi gelmezse veri paketi tekrar gönderilir. ACK paketi veri paketini gönderen algılayıcı düüme gelirse veri paketi kuyruktan alınarak yok edilir. Diğer algılayıcı düümler radyo iletim fonksiyonlarını kapatarak paket iletimi bitene kadar uyku moduna geçerek enerji tasarrufu sağlarlar.

3.4.1.3 Timeout MAC (TMAC)

TMAC (Timeout MAC) protokolü SMAC protokolünde karılaşılan de iken yüklü trafikte meydana gelen sorunları aamak için önerilen bir protokoldür (Van Dam & Langendoen, 2003). Bu protokolde SMAC'te olan sabit uyku ve çalı ma aralıkları de iken hale getirilmiştir. Böylelikle gecikmelerde verimlilik sa lanmıştır. Dü ümler belli bir süre boyunca ileti im olmazsa (timeout) uyku moduna geçerler. Bu durum ekil 3.12'de görülmektedir (Van Dam & Langendoen, 2003).



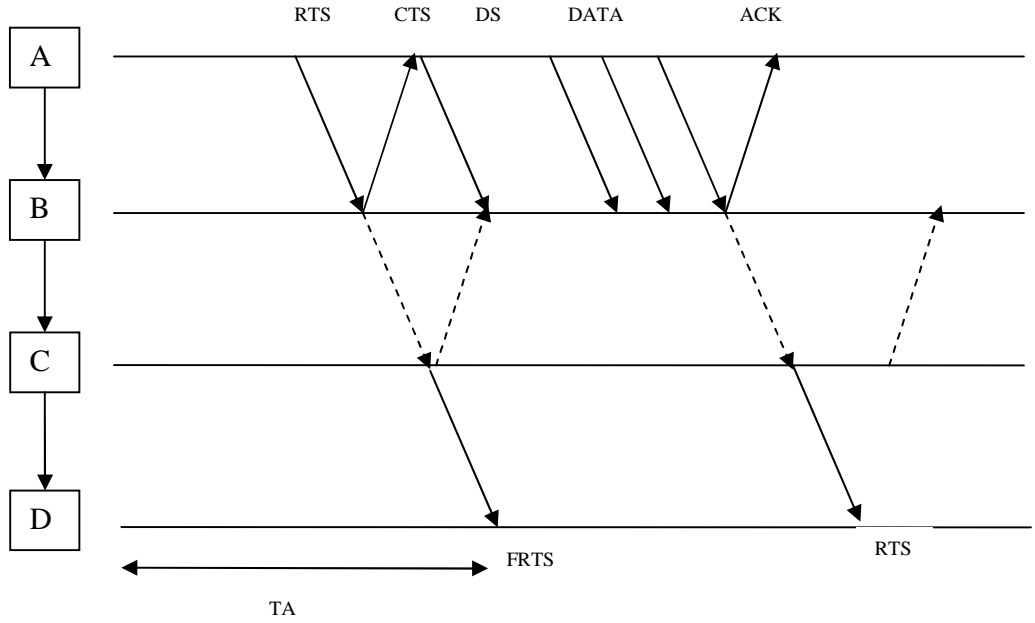
ekil 3.12 : TMAC protokolünde de iken uyku ve çalı ma periyotları

Dü ümlerde periyodik zamanlamanın ta ması, radyodan herhangi bir paket alımı, ileti im ortamının algılanması, algılayıcı dü ümün veri veya ACK paketi göndermesi söz konusu de ilse aktif süre (TA) tamamlanır ve uyku moduna geçilir.

Aynı paketin çok fazla algılayıcı dü ümlerarası aktarılması gerekti i durumlarda T-MAC protokolünde erken uyuma problemleri ya anabilir. Bunu için 2 çözüm üretilmiştir (Van Dam & Langendoen, 2003). Bunlar;

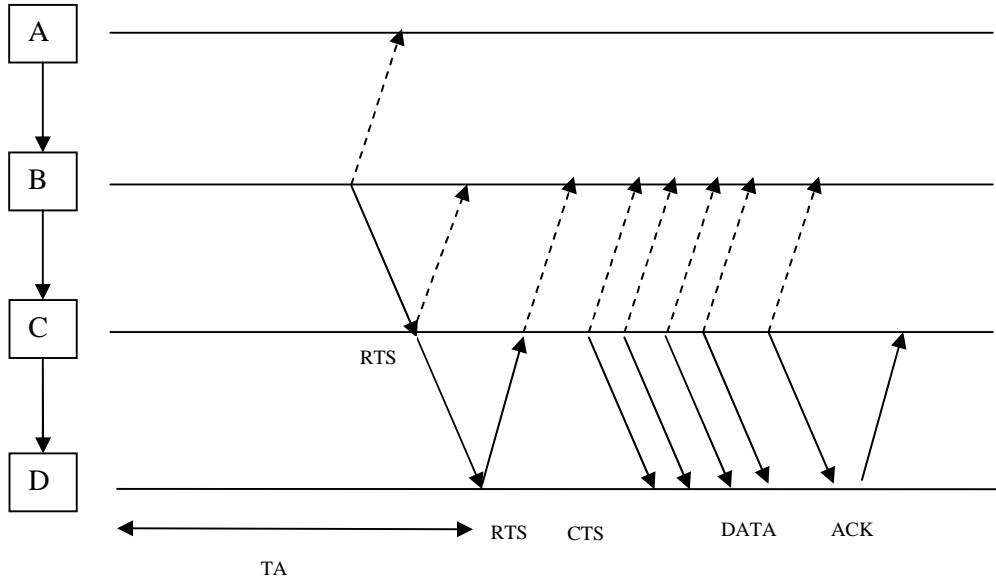
- FRTS (Future Request To Send)
- Dolu Tampon Önceli i (Full Buffer Priority)

dir. FRTS çözümünde ekil 3.13'te görüldü ü gibi bir algılayıcı dü üm bir ba ka kom u dü ümü hedefleyen bir paket aldı nda FRTS paketini gönderir. İlk RTS paketi gönderen algılayıcı dü üm CTS paketini aldıktan sonra veriyi hemen göndermez. Bunun yerine bir DS paketi gönderir. DS ve FRTS paketi çarpı ır. Böylelikle di er dü ümler kanalın bo olmadı nı anlarlar. Algılayıcı dü ümlerarası ileti im sa lanmı olur (Van Dam & Langendoen, 2003).



ekil 3.13 : FRTS Paket Gönderimi

Dolu tampon önceli inde ise tamponu sürekli dolu olan algılayıcı dü ümleri paket almak yerine paket gönderirler. Yani algılayıcı dü üm kendi için hedeflenen RTS almak yerine kendi RTS'sini bir ba ka dü üme gönderir. ekil 3.14'te bu i lem görülmektedir.



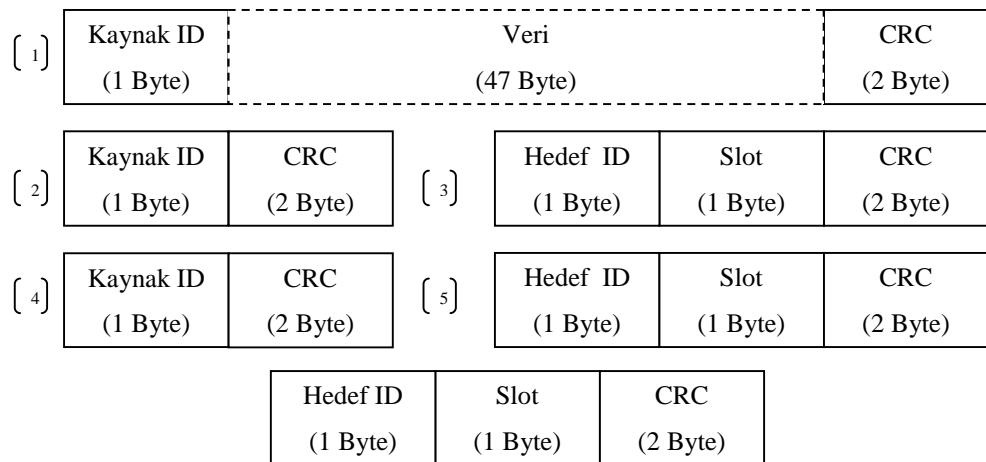
ekil 3.14 : RTS almak yerine kendi RTS'sini ba ka dü üme gönderen algılayıcı dü ümler

3.4.1.4 EDSMAC

Enerji etkin ve gecikme duyarlı ortam erişim kontrol protokolü olarak adlandırılmıştır. Kablosuz algılayıcı ağlarda enerji kullanımını ve gecikmeleri en aza indirmek için kullanılan bir diğer protokol EDSMAC protokolüdür (Çeken, 2008). TDMA tabanlı olan bu protokole algılayıcı düğümler merkez düğüm üzerinden birbirleriyle haberleşmektedirler. İletim zamanı slotlara bölünerek her algılayıcı düğüm kendine ayrılan slot zamanında paketini göndermektedir. Gecikme duyarlılığı olan algılayıcı düğümler için daha fazla slot tahsis edilmektedir.

Enerji tüketiminin azaltmak için gecikme duyarlılığı olmayan algılayıcı düğümler belirli aralıklarla uyku moduna geçirilir. Gecikmeye duyarlı olan algılayıcı düğümler uyku moduna geçen düğümlerin slot zamanında da iletim yapmaktadırlar. Böylelikle gecikmeye duyarlı algılayıcı düğümlere fazladan slot tahsis edilmiş olmaktadır. Bu özellik sayesinde kuyrukta beklemeler ve uçtan uca gecikmeler azalmakta fakat algılayıcı düğümün enerji tüketimi artmaktadır. Uyku modunda olan algılayıcı düğümlerde ise enerji tüketimi azalmakla beraber kuyruk gecikmeleri ve noktadan noktaya gecikmeler meydana gelmektedir.

Şekil 3.15'te EDSMAC protokolünde kullanılan paket formatları görülmektedir. (1) Veri paketi, (2) Başlangıç istek paketi, (3) Başlangıç cevap paketi, (4) Ek slot istek paketi, (5) Ek slot cevap paketi ve (6) Slot iptal paketi olarak kullanılmaktadır. EDSMAC protokolünde algılayıcı düğüm ve merkez düğümler olmak üzere 2 tip düğüm mevcuttur (Çeken, 2008).



Şekil 3.15 : Protokolünde kullanılan paket formatları

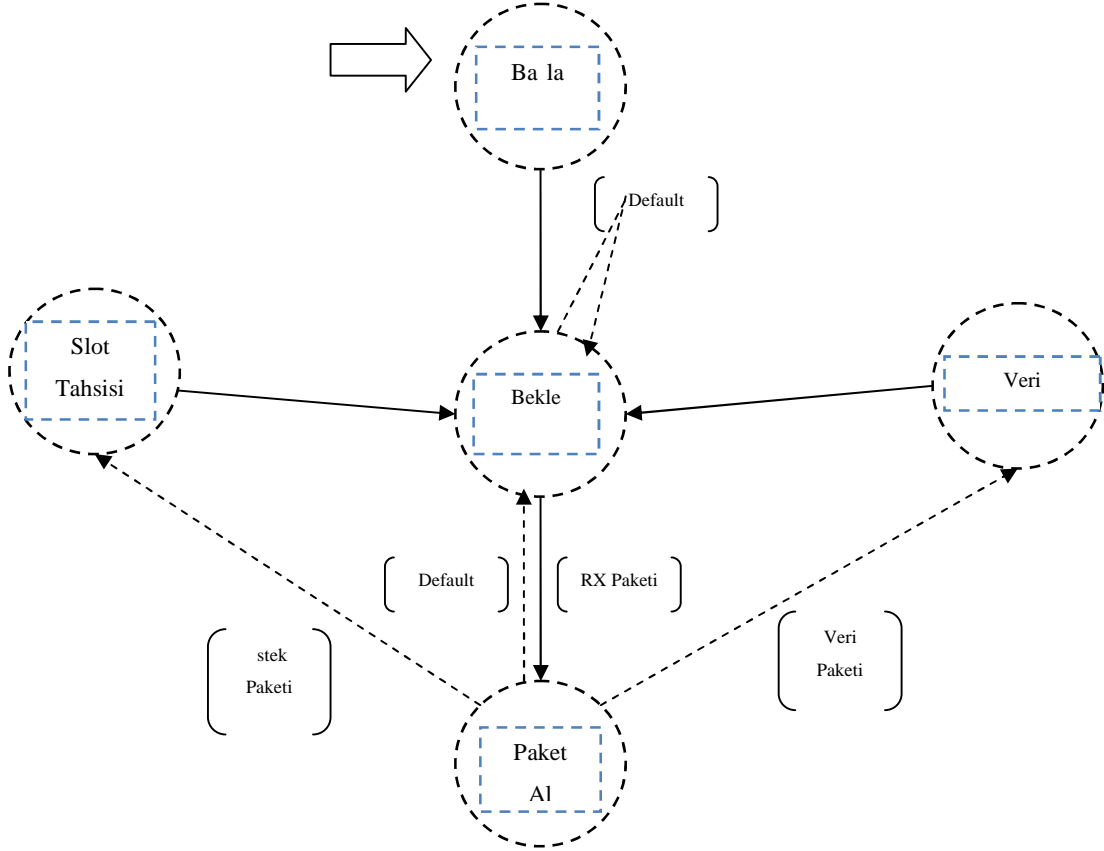
- EDSMAC Protokolü Algılayıcı Döüm Modeli:** Kablosuz algılayıcı a larda bulunan algılayıcı döüm ba lantı istek paketini üretip merkez döüme göndererek ba lantı iste inde bulunur. Merkez döüm algılayıcı döüme ba lantı cevap paketini göndererek kullanaca ı slotu bildirir. Algılayıcı döüm hazırladı ı paketi göndermek isterse hazırlanan paket veri paketi halinde getirilir kuyru a atılır. E er o anda kullanılan slot o algılayıcı döüme aitse paket kuyruktan alınır, hedefe gönderilir ve bir sonraki zaman dilimine kesme ayarlanır. E er slot o algılayıcı döümüne ait de ilse paket gönderilmeden bir sonraki zaman dilimine kesme ayarlanır. Gecikme duyarlılı ı olan algılayıcı döümlerde kuyrukta bulunan paketler üst e ik de erini geçerse ek slot talebinde bulunabilirler. Bunun için merkez döüme ek slot istek paketi gönderilir. Merkez döüm ek slot cevap paketi üreterek istekte bulunan algılayıcı döüme tahsis etmi oldu u ek slotu bildiren paketi gönderir. Gecikme duyarlılı ı bulunmayan algılayıcı döümlerin radyo iletim fonksiyonları belirli zaman aralıklarında kapatılarak uyku moduna geçmeleri sa lanmaktadır. Bu durumda iletim yapılmamaktadır. Fakat üreteçten gelen paketler parçalanarak kuyru a gönderilmektedir. Uyku modu bitti inde iletim yeniden ba lamaktadır (Çeken, 2008) .
- EDSMAC Merkezi Döüm Modeli:** Merkez döüm algılayıcı döümden kendine gönderilmi olan ba lantı istek veya ek slot paketlerini alarak de erlendirir. Bunların dı nda gelen her paket de erlendirilmeden yok edilir.

Merkez döüme veri paketi geldi inde ilk olarak paketin hedef bilgisine bakılır. Ardından istatistiksel bilgi almak için paket ilgili modüle gönderilir.

Merkez döüme ba lantı istek paketi geldi inde slotların hangi terminal tarafından kullanıldı nı gösteren slot tablosuna bakılır ve ba lantı iste i için ayrılan slotlardan bo bulunan ilk slot algılayıcı döüm için ayrılarak slot tablosu güncellenir. Bu i lem sonucunda algılayıcı döüme cevap paketi gönderilerek kendisi için ayrılan slot bildirilir (Çeken, 2008).

Merkez döüme ek slot istek paketi geldiyse ek slot tahsisi için ayrılan bölümde bo slot varsa algılayıcı döüm için ayrılır ve algılayıcı döüme ek slot cevap paketi gönderilir. Ek slotun yoksa rastgele bir slot tahsis edilir. Bu i lem sonunda da algılayıcı döüme ayrılan ek slotu bildiren ek slot cevap paketi

gönderilir. Ayrıca daha önce bu slotu kullanan diğer algılayıcı düğümüne slot iptal paketi gönderilerek slotun iptal edildiği bildirilir. Şekil 3.16'da merkezî düğüm işlem modeli görülmektedir (Çeken, 2008).



Şekil 3.16 : Merkezî Düğüm İşlem Modeli

3.4.2 Yönlendirme Protokolleri

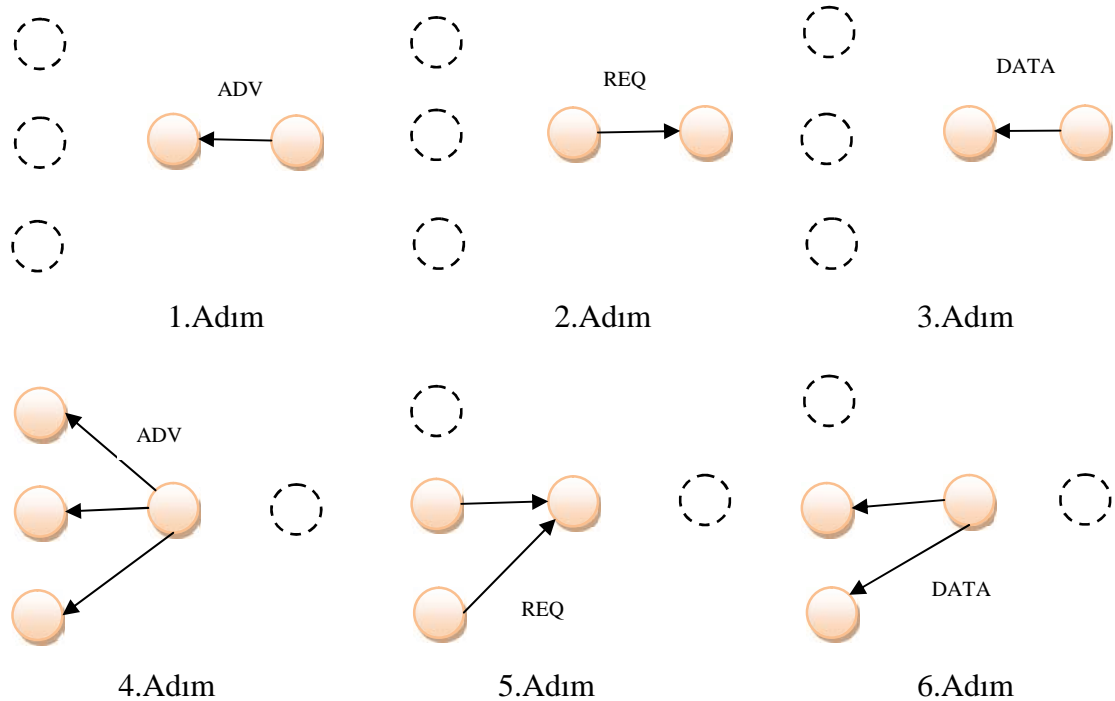
Yönlendirme KAA'ların başlıca problemlerinden birisi olup bu probleme yönelik çözüm yolları geliştirilmeye devam etmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlara yönelik problemlerden dolayı etkin bir yönlendirme algoritması geliştirmek zordur. Bu zorluklar mevcut geliştirilmiş yönlendirme algoritmalarını KAA'larda kullanımını engellemektedir. Bu nedenle KAA'lara özel yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesi kaçınılmazdır. Sonraki bölümde KAA'lar için geliştirilmiş bazı yönlendirme algoritmaları anlatılacaktır.

3.4.2.1 SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation-Görü me Tabanlı Algılayıcı Protokolü)

Bu protokolde her bir noktadaki bilgi a üzerinde tüm noktalara yayılır. Böylelikle istenilen herhangi bir noktaya yapılan sorgudan hemen sonuç alınabilmektedir. SPIN yönlendirme protokolünde noktalardan toplanan verilerde verilerin özelliklerini içeren bir kısım bulunur (metadata) (Kulik, Heinzelman, & Balakrishnan, 2002). Bir veri tamamen alınmadan önce metadata'sı kontrol edilir. Böylelikle gereksiz veri transferi engellenerek enerji verimlili i sa lanır (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002), (Kulik, Heinzelman, & Balakrishnan, 2002).

ekil 3.17'de görüldü ü gibi SPIN protokolünde dü ümler arası 3 adet i lem yürütülür (Kulik, Heinzelman, & Balakrishnan, 2002). Bunlar;

1. Yeni bir veri oldu unda dü üm ADV (ilan) paketi yayımlar.
2. Verisi olmayan dü ümler gelen ilan paketini kabul etmek için REQ paketi gönderir.
3. Veri talep eden dü ümlere DATA paketi ile veriler gönderilir.



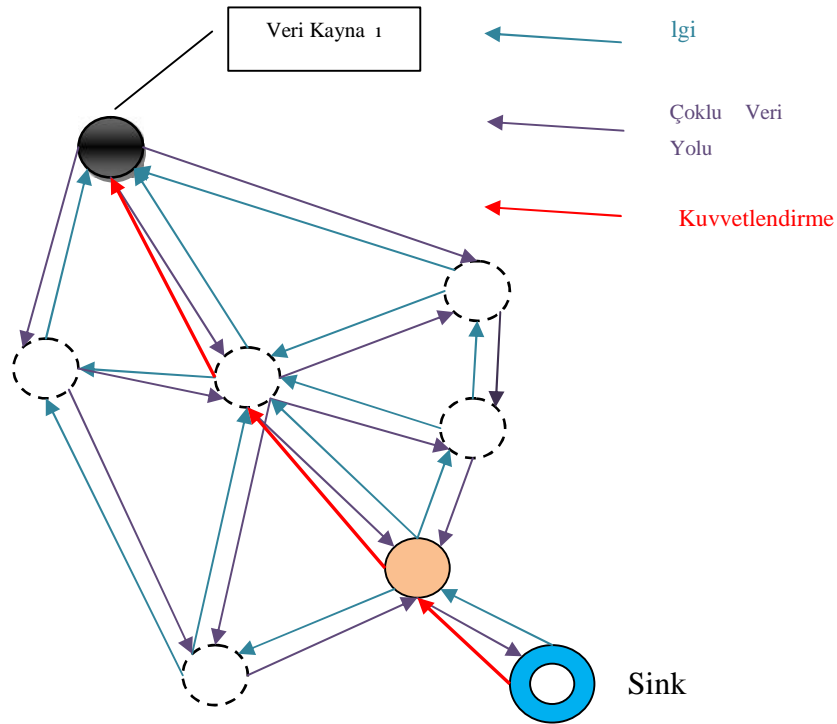
ekil 3.17 : SPIN Yönlendirme Protokolünde Dü ümler Arasındaki i lem (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002)

3.4.2.2 DD (Directed Diffusion-Do rudan Yayılma)

Do rudan yayılma protokolü veri merkezli bir protokoldür. Enerjiyi verimli kullanabilmek için veriler için niteliksel olarak adlandırılır. Bitkilerin gözlenmesinde kullanılan algılayıcı düğümlerden çiçekli bitkiler hakkında bilgi alınması örnek verilebilir (Intanagonwiwat, Govindan, Estrin, Heidemann, & Silva, 2003).

SINK algılayıcı düğümlerden istediği bilgi için sürekli istek yayınlar. İstediği alan düğümler SINK'e talep edilen bilgiyi gönderir. SINK'e ilk bilgi ulaştığında SINK gerçek veriyi elde etmek için en elverişli yolu belirler. Bu yolu belirlerken en iyi performans gösteren düğümler seçilir. Bu işlem kuvvetlendirme (reinforcement) olarak adlandırılır. Şekil 3.18'de bu işlem gösterilmektedir (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002) (Intanagonwiwat, Govindan, Estrin, Heidemann, & Silva, 2003).

Bazı durumlarda SINK'in belirlediği düğüm üzerinde veri sorgulaması esnasında kalite düşerse kullanılan düğüm değiştirilebilir. Bu işlem negatif kuvvetlendirme olarak adlandırılır (Intanagonwiwat, Govindan, Estrin, Heidemann, & Silva, 2003).



Şekil 3.18 : Do rudan yayılma ile SINK'in veri elde etmesi

3.4.2.3 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy- Dük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerarisi)

Dük enerjili adaptif kümeleme hiyerarisi da ıtılmı küme olu umu içeren küme tabanlı bir protokoldür. Küme ba elamanları rastgele seçilir ve enerji durumlarına göre dönü ümlü olarak de i ir (Heinzelman, Chandrakasan, & Balakrishnan, 2000). Veri i leme ve toplama i lemleri küme ba ı seçilen dü üm tarafından yürütülür. Küme içerisinde küme ba ları kullanılacak kodu seçer. Kümelerarası ileti imde CDMA kullanılır. Küme ba ları küme içerisinde dü ümlerin gönderim zamanlarını belirler. Küme içerisinde TDMA kullanılır. Böylelikle küme içerisinde ve kümeler arası ileti imde çakı malar azaltılmı olur (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002), (Heinzelman, Chandrakasan, & Balakrishnan, 2000), (Ahmed, Shi, & Shang, 2003).

LEACH protokolünde rastgele küme ba ı da ılım nedeni ile düzensiz bir küme ba ı seçimi olu abilir. Bu da verinin güvenilir olmadan elde edilmesine neden olabilir. Ayrıca düzensiz yerle im gereksiz haberle meye neden olabilmektedir.

3.4.2.4 PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems- Enerji Verimli Sensör Bilgi Sistemi)

Bu protokolde dü ümler küme olu turmak yerine sıralanmı larıdır. Dü ümler sadece en yakınındaki kom u dü ümle ileti im yapabilmektedir ve sadece rastgele seçilen tek bir dü üm SINK'e bilgi gönderebilmektedir (Ahmed, Shi, & Shang, 2003), (Lindsey & Raghavendra, 2002).

Sadece birbirine yakın dü ümler arası iletim oldu unda a ın ya am süresi artmaktadır. Veri sıra ile (zincir halinde) birçok dü ümden geçmektedir. Bu protokolde kar ıla ılan ana problem gecikmedir.

3.4.2.5 GEAR (Geographical and Energy Aware Routing-Co rafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme)

GEAR (Geographical and Energy-Aware Routing) algoritması sorgu-yanıt modelini kullanır. Her dü ümün, kendi konumunu, enerji seviyesini, kom ularının konumları ve enerji seviyelerini bildi ini varsayar. İlk evre boyunca, sorgu, enerji-bilinçli ve co rafik bilgiye sahip kom u seçme yöntemleri kullanılarak R bölgesine

gönderilir. kinci evrede, Özyineli Co rafi letim (Recursive Geographic Forwarding) veya Kısıtlanmı Ta ma (Restricted Flooding) R bölgesine paketi yaymak için kullanılır.

4 S MÜLASYON

4.1 Giri

Günümüzde KAA projelerinin ölçekleri geni lemi ve daha karma ık bir hale gelmi tir. Bu nedenle proje geli tiricilerin, a simülasyon teknolojilerini kullanmasını zorunlu hale gelmi tir. Simülasyon ara tırmacılarının, KAA'lar için kontrol edilebilen çevresel ortamlar üzerine çalı maları ile bozuk ve gürültülü ortamlarda - gerçek ortam -, dü ümlerin kar ılıklı fonksiyonlarının, gerçekleştirilen protokollerin ve mimari yapının izlenebilmesini sa lamı tır. Bu sayede a ın bakım süresi ve maliyeti dü mekte, a ın ba arımı ise artmaktadır. Sa ladı ı faydalar nedeni ile KAA'lar için geli tirme yapılırken öncelikle simülasyon programları üzerinde geli tirilen yapı ko turulur. Simülasyon sonuçlarına göre gerekli de i iklikler yapılarak geli tirilen protokol/mimari son halini alır. Daha sonra uygulama ortamına geçilir.

KAA'lar için kullanılan güncel simülasyon programlarının bazıları;

- ns-2
- ns-3
- OMNeT++
- JiST
- SimPy

eklinde sıralanabilir. Bu bölümde simülasyon programları irdelenecek ve bu tez çalı masında kullanılan OMNeT++ programının Castalia simülasyon modelinin neden seçildi i detayları ile anlatılacaktır. Castalia simülasyon programı için verilen bilgiler simülasyon programının geli tiricilere sundu u kullanım dokümanından alınmı tır [43].

4.2 Günümüzde Kullanılan Simülasyon Programları

4.2.1 ns-2

ns-2 için a simülasyonları C++ kodlarından olu ur. Bu simülasyon dü ümlerinin davranı larını modellemek için kullanılır. Örnek a topolojisi için oTcl betik programlama dili ile simülasyonu kontrolü ve ilave yönlendirme i lemleri yapılır. Bu tasarım seçimi ile simülasyon ayarlarının de i tirilmesiyle yeniden gereksiz yere programın derlenmesinin önüne geçilmi tir (Henderson, Roy, Floyd, & Riley, 2006).

ns-2'nin ilk sürümünün 1996'da yayınlandığı ve o yıllarda C++ programının yeniden derlenmesinin çok zaman aldığı düşünüldüğünde tercih edilebilecek bir neden olarak görülebilir. Ancak bu günün perspektifinden bakılacak olursa ns-2'nin yeniden derleme süresini azaltmak için simülasyon performansından feragat edildiği görülebilir. Eğer bir ara tırnaççıların genel leylebilirlik durumu ile ilgileniyorsa, ihtiyacı olan simülasyon performansı olduğu için ns-2'nin bu tasarım seçimi tartışılabilir (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

4.2.2 ns-3

ns-2 ile benzerdir ve ns-3 simülasyon modelinin uygulama yapısı C++'a dayanır. Ancak ns-3 simülasyonu kontrol etmek için oTcl betik dilini kullanmamaktadır. Böylece ns-2'de oTcl ve C++'ın beraber kullanılmasından kaynaklanan problemler sona ermiştir. A simülasyonlarında ns-3 uygulamaları saf C++ ile gerçekleştirilmek yerine simülasyonun bir parçasını opsiyonel olarak Python gibi bir dille gerçekleştirilebilmesine olanak vermiştir. ns3 iyi genel leme karakteristiğine sahip bir simülatör olan GTNeTs'den mimari konseptini ve kodlarını entegre etmiştir. Ancak bu tasarım kararları beraberinde uyumluluk maliyetinin artmasına sebep olmuştur. Hatta ns-2 modellerinin ns-3'e taşınması için emelleri elle yapılmıştır. Ayrıca gerçek uygulamalarda kullanılan POSIX emelci (thread), Berkeley soketleri gibi API standartlarını da desteklemektedir. Bu API'ler transparan olarak simülasyon ile entegre edilmiştir. (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009)

4.2.3 OMNeT++

ns-2 ve ns-3'ün tersine tanımlamaya göre OMNeT++ bir simülasyon programıdır, genel amaçlı ayrık olay tabanlı (discrete event based) simülasyon frameworküdür. A simülasyon alanında sıkça kullanılır. Örneğin INET paketi ile kapsamlı internet protokol modelleri, OMNeT++ Mobility Framework ve Castalia paketleri ile de mobil ad-hoc ağlar ve kablosuz sensör ağları gibi modellemelerde kullanılmaktadır (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

OMNeT++ basit modüllerden oluşur ve bu basit modüller belli bir protokol gibi bir modelin atomik davranışını gerçekleştirir. Birçok basit modül ve birleşik modül birbirine bağımlıdır. Örneğin protokol modülleri gibi birçok basit modül birlikte bir

bir model olu turur. Bu modeller birle erek bir dü ümün davranı mı modelleyebilir (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

ns-2 ve ns-3 simülatörleri gibi OMNeT++ da basit modüllerin uygulanmasında C++ kullanılır. Ancak basit modüllerin birle ik modüller içerisindeki yerle imi ve a simülasyon ayarları NED (network description language) ile yapılır. Simülasyonun tamamı derlenirken bu NED dilindeki dosyalar arka planda C++ kodlarına çevrilir. Dahası NED a tanımlamalarında de i ken parametreleri destekler. Örne in kullanılacak dü üm sayısı dinamik olarak i aretlenir ise ve daha sonra simülasyonun çalı ması sırasında bu parametre ayarlanabilir. Bu durumda modüllerin gösterdi i dü ümler dinamik olarak simülasyon çalı rken anlık de i tirilebilir. Bu özellik simülatörün ba arılı nesne tabanlı mimarisinin sonucudur (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

4.2.4 JiST

A simülasyonuna yeni bir yakla ım olan JiST (Java in Simulation Time) adından da anla ılaca ı gibi a simülasyonlarında standart java dilini desteklemektedir. JiST mobil ad-hoc a lar için SWANS (Scalable Wireless Ad-hoc Network Simulation) ile uyumlu olarak çalı ır (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

JiST'te a simülasyonları varlık desteklidir ve bu varlıklar örne in dü ümler, a elemanları olarak temsil edilir. Örne in dü ümler, bu varlıklar arası metod ça ırılırları tarafından, simülasyon olayları ile olu turulmaktadır. Bu simülasyon olayları, simülasyon çekirde i bildirim tarafından, simülasyon zamanından ba ımsız olarak ilerler. Varlık içerisindeki kod çalı tırılırken sıradan bir Java programı gibidir. Sadece bireysel varlıklar arasındaki etkile im simülasyon zamanında yürütülür. Böylece varlıklar arasındaki bu etkile imler e zamanlama noktalarına kar ılık gelir ve farklı varlıklardaki kodların paralel çalı tırılmasını kolayla tırarak performans kazancı sa lar. Simülasyon zamanında uygulama çalı tırmak için JiST özel bir dinamik Java sınıf yükleyicisinden faydalanır. Bu yükleyici uygulamanın byte kodlarını yeniden yazar (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

Malesef JiST in resmi olarak geli tirilmesi durmu tur. Orjinal yazarı olan Rimon Barr tarafından daha fazla bakımı ve geli tirilmesi yapılmamaktadır. Ancak bazı

geli tirmeler ve iyile tirmeler Ulm Üniversitesi tarafından yapılmaktadır (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

4.2.5 SimPy

SimPy di er simülasyon programlarının aksine genel bir a modeli yoktur. Bunun yerine Python'da yazılmış çıplak simülasyon API'leri bulunur. SimPy'de basit simülasyon varlıkları, i lemlerdir. Bunlar paralel çalıştırılır ve birbirleri arasında Python objelerini de i tirebilirler. li kili objelerin de i imi ve i lemlerin soyutla tırılması dı nda SimPy simülasyon i lemlerinin e zamanlanması için yönergeler ve simülasyon verilerinin izlenmesi için komutlar sa lamaktadır (Weingartner, Lehn, & Wehrle, 2009).

4.3 Castalia Simülasyon Programı

4.3.1 Giri

Castalia kablosuz algılayıcı a lar, vücut alan a ları (BAN-Body Area Network) ve genellikle dü ük enerjili tümle ik cihazlar için yaygın olarak kullanılan bir simülatördür. OMNeT++ platformu tabanlı ve özellikle telsiz (radyo) eri imi ile ilgili gerçekçi dü üm davranı ları ile telsiz modellerinde ve gerçekçi telsiz kanalında, da ıtık algoritmaları ve/veya protokolleri test etmek için ara tırmacılar ve geli tiriciler tarafından kullanılmaktadır. Geni bir platform aralığını simüle edebildi i ve çok parametrik oldu undan Castalia özel uygulamalar için farklı platform karakteristiklerini hesaplamak için de kullanılır. Castalia'nın ana özellikleri unlardır;

- Deneysel ölçülmü veriye dayalı geli mi **kanal modeli**
 - Model bir yol kaybı (path loss) haritası tanımlar, basitçe dü ümleri birbirine ba lamaz.
 - Yol kaybının zamansal de i imi için karma ık model sunar.
 - Dü ümlerin hareketlili ini tam olarak destekler.
 - Giri im (interference) alınan sinyalin gücü olarak ele alınır, ayrı bir özellik olarak ele alınmaz.
- Dü ük güçlü haberle me için gerçek telsizlere dayalı geli mi telsiz modeli sunar.

- Alım olasılığı SINR'a, paket büyüklüğüne, modülasyon tipine dayalıdır. Tanımlanan SNR-BER e risi tarafından izin verildiği ölçüde özel modülasyonu desteklenir. PSK ve FSK tamamen desteklenmektedir.
- Çoklu TX güç seviyeleri ile özel düüm varyasyonlarına izin verir.
- Farklı enerji harcanma durumları ve gecikmeler ile birbirleri arasındaki geçişler gerçekçidir.
- RSSI ve taşıyıcı algılaması gerçekçi olarak modellenmiştir.
- Geni letimli algılama modellemesi yapar.
 - Çok esnek fiziksel ileme modeli vardır.
 - Cihaz gürültüsü algılama, bias, ve enerji harcaması
- Düüm zaman kayması (clock drift) tanımlaması bulunur.
- MAC ve yönlendirme protokollerini destekler.
- Adaptasyon ve geni leme için dizayn edilmiştir.

eklinde özetlenebilir.

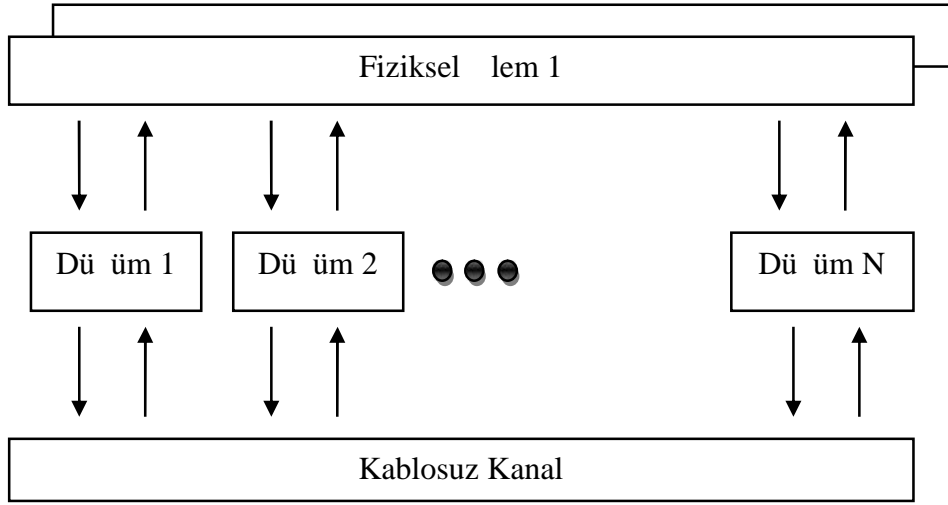
4.3.2 Castalia'ya genel bakı

Castalia simülasyon altyapısı olarak OMNeT kullanılmaktadır. Bu nedenle OMNeT'in konseptini az da olsa bilinmesi ara tırmacılara ve geli tiricilere kolaylık sağlayacaktır. Buna rağmen ara tırmacı/geli tirici e er kensi uygulamasını/protokolünü geli tirmeyip Castalia'yı temel simülasyonlar için kullanacak ise OMNeT'i bilmesine gerek yoktur.

OMNeT'in temel konseptleri modüller ve mesajlardır. Basit modül çalıştırılabilen temel birimdir. Modül kendisinden ya da diğer modüllerden gelen mesajları kabul eder, gelen mesaja göre kodun bir bölümü çalışır. Kod durumunu koruyabilir, yeni mesaj geldiğinde de i ebilir ve mesaj gönderebilir. Basit modüllerin dışında birle ik modüller de vardır. Birle ik modüller basit ya da birle ik modüllerin bir araya gelmesi ile oluşur.

4.3.3 Castalia'nın yapısı

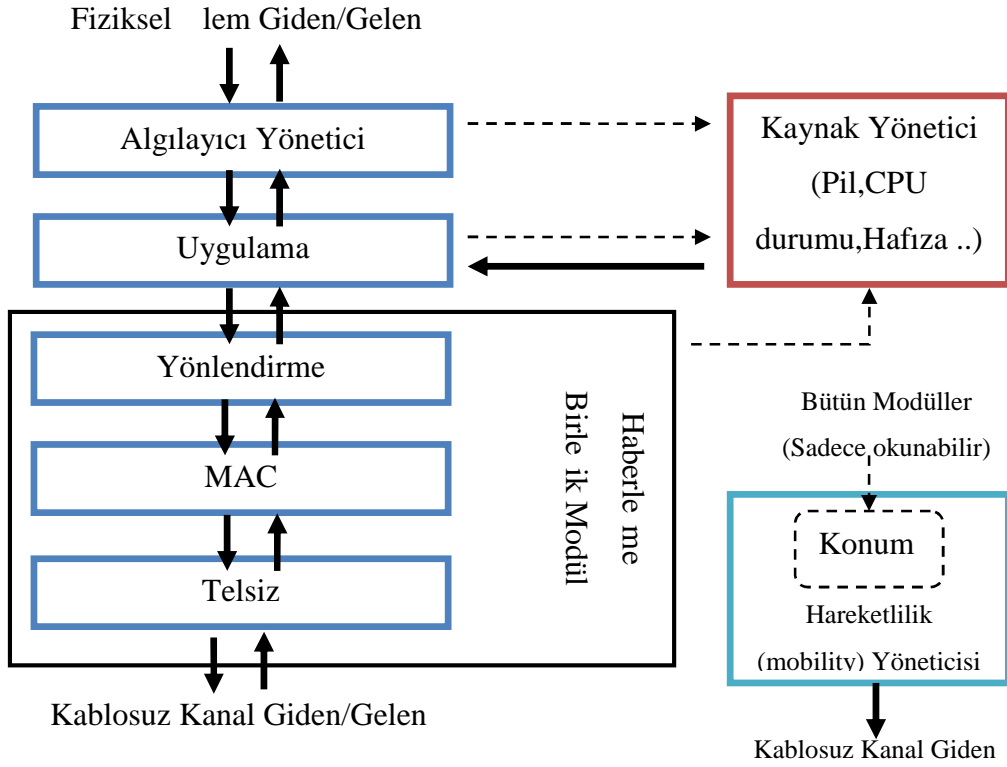
Castalia'nın basit modül yapısı ekil 4.1'de görüldüğü gibidir.



ekil 4.1 : Castalia'da Modüller ve Bağlantıları

ekil 4.1'de görüldüğü gibi düğümler birbirlerine doğrudan bağlantı olmayıp kablosuz kanal sayesinde birbirlerine bağlıdır. Oklar bir modülden diğerine mesaj göndermeyi ifade etmektedir. Eğer bir düğümün gönderilmek üzere bir paketi var ise bu kablosuz kanala gönderilir. Daha sonra haberleşme modülü tarafından hangi düğümün bu paketi alabileceğine karar verilir. Düğümler fiziksel ilemler ile de birbirine bağlıdır. Her fiziksel işlem için bir modül vardır. Bu modül fiziksel işlemi ve büyüklüğünü tutarak temsil eder. Düğümler algılayıcı okumaları için bağlı buldukları modüllerden gelen mesajlarla belirli zamanda ya da aralıkta fiziksel işlemleri örnekler. Ayrıca çoklu fiziksel işlem olabilir. Buna karşılığında düğümde çoklu algılayıcı modül kullanılabilir.

Bir düğüm birleşik modüllerden birisidir. Birleşik düğüm modelinin iç yapısı ekil 4.2'de gösterilmiştir. Düz oklar mesaj geçişini ve kesikli oklar ise basit fonksiyon çağrılarını göstermektedir. Örneğin birçok modül harcanan enerji sinyali için Kaynak Yöneticisi'nin bir fonksiyonunu çağırır. Uygulama modülü yeni modül oluşturmak ve yeni algoritmaları uygulamak için kullanıcıların en çok değer verdiği modüldür. Haberleşme modülleri olan MAC ve Yönlendirme Modülleri de Hareketlilik Yöneticisi gibi kullanıcı tarafından hareketlilik tablosu ve protokol geliştirmeleri için kullanılır.



ekil 4.2 : Dü üm Birleşik Modülü ç Yapısı

Castalia tanımlanan soyut (abstract) sınıflar vasıtası ile kullanıcıların kendi uygulamalarını ve protokollerini oluşturmalarına destek sağlar. Var olan bütün modüller sahip oldukları birçok parametre ile istenilen şekilde ayarlanabilir.

4.3.4 Konfigürasyon dosyasının yapısı ve bazı parametreleri

Bölüm 4.3.2 ve Bölüm 4.3.3’de bahsedildiği gibi Castalia birbirine bağımlı birçok modül ile modüller bir yapıdır. Her bir modül kendi davranışlarını etkileyen birçok parametreye sahiptir. Bir NED dosyası tanımlanan giriş/çıkış kapıları ve parametreler ile bir modülün basit yapısını tanımlar. Konfigürasyon dosyası (genellikle omnetpp.ini olarak adlandırılır) parametrelere değer atar ya da başlangıç değerinin üzerine istenilen konfigürasyonu yeniden atar. Bu şekilde birçok simülasyon senaryosu oluşturulabilmektedir.

```
[General]
include ../Parameters/Castalia.ini

sim-time-limit = 100s

SN.field_x = 200           #metre
SN.field_y = 200           #metre

SN.numNodes = 3
```

Yukarıdaki örnekte "#" i areti ve sonrası o kısmın açıklama oldu unu belirir. Konfigürasyon dosyası "General" bölümü ile ba lar. Bütün OMNeT konfigürasyonunda "General" bölümü olmak zorundadır. Konfigürasyon dosyasının içerisinde "General" bölümünde simülasyonun temel senaryosu ile ilgili ayarlar yapılır. Simülasyon zamanı, kullanılacak dü üm sayısı gibi parametreler ba langıç de erine sahip de ildir ve bu nedenle bu bölümde tanımlanmalıdır.

General bölümünün ilk satırı "include" komutu ile ba lar. Bir argüman içeren ve Adından da anla ılaca ı gibi belirtilen dosyanın içeri ini mevcut konfigürasyon dosyasına dahil eder. Bu örnekte her Castalia simülasyonunun ihtiyacı olan temel parametrelerini ald ı ı Castalia.ini dosyası konfigürasyon dosyasına dahil edilmi tir. Bu nedenle her Castalia konfigürasyon dosyası Castalia.ini dosyasını içermelidir.

Sonraki satırda simülasyon süresi (örnekte 100 saniye) tanımlanmı tır. Bu sadece OMNeT'in genel parametrelerinden birisidir ve Castalia konfigürasyon dosyasında de er ataması yapılmı tır. Di er bütün parametrelerin "SN" ile ba lad ı ı görülmektedir. SN en çok kullanılan bile ik modüldür. SN (Sensor Network) algılayıcı a ın kısaltmasıdır. Yukarıdaki parametreler ayarlandıktan sonra yerle im tipi, dü üm sayısı ya da a ın alan büyüklü ü gibi birkaç parametre daha vardır. Alan büyüklü ü 3 gerçek sayı tarafından tanımlanır ve herbiri x,y,z aksisleridir. Tanımlama yapılırken sadece iki tanesini vermek yeterlidir (z aksisinin ba langıç de eri "0" dır). Di er bir parametre olan dü üm sayısı bir tamsayı olarak verilir. SN.deployment parametresi ise dü ümlerin alan içerisindeki nerelere yerle tirilece ini tanımlayan bir string ifadedir. E er bu parametre (örnekte oldu u gibi) bo bırakılırsa her bir dü ümün konumları xCoor, yCoor, zCoor parametreleri ile ve genellikle omnetpp.ini dosyasında elle girilir. SN.deployment parametresi u ekillerde tanımlanabilir;

- "**NxM**": N ve M tamsayıdır. N dü üme M dü üm grid ekinde yerle tirilmesi için kullanılır.
- "**NxMxK**": 3 boyutlu grid olarak yerle tirilmesi için kullanılır.
- "**randomized_NxM**": Dü ümler Grid çevresine NxM ekinde rastgele da ıtılması için kullanılır.
- "**randomized_NxMxK**": Dü ümler NxMxK ekinde gridin çevresine rastgele da ıtılması için kullanılır.
- "**center**": Alanın merkezine yerle tirilmesi için kullanılır.

Yerle im yaparken bu stringleri karı ık ekinde kullanabilir:

N1..N2]->tip;[N2..N3]->tip;... N_x dü üm ID'si tip ise yukarıda verilen de erlerden birisidir.

Üst seviye parametreleri ayarladıktan sonra modül parametrelerini ayarlanabilir. Modülün hiyerar ik yapısında oldu u gibi tam adıyla a a ıdaki örnekte görüldü ü gibi yazılır. Bu örnekte kablosuz kanalın bazı parametreleri ayarlanmı tır.

```
SN.wirelessChannel.onlyStaticNodes = false
SN.wirelessChannel.sigma = 0
SN.wirelessChannel.bidirectionalSigma = 0
```

Her dü ümün haberle me birle ik modülünün bir parçası telsizdir ve her dü üm için radyo tanımlamalarının yapılması gerekir. Konfigürasyon dosyasında bu ayarların tek tek girilmesi zor olaca ı için

```
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile =
    "../Parameters/Radio/CC2420.txt"

SN.node[*].Communication.Radio.TxOutputPower = "-5dBm"
```

örnekte görüldü ü gibi "[*]" ekinde bütün dü ümler için gereken ayar yapılmı tır. Yukarıdaki örnekte telsiz için iki parametre ayarlanmı tır. *RadioParametersFile* telsizi bazı temel operasyonel ayarlarını içeren özel formatta dosyanın tanımlaması yapılmı ve *TxOutputPower* ile telsiz biriminin gönderim yaparken güç ayarı yapılmı tır.

Algılayıcı a birle ik modülü (SN) birçok alt modül içerir. Bunlar bir dizi formunda adreslenir. A a ıdaki örnekte 9 ID'li dü ümün xCoor parametresinin nasıl ayarlanacağı gösterilmiştir.

```
SN.node[9].xCoor = 10.5
```

Ancak birçok dü üm ile ilgili bir ayar girilmesi gerekirse bunun için a a ıdaki özel karakterler kullanılabilir.

```
[*] : bütün indeksler  
[3..5] : 3,4,5 indeksleri  
[..4] : 0,1,2,3,4 indeksleri  
[5..] : 5 ve sonraki indeksler
```

A a ıdaki örnekte ise bütün dü ümlerin haberleşme katmanı için, izin verilen maksimum paket büyüklü ü belirtilmiştir.

```
SN.node[*].Communication.Routing.maxNetFrameSize =  
2500  
SN.node[*].Communication.MAC.maxMACFrameSize = 2500  
SN.node[*].Communication.Radio.maxPhyFrameSize = 2500
```

Daha önce telsiz biriminin *RadioParametersFile* ile nasıl seçildi i gösterilmiştir. Bu örnekte ise MAC protokolünün ve yönlendirme algoritması için kullanılan parametreler verilmiştir.

```
SN.node[*].Communication.MACProtocolName  
SN.node[*].Communication.RoutingProtocolName
```

Yukarıdaki parametrelerin başlangıç değerleri "BypassMAC" ve "BypassRouting"dir. Herhangi bir parametre için başlangıç değerini öğrenmek için o modülün *.ned* dosyasına bakmak gerekir. Örnek olarak *src/node/communication/CommunicationModule.ned* dosyası verilebilir.

E er *BANtest/omnetpp.ini* dosyasına bakılacak olunursa *MACProtocolName* parametresi atanmıştır.

```
SN.node[*].Communication.MACProtocolName =  
"BaselineBANMac"
```

Burada *MACProtocolName* parametresi için var olan protokollerden birini ya da kendi geliştirdiğimiz modül seçilebilir. Böylece simülasyonda bu parametrenin değiştirilmesi ile simülasyonda modüllerin kompozisyonu dinamik olarak kontrol edilebilir. Bu özelliğin sonucu olarak, seçilen modüle bağlı, mevcut parametreler de değişir. Farklı MAC modülleri farklı parametreleri destekler. Castalia konfigürasyon dosyasında 4 çeşit modül dinamik olarak seçilebilir. Bunlardan 2 tanesine *MAC* ve *Yönlendirme* modüllerinden daha önce bahsedildi. Bu modüllerin dışında 2 modül daha vardır. Bunlar *Uygulama* ve *Hareketlilik Yöneticisi* modülleridir.

Aşağıdaki örnekte *radioTest* uygulamasında kullanılacak uygulama modülü seçilmiştir.

```
SN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"  
SN.node[*].Application.packet_rate = 5  
SN.node[*].Application.constantDataPayload = 2000  
SN.node[0].Application.collectTraceInfo = true
```

ApplicationName parametresi ile uygulama modülü seçilmiştir. *ThroughputTest* uygulaması bütün düğümlerden, merkez düğüme trafik oluşturmaktadır. Uygulamanın parametreleri olan paket oranı ve paket büyüklüğü konfigürasyon dosyasında kolayca değiştirilebilir. Bu uygulamada başlangıç olarak merkez düğüm "0" indeksli düğümdür ve bu değiştirilemez. "0" numaralı düğümün uygulama modülü için izleme bilgilerinin toplanma özelliği yukarıdaki örneğin son satırında aktif hale getirilmiştir. Böylece *Castalia-Trace.txt* dosyası hesaplanıp oluşturulacak ve sadece "0" numaralı düğümün uygulama modülü olaylarını içerisinde barındıracaktır. Bütün Castalia modülleri *collectTraceInfo* parametresine sahiptir ve başlangıç olarak "false"dir. Yani izleme verilerini toplama özelliği kapalıdır.

A a ıdaki örnekte üç dü ümün ba langıç konumları ayarlanmı tır (Konfigürasyon dosyasındaki SN.deployment parametresinin ba langıç de eri "custom" dır). Dü ümler hareketli olabilmektedir. A a ıdaki örnekte "0" numaralı dü ümün hareketlilik yöneticisi modülü *LineMobilityManager* olarak tanımlanmı tır. Di er iki dü üm için *MobilityManagerName* parametresinin ba langıç de eri *NoMobilityManager* oldu u için sabit olarak tanımlanmı tır.

```
SN.node[0].xCoor = 0
SN.node[0].yCoor = 0
SN.node[1].xCoor = 50
SN.node[1].yCoor = 50
SN.node[2].xCoor = 150
SN.node[2].yCoor = 150

SN.node[0].MobilityManagerName = "LineMobilityManager"

SN.node[0].MobilityManager.updateInterval = 100
SN.node[0].MobilityManager.xCoorDestination = 200
SN.node[0].MobilityManager.yCoorDestination = 200
SN.node[0].MobilityManager.speed = 15
```

LineMobilityManager modülü dü z bir çizgi ekinde (ileri ve geri) hareket eder. Dü z çizgi, dü ümün ba langıç konumu ve *MobilityManager* modülünün *xCoorDestination* ve *yCoorDestination* parametreleri ile tanımlanan noktalar arasındır. Ayrıca hız ve güncelleme aralı ı tanımlanmı tır.

```
[Config InterferenceTest1]
SN.node[0].MobilityManagerName = "NoMobilityManager"
SN.node[1].MobilityManagerName = "NoMobilityManager"
SN.node[2].MobilityManagerName = "LineMobilityManager"
SN.node[0].xCoor = 10
SN.node[0].yCoor = 50
SN.node[1].xCoor = 0
SN.node[1].yCoor = 50
SN.node[2].xCoor = 5
SN.node[2].yCoor = 0
SN.node[2].MobilityManager.updateInterval = 100
SN.node[2].MobilityManager.xCoorDestination = 5
SN.node[2].MobilityManager.yCoorDestination = 100
SN.node[2].MobilityManager.speed = 5
```

Yukarıdaki örnekte "0" dü üümü yerine "2" dü üümü hareketli olarak tanımlanmıştır ve birbirleri ile çok yakın konumlandırılmıştır. Bu örnekte giriş davranışlarının simülasyon sonuçları görülebilir.

```
[Config varyInterferenceModel]
SN.node[*].Communication.Radio.collisionModel =
    ${InterfModel=0,1,2}
```

Yukarıdaki örnekte dü üümlerin konumlarının atanmasından biraz farklı bir konfigürasyon bölümü verilmiştir. Bu örnekte parametreye tek bir değer atanmayıp bir değer serisi atanmıştır. Bu özellik OMNeT 4.0 ve sonraki sürümlerin desteklediği bir özelliktir. Örnekteki gibi parametreye çoklu değer atamalarında simülasyon birçok kere çalışacaktır. Her bir atama için bir kere çalışır. Verilen örnekte simülasyonun 3 kere çalışacağı görülmektedir. "InterfModel" sadece bir etiket olup çıktıların izlenmesinde ve anlaşılmasında kolaylık sağlar.

```
SN.node[1].Communication.Radio.TxOutputPower =
    ${TxPower="-5dBm", "-10dBm", "-15dBm"}
SN.node[0].Communication.Radio.CCATHreshold =
    ${CCATHreshold=-95, -90, -85}
```

Yukarıdaki örnekte olduğu gibi değer birden fazla parametre çoklu değerlere sahipse, bu değerlerin bütün kombinasyonları çalışacaktır. Aşağıdaki örnekte 2 parametreye 3'er değer atanmıştır. Bu durumda simülasyon 9 kere çalışacaktır.

```
SN.node[*].Communication.MAC.scheduledAccessLength =
    ${schedSlots=6,5,4,3}
SN.node[*].Communication.MAC.RAP1Length =
    ${RAPslots=2,7,12,17}
constraint = $schedSlots * 5 + $RAPslots == 32
```

Yukarıdaki örnekte kombinasyonlara sınır koyularak konfigürasyon daha karmaşık bir hale gelmiştir. Örnekte bütün kombinasyonların yerine sadece uygun olan (6,2), (5,7), (4,12), (3,17) konfigürasyonlar çalışacaktır.

4.3.5 Yeni bir modül olu turma

Castalia daha önce de bahsedildi i gibi çok modüler bir simülasyon programıdır ve üzerine yeni modüller eklenmesine olanak verir. Bu bölümde Castalia üzerinde modül geli tirmek için temel bilgiler adım adım anlatılacaktır.

İlk adım yeni kodun Castalia klasör yapısı içerisinde, do ru yere konumlandırılması ve bu klasörün, yeni modülün kaynak dosyalarını tutacak ekilde atanmasıdır. A a ıda, geli tirilmek istenilen modüller için do ru klasör yapısı verilmi tir;

Uygulama için :	<i>src/node/application/</i>
Yönlendirme için :	<i>src/node/communication/routing/</i>
MAC için:	<i>src/communication/mac/</i>
Hareketlilik için :	<i>src/node/mobilityManager/</i>

Her bir klasör kendi içerisinde zaten alt klasörlere sahip olup, birçok farklı modül uygulamaları içerir. Yeni modül için klasör olu turulduktan sonra NED dili kullanılarak o modülün tanımlanması gerekir (modülün .ned dosyası). Bu dosya modül için olu turulan klasörün altında ve modül isminde olmalıdır. Örne in yeni modülümüzün adı "YeniCastaliaModulu" ise omnet isim standartlarına göre, olu turulacak klasörün adı "yeniCastaliaModulu" (küçük harf ile ba lanmalı) ve bu klasördeki .ned dosyasının adı da "YeniCastaliaModulu.ned" olmalıdır. Bu dosyada ilk olarak tanımlanan modülün paketleridir. Tanımlama i lemi .ned dosyasının, Castalia'nın src/ klasörüne göre göreceli konumunda "/" karakteri yerine "." karakteri konularak yapılır. Örne in ;

```
package node.communication.mac.yeniCastaliaModulu;
```

eklinde tanımlanır.

Sonraki adım modülün kendisini tanımlamaktır. Modülün bir üst klasörü "i" harfi ile ba layan bir .ned dosyasına sahiptir. Bu dosya arabirim ("interface") dosyasıdır ve modülün Castalia yapısı ile uyumlu bir ekilde çalı masını sa lar. Örnekte yeni modülün bir Castalia MAC modülü gibi tanınması için "like" ifadesi ile belirtilerek arabirim modülü referans edilir.

```
simple NewCastaliaModule like node.communication.mac.iMac
```

Daha sonra bir parametre listesi tanımlanır. Bu parametreler simülasyon konfigürasyon dosyasından, çalışma zamanında modüle iletilir. Her arabirim .ned dosyası zaten bir parametre kümesi içerir. Bu parametreler bütün MAC modülleri için zorunludur. Ancak bu parametrelere yenileri eklenebilir. Aşağıda "YeniCastaliaModulu"nın tamamı verilmiştir.

```
package node.communication.mac.yeniCastaliaModulu;  
simple YeniCastaliaModulu like node.communication.mac.iMac  
{  
    parameters:  
        bool collectTraceInfo = default(false);  
        int macMaxPacketSize = default(0);  
        int macBufferSize = default(16);  
        int macPacketOverhead = default(8);  
        int newParameter1;  
        string newParameter2 = default("default  
value");  
        bool newParameter3 = default(false);  
    gates:  
        output toNetworkModule;  
        output toRadioModule;  
        input fromNetworkModule;  
        input fromRadioModule;  
        input fromCommModuleResourceMgr;  
}
```

İlk 4 parametre *iMAC.ned* arabirim dosyasında tanımlanmıştır ve bunlar mecburidir. Her arabirim dosyası kendi zorunlu parametre kümesine sahiptir. Bu hangi modülün oluşturulduğuna bağlı olarak değişebilir. Zorunlu parametrelerden sonra 3 parametre "YeniCastaliaModulu"ne özel parametrelerdir. Bu parametreler için başlangıç değerleri belirtilebilir. Her parametre için herhangi bir başlangıç değeri atanmamış ise bu parametreler konfigürasyon dosyasında mutlaka atanmalıdır. Kapılar (gates) tamamen arabirim .ned dosyası tarafından tanımlanır ve bu bölüm arabirim dosyasındaki bölüm ile tamamen eşleşmelidir (Gates bölümü tamamen arabirim dosyasından kopyalanabilir).

Sonraki adım modülün gerçek kodunu yazmaktır. Bir modül C++ objeleri tarafından temsil edilir ve uygun base sınıftan kalıtılır. Bu i için sanal sınıflar yeni modül tanımlamalarında ana yardımcıları olup geliştirici, bu sanal sınıflarda tanımlı metodları ve yapıları kullanır.

Örnek olarak verilen "YeniCastaliaModulu" için *YeniCastaliaModulu.h* ve *YeniCastaliaModulu.cc* dosyalarını oluşturmamız gerekir. Yeni C++ sınıfları ise *.h* dosyasında tanımlanır ve modüle uygulanır. Sınıfların adı ile *.ned* dosyasındaki modül adları birbirleri ile eşlemedir. Oluşturulmak istenilen modül türüne göre adındaki ekilde sınıfların nasıl sanal sınıflardan kalıtım ile verileceği ve tanımları gösterilmiştir.

Uygulama için: `class YeniCastaliaModulu : public VirtualApplication{`
Yönlendirme için: `class YeniCastaliaModulu: public VirtualRouting {`
MAC için: `class YeniCastaliaModulu: public VirtualMac {`
MobilityManager için: `class YeniCastaliaModulu: public VirtualMobilityManager{`

Modülü OMNeT modülü olarak kaydetmek için *.cc* dosyası `Define_Module` makrosu ile başlanmıştır.

```
Define_Module(YeniCastaliaModulu);
```

Daha sonra metodların tanımlaması ve sanal sınıfların deklarasyonu yapılmalıdır. Metodlar, modülün tipine bağlı olarak deyimlik gösterebilir.

Yeni dosyalar oluşturulduktan sonra simülasyonun yeniden derlenmesi gerekmektedir. Adındaki komutlar ile oluşturulan Castalia simülasyonunun derlenmesi için kullanılan komutlar verilmiştir;

```
Castalia $ make clean  
Castalia $ ./makemake  
Castalia $ make
```

4.3.6 Çıktıların toplanması

CastaliaModule sınıfında tanımlanmış metodlar ile simülasyon çıktıları bir dosyaya formatlı biçimde yazılır. Bu metodlar CastaliaModule sınıfından türetilmiş, Castalia modüllerinde kullanılabilir. Basit çıktı ve histogram olmak üzere iki tip çıktı vardır. Basit çıktıda sadece bir sayı vardır. Örneğin bir düğümün harcadığı enerji gibi. Basit çıktının daha karmaşık hali her biri bir etiket ile birleştirilmiş birkaç sayı olması durumudur. Örnek verilecek olursa çıktı "Telsiz paket problemi" ise buna ait 6 adet etiket gereklidir. Bu etiketler, "enterferans ile, bağırlı", "enterferanssız, bağırlı", "enterferans ile, bağırsız", "enterferanssız, bağırsız", "düşük hassasiyet, bağırsız" ve "yanlı durum, bağırsız" etiketleridir. Bu durumda her etiket ile ilişkilendirilmiş sayı, paketlerin sayısını bildirirken etiket aynı zamanda paket sayısının açıklamasıdır ("Bağırlı", "Bağırsız" gibi). "Basit çıktı"nın en karmaşık ekli bir indekse sahip olması durumudur.

Diğer taraftan histogram bir sayı dizisidir ve minimum-maksimum değerleri arasında eşit aralıklı sayıları temsil eder.

Veri toplamaya başlamak için öncelikler çıktının isminin deklare edilmesi gerekir.

```
declareOutput("çıkıtı için uygun bir isim");
```

Bu metod kendi ismi ile yeni bir çıktı belirtir. Daha sonra aşağıdaki örnekte olduğu gibi çıktıları toplamak için çıktı adları kullanılır.

```
collectOutput("çıkıtı adı", indeks, "etiket", artım miktarı);
```

Bu metod artım miktarını double sayı olarak alıp belirlenen etiket ve indeks ile "çıkıtı adı"na ekler. Bu metod ayrıca yüklenmiş bir metod olup diğer formlarında bütün argümanları tamamlamadan da kullanılabilir. Örneğin;

```
collectOutput("çıkıtı adı");
```

Bir tek "çıkıtı adı" değini eklenir.

```
collectOutput("çıkıtı adı", 3);
```

3 indeksi ile "çıkıtı adı" değini eklenir.

```
collectOutput("çıktı adı", "birimler");
```

"çıktı adı" de eri, "birimler" etiketi de eri ile eklenir.

```
collectOutput("çıktı adı", "", 25.3);
```

25.3 de eri çıktı adına eklenir. E er çıktı ayrı bir çıktı etiketine sahip de ilse yukarıdaki örnekte oldu u gibi bo *string* kullanılır. E er de er, *integer* olsa idi yukarıdaki gibi bo *string* kullanılamazdı. Çünkü a ırı yüklenmi bu fonksiyona bakılırsa *integer* de er kullanılsaydı "çıktı adı"na 25 indeksli bir de er eklemi olurdu.

Simülasyon bitti inde modülün bütün çıktıları çıktı dosyasına yazılır ve bu dosya hangi modülün hangi çıktıyı yazdı ı bilgisini tutar.

4.3.7 Zamanlayıcı tanımlaması ve kullanımı

Zamanlayıcı (Timer), Castalia'nın di er önemli özelliklerinden birisidir. Uygulama/MAC/Yönlendirme katmanı geli tiricileri için zamanlayıcı tanımlamak ve zamanı geldi inde bir i yapmak önemli ve gerekli bir ihtiyaçtır. Geli tirici OMNeT'in kendi mesajları ile bu özelli i kullanabilir. Bu çözüm arzu edilmeyen bir çözümdür. Çünkü Virtual sınıflarla bu mesajların ele alınması zordur. Bu çözüm yerine Castalia zamanlayıcı için her bir dü ümün kendi zamanlayıcısını ayarlaması, iptal etmesi, durumunu ö renmesi için servisler sa lar ve bu i lemler dü üm içerisinde kolayca ve temiz bir ekilde yapılabilir. Zamanlayıcı için birkaç metod vardır. Bunların ilki zamanlayıcının ayarlanması içindir ;

```
setTimer(indeks, zaman);
```

"indeks" tamsayı ve zaman double tipte de erlerdir. A a ıdaki örnekte oldu u gibi "enum" yapısı ile indekslere isim vermek kodun anla ılırlı nı artırıp kullanım kolaylı ı sa layacaktır;

```
enum ThroughputTestTimers {  
SEND_PACKET = 1  
};
```

Zamanlayıcıları isimler ile kullanmak, olay oldu unda ya da zamanlayıcı görevini yaptı nda olacak olayı tanımlayaca ı için kullanımı kolayla tıracaktır

(Örne in ACK_TIMEOUT). Zamanlayıcı bir kere ayarlandıktan sonra aktif hale gelir ve zamanlayıcı süresi doldu unda bir olay tetiklenir. Bu olay timerCallback metodunu ça ırır. Bu metod a a ıda görüldü ü gibi bir argüman ile yani olayı tetikleyen indeks numarası ile ça ırılır.

```
timerFiredCallback(indeks);
```

Bu ça ırıyı ele almak için geli tiriciler genellikle bu metodun içerisinde büyük switch-case ifadeleri kullanırlar. Zamanlayıcı görevini bir kere gerçekle tirdikten sonra yeniden ayarlanana kadar gerçekle en görev için pasif duruma geçer.

Bir zamanlayıcının aktif olup olmadığını anlamak için a a ıdaki metod kullanılır.

```
getTimer(indeks);
```

Bu metod indeks de erine ait zamanlayıcı aktif ise "1" de erini di er durumda "0" de erini geriye döndürür.

Zamanlayıcı metodlarından sonuncusu ise zamanlayıcıyı, zamanı gelmeden iptal etmek için kullanılır.

```
cancelTimer(int indeks);
```

4.3.8 Yeni bir uygulama modülü tanımlama

VirtualApplication sınıfı, herhangi bir Castalia uygulaması için temel yapıları tanımlamı tır. Castalia Framework içerisinde i letmek için temel metodlar tanımlıdır ve bu metodlara ek olarak di er modüller ile etkile im için bir grup metod daha vardır. Castalia'nın geli tiricilere sundu u iki çe it metod vardır;

- i. "Callback" metodları virtualApp içerisindeki kod, uygun bir noktada ça ırılır (belirli bir olay oldu unda) ve özel uygulama bir olay olup, Callback metodu ça ırıldı ında ne olca ını sırası ile tanımlar (örne in algılayıcı modülden bilgi geldi inde, ya da Yönlendirme/A katmanından mesaj geldi inde).
- ii. Di er metodlar zaten virtualApp içerisinde tanımlanmı lardır. Özel uygulama belirli bir i i yerine getirebilmek için bu metodları ça ırabilir (Örne in bir dü üme paket göndermek ya da bir app paketi olu turmak için).

Callback metodları aşağıda tek tek açıklanacaktır;

```
void startup()
```

Bu metod başlangıçta çalışır. Uygulama tarafından, uygulamaya özel başlangıçta yapılması gereken işlemler bu metotta tanımlanır. Bu metod genellikle uygulamaya özel parametrelerin okunması ve sınıf değişkenlerine atanması için kullanılır.

```
void finishSpecific()
```

finishSpecific metodu simülasyon sonunda çalışır. En çok kullanılan yerler uygulama objelerinin kullandığı hafızanın boşaltılması ve uygulamaya özel çıktıların toplanmasıdır.

```
void fromNetworkLayer(ApplicationPacket *packet, const char *srcAddr, double RSSI, double LQI)
```

fromNetworkLayer virtual metodu, yeni uygulamalarda tanımlanması zorunlu metoddur. Haberleşimden bir paket alındığında, bu metod çalışır. Bu metodun parametreleri, paketin kendisi, telsiz tarafından ölçülen RSSI ve LQI değerlerini içermektedir. Bunların yanı sıra kaynak adresi, paketin geldiği adresi ifade eder.

```
void handleSensorReading(SensorReadingMessage *)
```

handleSensorReading metodu algılayıcı birimden gelen bilgilerin okunması için metoddur.

Bu metodların dışında;

```
void handleNetworkControlMessage(cMessage *)  
void handleMacControlMessage(cMessage *)  
void handleRadioControlMessage(RadioControlMessage *)
```

metotları ise çeşitli iletişim katmanlarından gelen kontrol mesajları için Callback metodlarıdır.

Geriye kalan bütün metodlar, VirtualApp içerisinde tanımlı ve belirli bir olayda uygulama tarafından çalıştırılacak metodlardır.

```
void requestSensorReading(int index)
```

requestSensorReading metodu belirtilen *index* ile algılayıcıdan bilgi okuma isteği için kullanılır. Sonuçlar *handleSensorReading* callback metodu ile geriye gönderilir.

```
void toNetworkLayer(cMessage *msg)
```

toNetworkLayer metodu haberleşmeye bir kontrol mesajı gönderir. Kontrol mesajı bir bilgi paketi değildir. Haberleşme katmanına gönderilen bir komuttur. Örneğin Tx gücünü değiştirmek ya da Rx modunu değiştirmek, MAC parametrelerini değiştirmek, ya da yönlendirme protokolünü değiştirmek için kullanılır.

```
void toNetworkLayer(cPacket *pkt, const char *dstAddr)
```

toNetworkLayer metodunun amacı yüklenmiş olan bu hali, bir bilgi paketinin, verilen hedef adrese gönderilmesi için haberleşme birimine göndermek için kullanılır. Adres bir string değildir. `BOARDCAST_NETWORK_ADDRESS` ya da `SINK_NETWORK_ADDRESS` gibi makrolarda bir düüm sonraya ya da merkez düümüne göndermek için kullanılabilir. Bu iki makro bir yönlendirme protokolü kullanılıyorsa geçerlidir. `BypassRouting`'de bu makrolar tanınmaz. Paket doğrudan düüm ID'sine de gönderilebilir. Örneğin `toNetworkLayer(pkg, "4")` komutu ile 4 numaralı düümüne paket gönderilir. Eğer hedef düüm kaynak düümüne komutu ise paket iletilecektir. Aksi halde seçilen yönlendirme protokolüne göre davranacaktır.

```
ApplicationPacket *createGenericDataPacket(double data, int sequenceNum, int size)
```

createGenericDataPacket double tipte bir bilgi, sıra numarası, opsiyonel olarak paket büyüklüğü parametrelerine bağlı olarak bir uygulama paketi oluşturur. Eğer paket büyüklüğü verilmemişse `constantDataPayload` parametresi tarafından hesaplanır.

Bütün uygulamalar tarafından kullanılacak, bu metodların dışında başka parametre vardır;

```
string applicationID;
```

applicationID parametresi bir tanımlama ve uygulama kimliğidir. Birden fazla uygulama aynı anda içerisinde çalışacak ise bunları filtrelemek için kullanılır. Eğer

herhangi bir tanımlama yapılmadı ise yani bu değer boş ise filitreleme yapılmıyor demektir.

```
bool collectTraceInfo;
```

collectTraceInfo parametresi bütün Castalia modüllerinde ortaktır ve izleme çıktılarının toplanıp toplanmayacağını belirtir.

```
int priority;
```

priority parametresi henüz kullanılmamaktadır.

```
int packetHeaderOverhead;
```

Yönlendirme katmanına gitmeden önce bütün uygulama paketlerine eklenir. Overhead VirtualApp kodu içerisinde eklenir. Sabit yüklü ya da her paketin yükünün kullanıcı tarafından verildiği durumlarda da pakete eklenir.

```
int constantDataPayload
```

Eklenen katmanına gönderilen paketin büyüklüğü "0" ise ya da tanımlanmamışsa paketin büyüklüğü *constantDataPayload*'un belirttiği değere zorlanır (ve overhead eklenir).

5 KABLOSUZ DUYARGA A LARDA AZAM VER GÜVENL N SA LAMAK Ç N M MAR TASARIM

5.1 Giri

KAA'larda güvenli i test edebilmek için saldırganın bakı açısı ile sisteme bakılması gerekir. Saldırgan sistemi bir bütün olarak görür ve sistemin en zayıf halkasını tespit eder. Bu nedenle sistemin mimari tasarımı büyük önem ta ımaktadır. Bu bölümde tez çalı masında geli tirilen, azamin veri güvenli ini sa layan mimari tasarım ayrıntıları ile açıklanacaktır.

Bu çalı mada güvenli bir mimari tasarım için KA'ların haberle me mekanizması üzerinde durulmu ve

- Anahtar da ıtım mekanizması
- Dü üm tanımlama mekanizması
- Mesaj kimli inin do rulanması protokolü
- Do rulama mekanizması
- Duyarlılık mekanizması
- Çoklu yönlendirme mekanizması

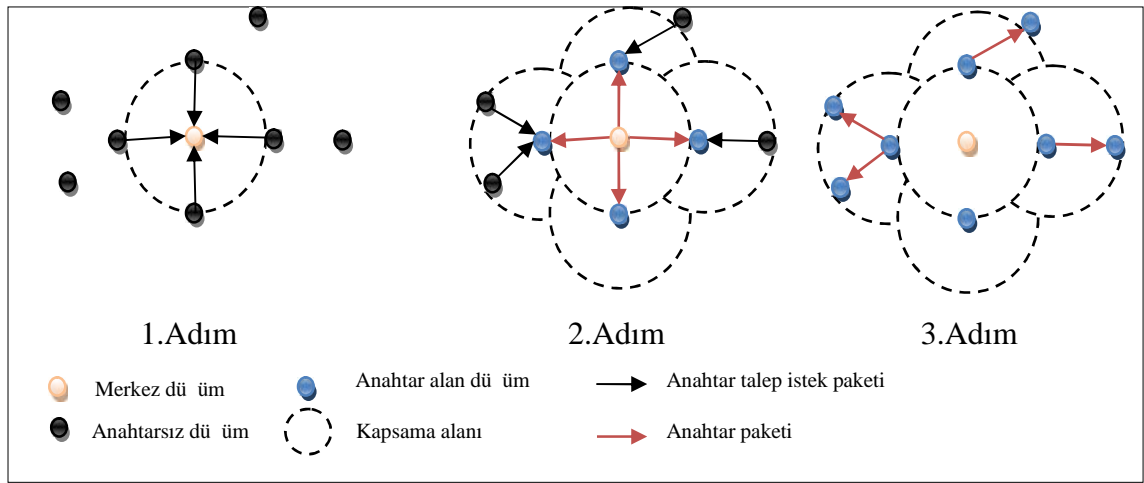
için yeni yöntemler önerilmi tir.

5.2 Anahtar Da ıtım Mekanizması

Merkez dü ümün (MD), di er dü ümlerin gizli bilgilerini güvenli eilde alabilmesi için haberle mede kullanaca ı anahtar, Anahtar Da ıtım Mekanizması (ADM) tarafından a da haberle me yapacak dü üme iletilir. A daki bütün dü ümlerin kendilerini, merkez dü üme tanıtabilmeleri için bu anahtara sahip olmaları gerekmektedir. Anahtar, üretici tarafından tanımlanabildi i gibi merkez dü üm tarafından da olu turulabilir. Anahtara sahip olmayan dü ümler ilk olarak anahtar talebinde bulunma iste ini a a yayın yaparlar. Ba langıçta merkez dü üm hariç hiçbir dü ümün anahtara sahip olmadığı dü ünülürse, anahtar iste i yayınlayan ve merkez dü üme kom u olan dü ümler bu isteklerine direkt olarak merkez dü ümden gelecek cevap ile sahip olurlar. Bu a amada merkez dü ümün kom uları, anahtara sahip olur. Sonraki a amada bu dü ümlere kom u olan ve merkez dü üm ile direkt ba lantısı

olmayan düğümlerin istekleri, anahtara sahip düğümler tarafından karılanılarak a daki her düğümün iste i karılanana kadar sürer. Eğer bu anahtara sahip herhangi bir komu yok ise anahtar talep etme iste i belirli periyotlarla tekrarlanır. Anahtar alındıktan sonra hangi düğüm tarafından anahtarın iletildi i daha sonra kullanılmak üzere bir tabloda saklanır. Bu amaçla tasarlanan ADM'nin çalışması : ekil 5.1'de gösterilmiştir.

ekil 5.1'de görüldü ü gibi 1. adımda merkez düğüme komu düğümler anahtar talebini merkeze iletebilirken, 2. ve 3. adımlarda anahtar dağılımı merkezden uzak düğümlere de ula maktadır.



ekil 5.1 : Anahtar Dağıtım mekanizması

Bu tez çalışmasında önerilen mekanizmada bu işlemin yapılabilmesi için geliştirilen kod parçası aşağıda verilmiştir. Bu kod parçası düğümün ağa katılım paketlerini de değerlendirip, yapılacak işlemlere karar veren bölümdür. Kodda gelen paket sıranumarası ile birlikte kontrol edilir. Eğer daha önce karılanılan bir paket ise mükerrer işlem yapılmaması için değerlendirilmez. Yeni bir paket ise ve bu paketi alan düğüm MD ise gerekli anahtar bilgilerini ağa yayın yapar. MD değilse ve kendisinde MD'nin anahtar bilgileri varsa yine bu bilgileri ağa yayın yaparak gönderir. Bu işlemler sırasında düğüm kendisinden istekte bulunan düğümleri de ilgili tablolara kayıt etmektedir.

```

else if (packetName.compare(NETWORK_JOINING_PACKET_NAME) == 0 ) {
    if (updateNetworkJoiningPacketReportTable((int)data,
sequenceNumber))
    {
        if(isSink){
            sendPublicKey(kaynak.c_str());

updatePublicKeyDistributionTable((int)data);
        }
        else if(isSinkResponded == 0 ){
            rcvPacket -> setKaynak(selfs.c_str());
            toNetworkLayer(rcvPacket->dup(),
BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);

        }
        else if(isSinkResponded >= 1 ){
            sendPublicKey(kaynak.c_str());

updatePublicKeyDistributionTable((int)data);
        }
    }
}

```

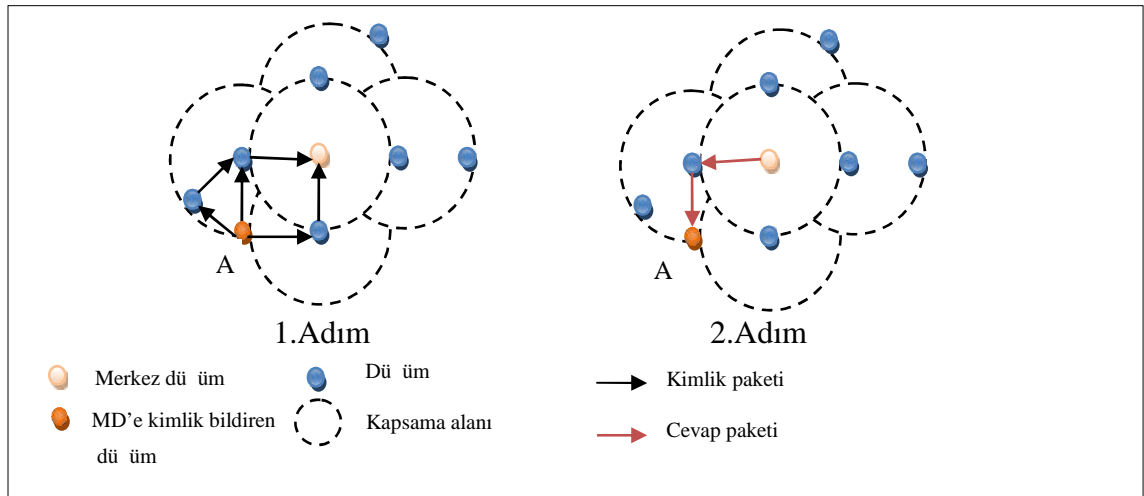
5.3 Dü üm Tanımlama Mekanizması

Dü üm tanımlama i lemi, merkez dü ümün a a katılan dü üm hakkında bilgi sahibi oldu u ve mesaj do rulama kodlarını aldı ı a amadır. Bu a amaya gelmeden önce anahtar da ıtım a amasından geçilmi olmalıdır. Merkez dü üm ile haberle me anahtarına sahip dü üm, kendisinin tanımlama bilgilerini merkez dü üme gönderir ve merkez dü ümden gelecek onayı bekler. Onaylama mesajı geldikten sonra a a katılma i lemi tamamlanan dü üm normal çalı masına ba lar. ekil 5.2'de dü üm tanımlamanın a amaları zamana ba lı olarak gösterilmi tir.



ekil 5.2 : Tanımlama mekanizmasının zamana ba lı gösterimi

Kimlik bilgilerinin merkez dü üme gönderilmesinde, ADM'de önerilen haberle me yöntemi kullanılır. Merkez dü üm, kendisine gelen kimlik ve mesaj do rulama bilgilerini çözerek ilgili dü üm ile yapaca ı haberle mede kullanılacak bilgileri bir tabloya kaydeder. Daha sonra dü üme a a katılabilece ini belirten onaylama paketini gönderir. A a katılım paketinin gönderilmesi ADM'de olu turulan tablolar yardımı ile yapılır. Merkez dü üm, kimlik bilgilerini içeren paketi kendisine yönlendiren ilk dü üme, a a katılım paketini gönderir. Bu dü üm yönlendirme i lemi için ise kendi tablosuna bakarak paketi kendisine gönderen dü üme iletir. Bu yönlendirme i lemleri a a katılma paketini gönderen dü üme ula ılıncaya kadar devam eder. Dü üm e er belirlenen sürede a a katılımının onaylandı ını belirten paketi alamaz ise kimlik bilgilerini merkez dü üme tekrar gönderir. ekil 5.3'te haberle me biçimi gösterilmi tir.



ekil 5.3 : Kimlik Tanımlama

ekil 5.3'te A dü üümü kimlik ve mesaj do rulama paketini kendisine kom u dü ümlere göndermi tir (1.Adım). 2. adımda ise cevabın geli biçimi görülmektedir.

Bu yönlendirme i lemleri ile ilgili geli tirilen kod parçası a a ıdaki gibidir.

```
else if (packetName.compare(NODE_KEYS_PACKET_NAME) == 0) {
    if(isSink){
        if(updateNodeKeysReportTable((int)data, sequenceNumber,
stringData1 , atoi(kaynak.c_str())) == 1)
        {
            decodeNodeInfo((int)data, stringData2, stringData1);
sendNodeKeysOk(atoi(kaynak.c_str()),(int)data,(int)sequenceNumber
);
        }
    }
    if (updateNodeKeysReportTable((int)data, sequenceNumber,
stringData1 , atoi(kaynak.c_str())) && isSink==false)
    {
        rcvPacket -> setKaynak(selfs.c_str());
toNetworkLayer(rcvPacket->dup(), BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
    }
}
```

Bu kodda, e er paketi alan MD ise NodeKeysReportTable'yi güncelleme fonksiyonunu ça ırarak dönen de er kontrol edilir. Güncelleme fonksiyonu e er kendi tablosunda ilgili dü üm ile ilgili bilgi yok ise kaydeder ve “true” de eri döndürür. Daha önceden bir kayıt bulursa “false” de erini döndürür. Dönen de erin “true” olması durumunda ise bu dü üm ile ilgili bilgiler decodeNodeInfo fonksiyonu ile çözümler ve dü üm ile ileti imde kullanılacak ifreli bilgiler ilgili tabloya kaydedilir. Daha sonra MD tarafından dü üme a a katılabilmesi için onaylama mesajı sendNodeKeysOk fonksiyonu tarafından gönderilir.

A a ıda verilen kodda, herhangi bir dü üme, MD'den gelen ya da di er dü ümler tarafından yönlendirilmi olan, a daki bir dü ümün a a katılımını onaylayan paket ula tı nda ilgili dü ümün bu paketi nasıl de erlendirece ini gösterilmektedir.

```

else if(packetName.compare(NODE_KEYS_OK_PACKET_NAME) == 0 &&
!isSink)
{
    if(self == (int) data && isSinkResponded == 1)
    {isSinkResponded =2; }
    else if(self == (int) data && isSinkResponded == 2){
    }
    else if(self != (int) data){
sendNodeKeysOkForward((int)data, rcvPacket->dup());
    }}

```

Koddan da anlaşılacağı gibi eğer paketin hedefi kendisi ise düüm isSinkResponded bayrağının durumunu 2 yaparak ağı katılmış olan normal bir düüm gibi çalışmaya başlayacaktır. Eğer hedef kendisi değil ise sendNodeKeysOkForward fonksiyonunu çağırarak paketin hedefine ulaşması için paketi yönlendirecektir.

Devamında verilen kod parçasında ise sendNodeKeysOkForward fonksiyonunun yönlendirme işlemi gösterilmektedir. Paketin hedef kısmı node_keys_report_table tablosunda aranmaktadır. Paketin hedefe ulaşması için yönlendirilmesi gereken düümün bulunması ile sonraki adıma geçilir. Daha sonra pakette gerekli değişimler yapılır ve paket bir sonraki hedefine yönlendirilir. Bu işlem yönlendirici düümler tarafından paket hedefine ulaşmaya kadar devam eder.

```

int OgobridgeTest::sendNodeKeysOkForward(int dst,
ApplicationPacket *rcv){
    /*
    Değişken tanımları ve atamaları
    */
    for(int i = 0 ; i<node_keys_report_table.size(); i++)
    {

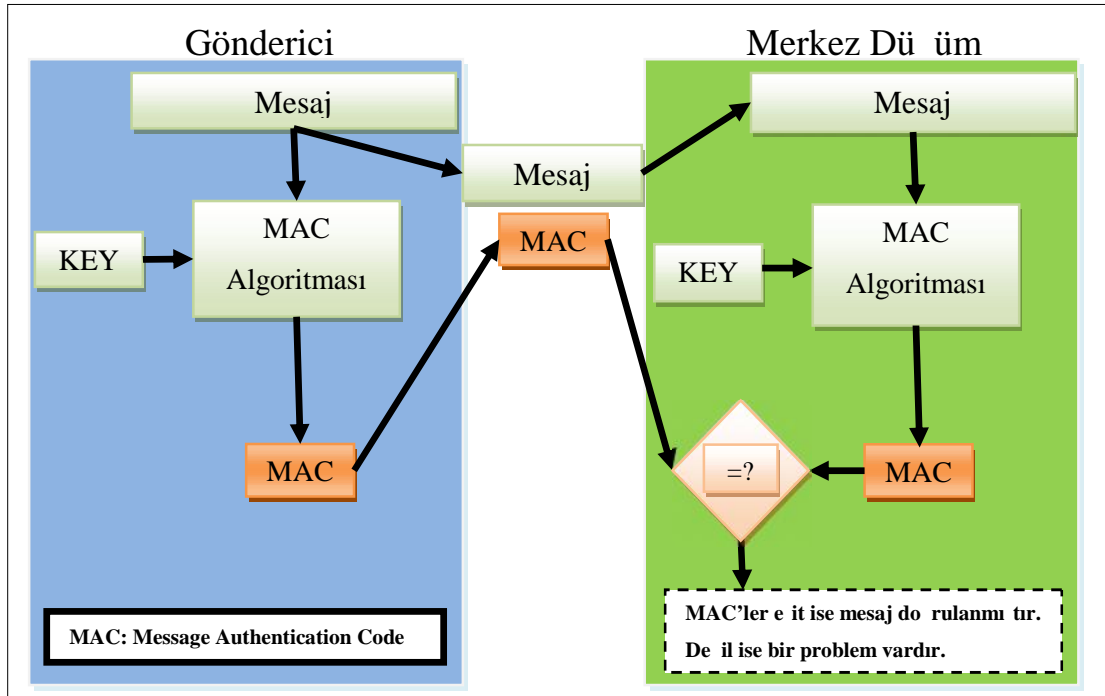
        if(node_keys_report_table[i].source == dst){
            for(int k = 0 ; k<node_keys_report_table[i].parts.size(); k++)
            {par = k;
            hopBackAddress = node_keys_report_table[i].lastHopAddress[par];
            pos = i;
            /*
            Bir sonraki düüm için paketi yeniden oluştur.
            */

            toNetworkLayer(rcv->dup(),sr1.str().c_str());
            if(hopBackAddress == dst ){
addResendingQueue(rcv->dup(),hopBackAddress, rcv ->
getSequenceNumber());
            }}}}} if(pos != -1 && par != -1) {/**/}else {
return 0;}
return 1;
}

```

5.4 Mesaj Kimli inin Do rulanması Protokolü

Bir dü üm a a katılım i lemlerini tamamladıktan sonra normal i leyi ine ba lar. Algılanan de er belirli bir duyarlılık seviyesinin üzerinde ise bu bilgi MD'e gönderilmesi gereken bir bilgi demektir. Bu bilgi MD'e gönderilirken birçok dü üm üzerinden geçebilir. Bu dü ümlerde bilg de i tirilebilir/bozulabilir ya da saldırgan dü üm MD'e ba ka bir dü üm adına yanlı bilgiler gönderebilir. Bu gibi durumların önüne geçebilmek için bu tez çalı masında mesaj do rulama kodu (MAC - Message authentication code) kullanımı önerilmektedir. ekil 5.4'te MAC'in nasıl kullanıldı ı gösterilmi tir.



ekil 5.4 : Mesaj Kimlik Kontrolü

MAC'in kullanımı, mesajın hangi dü üm tarafından gönderildi i bilgisini do ruladı ı için KAA'larda kullanılan birçok saldırıyı engelleme olur. ekil 5.4'te gösterildi i gibi gönderici bir anahtar ile mesajdan belirli bir uzunlukta kod elde edilir (MAC) ve gönderilecek pakete, bu elde edilen do rulama kodu da eklenir. Alıcı ise gelen paketteki mesajı kendisinde bulunan ve göndericideki ile aynı olması gereken anahtar ile göndericideki gibi tek yönlü olan MAC algoritmasından geçirerek bir MAC kodu üretir. Daha sonra mesaj ile gelen MAC kodu ve alıcının üretti i MAC kodu kar ıla tırılır. E er iletim sırasında veride bir bozulma olmadı ise, ya da saldırgan

mesajın içeriğini de i tirmediyse aynı anahtar ile i leme tabii tutuldu u için MAC kodlarının da e lemesi beklenir. E er e lemiyorsa saldırı ya da herhangi ba ka bir nedenle bilgi de i tirilmi demektir. De i ikli e u ramı bu bilgi sistem tarafından de erlendirilmez.

A a ıdaki kod parçasında MAC kodunun kontrolü gösterilmektedir. E er dü üm merkez dü üm ise paket güvenlik kontrolü için kontrol fonksiyonuna gönderilir. E er güvenlik denetlemesinden geçerse paket kabul edilir. Güvenlik kontrolünden geçemezse paket reddedilir. Dü üm merkez dü üm de il de normal bir dü ümse ve bu paketi daha önce yönlendirmediyse paketin merkez dü üme ulaşması için a a yayın yapar.

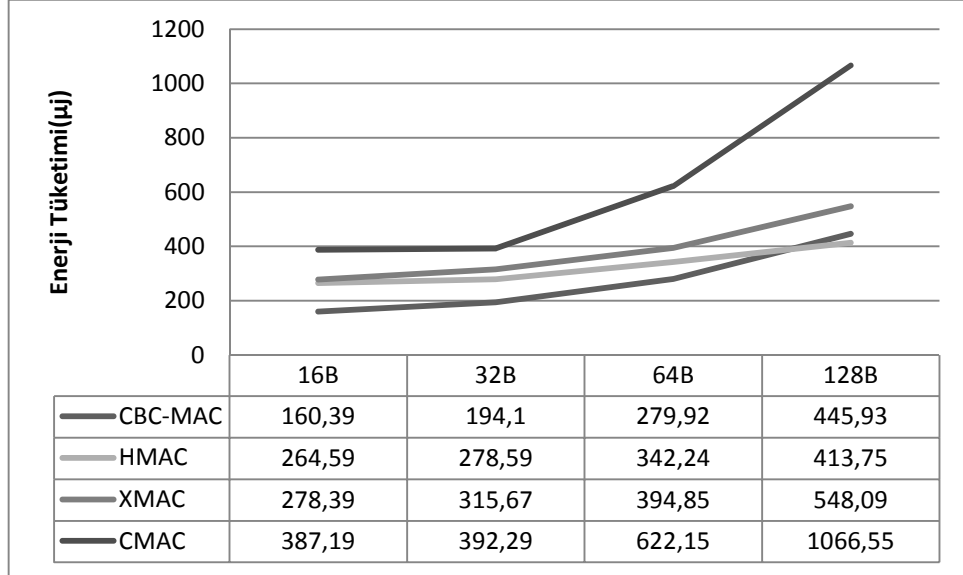
```
if (packetName.compare(REPORT_PACKET_NAME) == 0) {
    if (updateReportTable((int)data, sequenceNumber)) {
        if (!isSink && data != self ) {
            rcvPacket -> setKaynak(self.s.c_str());
            toNetworkLayer(rcvPacket->dup(), BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
        }
        if(isSink ){
            if(securityCheck((int)data ,stringData1,rcvPacket ->
getHmac(),(hopcount))!=0)
                {receivedReport(data,true);
trace() << "SINK received sensor ["<<(int)data <<"] data
successfully";}
                else {receivedReport(data,false);
trace() << "SINK received sensor ["<<(int)data <<"] data failed
(security problem)";}
        }
    }
}
```

5.4.1 Mesaj doğrulama kodu

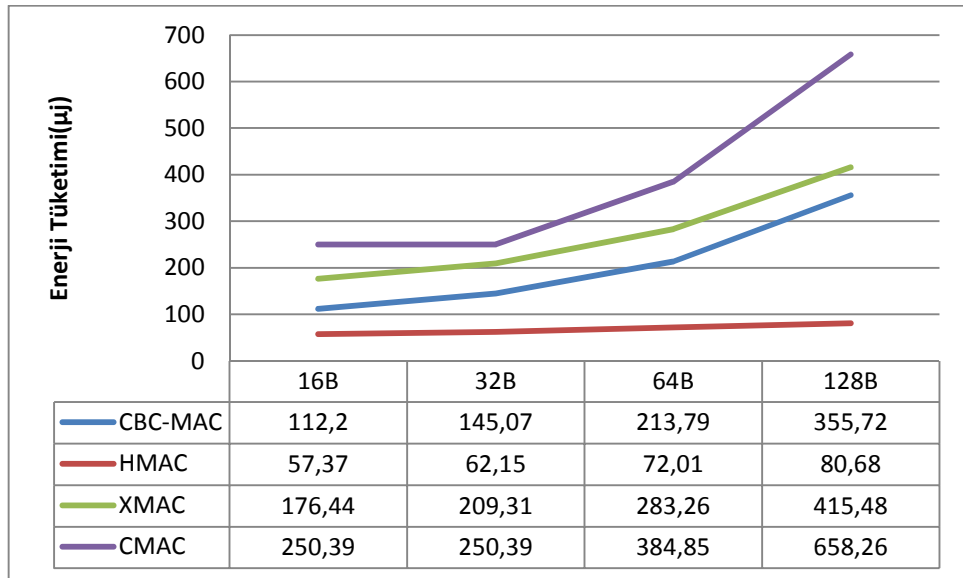
İfretleme ya da benzer bir yapının mesaj kimliğini doğrulama kodu olmadan kullanımının güvensiz olduğu ispatlanmıştır (Karlof, Sastry, & Wagner, 2004). Bu nedenle oluşturulan mimaride güvenlik açısından mesaj doğrulama mekanizması kullanılmıştır. Literatürde birçok mesaj doğrulama (MAC) algoritması mevcuttur. Gerçeklenen mimari, herhangi bir MAC algoritmasını kullanmaya uygun olarak tasarlanmıştır.

MAC algoritmasının seçimi, KAA'larda enerji kullanımını etkileyeceği için dikkatli yapılmalıdır. Bu nedenle (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)'un çalışmasında ekil 5.5, ekil 5.6 ve Tablo 5.1'de verilen sonuçlar incelendi inde HMAC algoritmasının

sistemimiz için uygun oldu u görülmü ve gerçekleştirilen mimaride HMAC kullanılmı tır.



ekil 5.5 : MicaZ Algılayıcı dü ümde AES-128 tabanlı MAC algoritmaları (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)



ekil 5.6 : TelosB Algılayıcı dü ümde AES-128 tabanlı MAC algoritmaları (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)

Tablo 5.1: TelosB ve MicaZ düğümlerinde MAC algoritmalarının hafıza kullanımı (Lee, Kapitanova, & Son, 2010)

MAC Algoritması	MicaZ		TelosB	
	RAM(kb)	ROM(kb)	RAM(kb)	ROM(kb)
CBC-MAC	1	6,6	1	5,9
XMAC	1	8,1	1	6,1
CMA:	1	5,8	1	5,1
HMAC	0,1	32	0,1	11

HMAC için kullanılan anahtar sabit olmayıp değişken bir yapıya sahiptir. Bu yapı ile ilgili detaylar sonraki bölümde detayları ile açıklanacaktır.

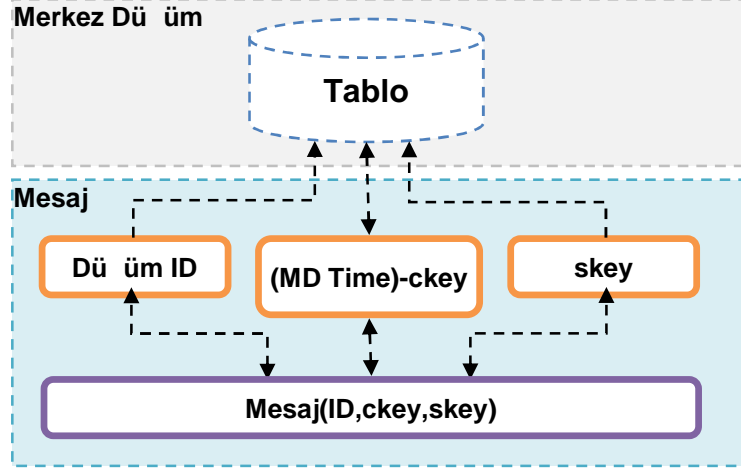
5.4.2 Anahtar

Verinin kimliğinin doğrulanması ve güvenli haberleşme açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla kimlik doğrulamada kullanılacak anahtarın seçimi de önemlidir. Anahtar yönetim tekniklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- **Global Key:** Bütün ağ tarafından tek bir anahtar kullanılır. Enerji açısından bakılır ise verimlidir. Gönderici bir kere şifreler, aynı anahtar ile alıcı şifreyi çözer.
- **Pair Wise Key:** Her düğüm komşu düğüm ile haberleşme için farklı bir anahtar kullanır. “n” tane düğüm için “n” tane anahtar kullanılır. Herbir düğümde işlem gerektirdiğinden verimsizdir.
- **Pair Wise Group Key:** Her grup ya da cluster kendi içerisinde haberleşme için bir adet anahtar kullanır. Cluster ya da grup başları kendi aralarında başka bir anahtar kullanır. Bu yöntem ilk iki yöntemin karışımıdır.
- **Individual Key:** Bu çözümde her düğüm kendi anahtarına sahiptir ve bunu sadece MD ve düğüm bilmektedir. Dolayısıyla anahtar bilgisi ağdaki diğer düğümler için gizli olacaktır. Her bir düğümde işlem gerektirmedikinden Global Key’in verimliliğine sahiptir. Her bir düğüm farklı anahtara sahip olduğu için Pair-Wise Key’in güvenliğine sahiptir.

Tasarlanan mimaride “Individual Key” yöntemini kullanıldı.

Tasarımımızda MD'ile haberlemede dü ümlerden gelen veriler için, dü üm tanımlama mekanizmasında MD'e bildirilen anahtar bilgileri ile kimlik doğrulaması yapılır. ekil 5.7'de bu mekanizma gösterilmiştir.



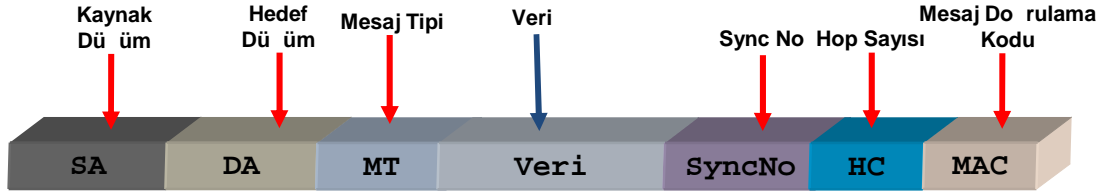
ekil 5.7 : MD'ün dü üm bilgilerini kayıtlama

Gerçeklenen mimaride güvenliğin artırılması amacıyla sabit bir anahtar yerine sürekli değişen bir anahtar mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmanın ilk amacı daha önce dü üm tanımlama mekanizmasında bahsedilen dü ümün, haberlemede kullanılacak anahtar bilgilerinin MD'ye iletilmesidir. Bu amaçla MD'e dü üm tarafından oluşturulan rastgele rakamsal değer (rkey) ve dü ümün zaman değerinin (tkey) toplamı olan sayaç değeri (ckey=rkey+tkey) ve yine dü üm tarafından oluşturulan diğer rastgele değer (skey) iletimi tamamlanmıştır (ekil 5.7). İletilen ckey ve skey MD tarafından kendi tablolarına kaydedilir. Kayıtlama için skey aynen kaydedilir, fakat ckey tabloya MD'nin zaman değeri ile ckey in farkı olarak kaydedilir. İhtiyaç duyulduğunda MD'nin zaman değeri tablodaki farktan çıkarılarak haberlelenen dü ümün o anki ckey değerine ulaşılır. Bu sayede zamana bağlı, sürekli değişen bir ckey ve sabit bir skey değeri MD tarafından tutulur.

5.5 Doğrulama Mekanizması

Mesaj doğrulama mekanizması MD'e gelen mesajın, mesaj doğrulama kodunu kullanarak, gönderici dü ümün kimliğini kontrol eder. Eğer kimlik onaylanırsa mesaj kabul edilir, aksi halde mesaj reddedilir.

Do rulama i lemi için kullanılan HMAC, do rulama kodunu belirli bir ifreye göre oluşturur. Bu nedenle kontrolü yapacak olan merkez dü ümde gönderici ile aynı ifreyi kullanmalıdır. MD kaynak dü ümün mesajı gönderirken kullandığı ifreyi bulabilmek için bazı bilgilere ihtiyaç duyar. ekil 5.8’de PDU yapısı gösterilen mesajın kaynak dü üm adresini belirten bölüm alılarak MD’ün ifre bilgilerinin tutulduğu tablolarda aranır. Bilgi bulunamaması halinde mesaj reddedilir. Tabloda bölüm 5.4.2’de anlatılan biçimde, kaydedilmiş dü üm bilgilerinin bulunması durumunda, kontrol i lemi yapılır. Mesajın do rulama kodu için kaynak dü ümün kullandığı ifreyi bulabilmek için, MD’ün o anki zaman bilgisinden tabloda bulunan ckey çıkarılır ve bulunan de er skey ile XOR’a tabi tutulur. Bulunan de er MD tarafından mesajı do rulamak için kullanılacak ifredir.

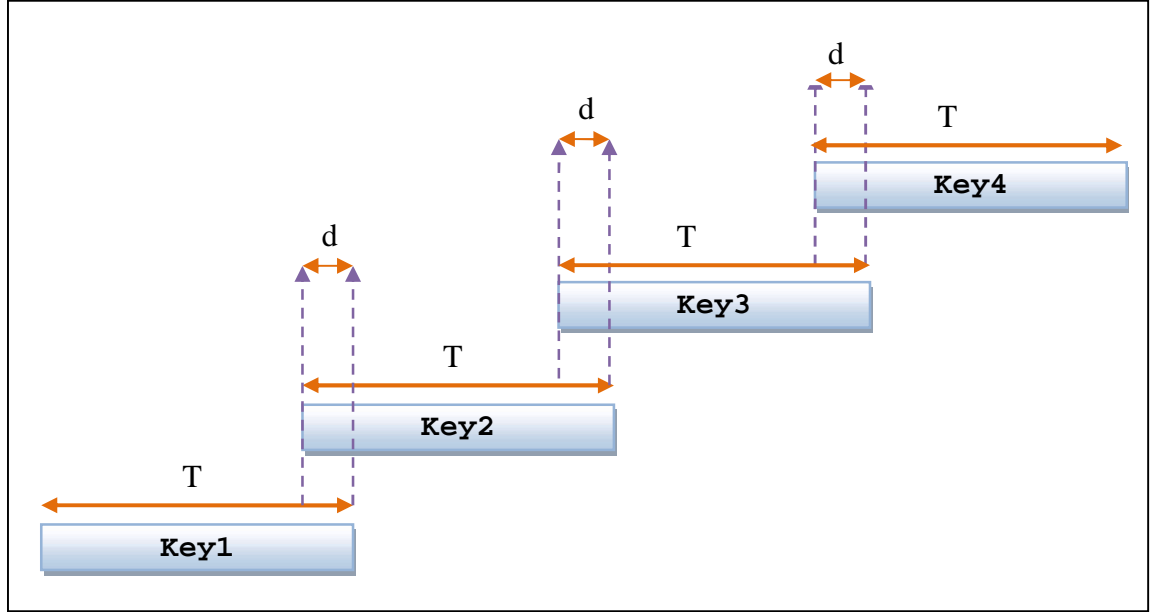


ekil 5.8 : Mesajın PDU yapısı

XOR i lemi, ifre olarak kullanılacak verinin maskelenmesini sağlamaktadır. Herhangi bir ekilde bir keyin saldırgan tarafından bilinmesi durumunda saldırgan bir sonraki keyi bu maskeleyme i lemi nedeni ile tahmin edemeyecektir.

5.6 Duyarlılık Mekanizması

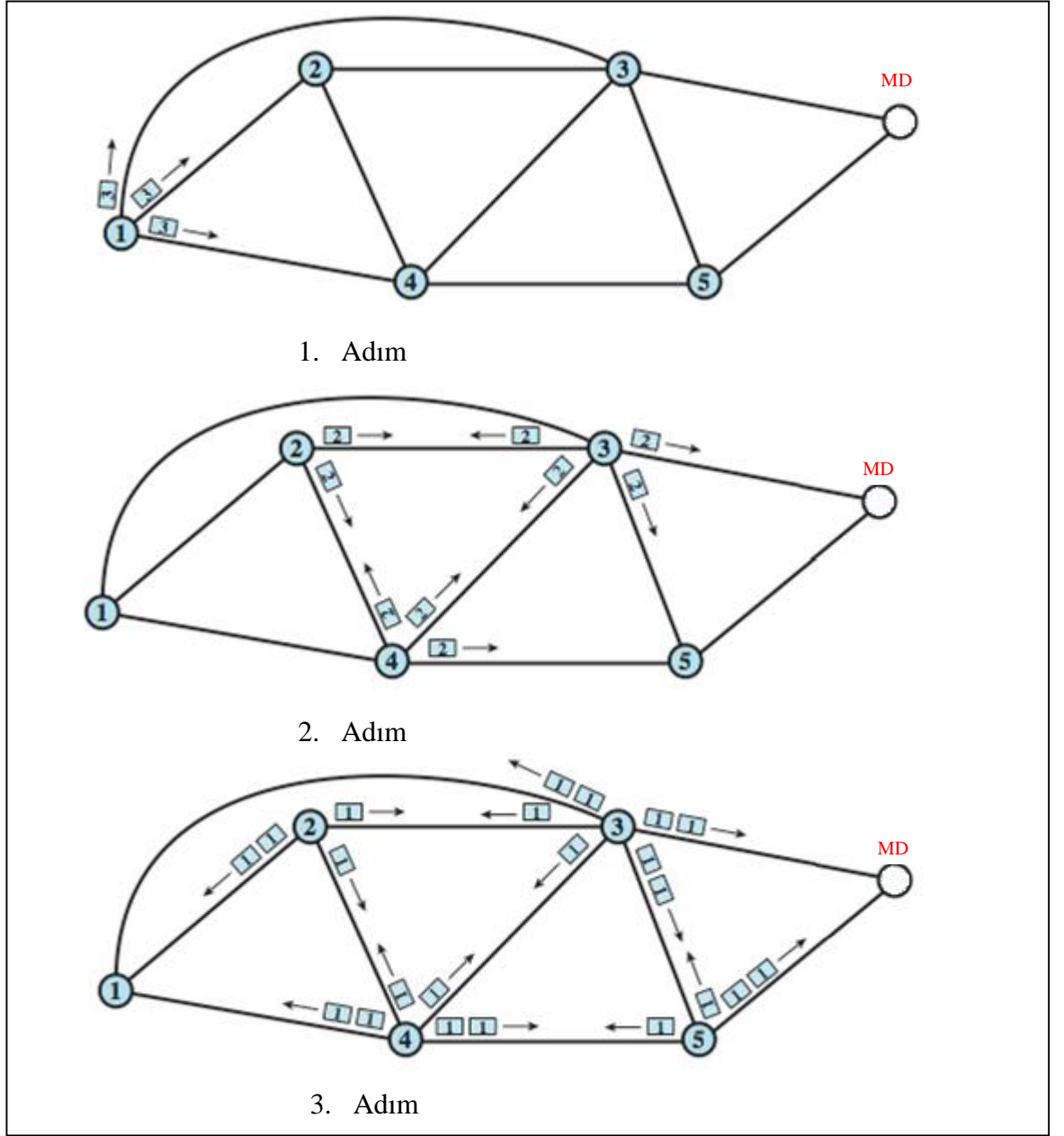
ifre de i imi için kullanılan zaman fonksiyonu de i imi mesaj do rulama kodunu da de i tirmektedir. De i im anında gönderilen paketlerin de MD tarafından kabul edilmesi için ifre do rulama mekanizması belirli bir süre dü ümün bir önceki ifre de eri ile de kontrol yapmaktadır. ekil 5.9’da bu tez çalışmasında önerilen duyarlılık mekanizmasının çalışması gösterilmiştir. ekil 5.9’da görüldü ü gibi ifre de i im periyodu “T” ve duyarlılık “d” ise T+d zamanına kadar MD, kaynak dü ümden gelen paket için o anki ifre ile mesajın do rulanmaması durumunda bir önceki ifre de eri ile de mesajı kontrol eder. Bu sayede ifre de i im zamanına yakın zamanda gönderilen paketlerin, paket kaybının önüne geçilmiş olur.



ekil 5.9 : Duyarlılık mekanizması

5.7 Çoklu Yönlendirme Mekanizması

Bu tez çalışmasında önerilen çoklu yönlendirme mekanizması şu şekilde çalışmaktadır: Düğümlerin algıladığı verilerin MD'ye gönderilmesi için, farklı düğümler üzerinden, olabilecek çoklu muhtemel yollarla iletimi esas alınmıştır. Böylece herhangi bir iletim kanalında olabilecek kesintiler, verinin iletimini en az seviyede etkilemektedir. Fakat bu şekildeki haberleşme paketler döngüsel bir yapıya girebilmektedir. Bu tez çalışmasında, döngüsel yapıyı önlemek ve aynı bir paketin üzerinden geçecek maksimum düğüm sayısını sınırlandırmak için iki yöntem kullanılması önerilmiştir. Bunlardan birincisi, her paket için maksimum atlama sayısının belirlenmesidir. Bu amaçla ekil 5.8'de gösterilen paket yapısındaki HC kullanılmaktadır. HC paketi alan her düğüm tarafından kontrol edilir. Eğer bir yönlendirme yapılacaktır ise HC değeri bir azaltılarak paket tekrar yayın yapılır. Fakat HC değeri 1'e eşit ise bu paket maksimum atlama sayısına ulaşmıştır ve tekrar yönlendirilmeyecektir.



ekil 5.10 : Maksimum atlama

ekil 5.10'da HC'nin 3 oldu unu ve 1 numaralı dü ümden MD'ye veri iletilmek istedi ini dü ünelim. 1.adımda paket, 1 dü ümünden, kapsama alanı içerisinde bulunan 2, 3 ve 4 dü ümlerine gönderilmi tir. 2. adımda 2, 3 ve 4 dü ümleri HC de erini bir azaltarak aynı paketi kapsama alanı içerisindeki di er dü ümlere iletmi tir. 3. adımda ise paketin HC de eri bir azaltılmı ve tekrar benzer ekilde yayın yapılmı tir. 3. adımda HC de eri 1 oldu u için bu paket hiçbir dü üm tarafından tekrar

yayınlanmamı tır. Bu yöntem a da bir paketin en fazla kaç dü üm tarafından yayınlanacağını belirtmekle beraber bir dü ümün aynı paketi defalarca yönlendirilmesi durumunu ortaya çıkarmı tır. Ancak burada HC de erinin seçimi hayatidir. E er uygun de er seçilmez ise paket MD'e ula amadan yok olabilir.

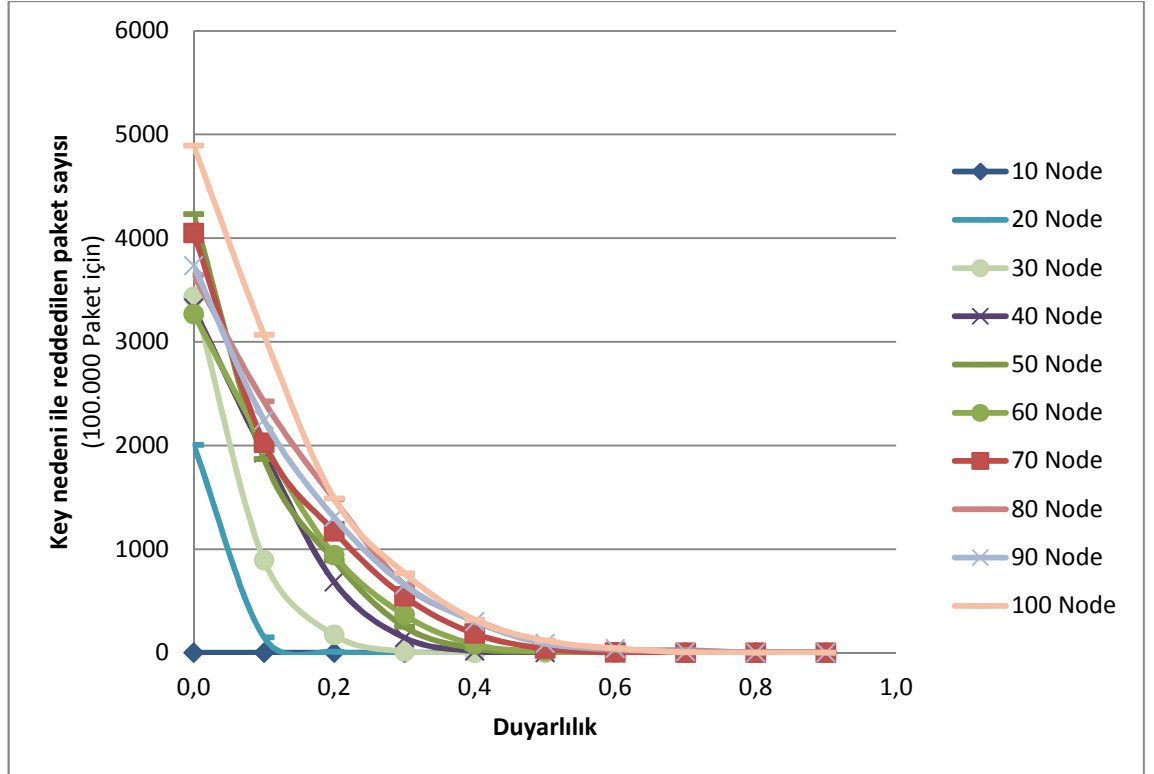
Tez çalı masında kullanılması önerilen ikinci yöntem ise a da bir paketin bir dü üm tarafından sadece bir kere yönlendirilerek gereksiz yönlendirmelerin önüne geçmek için tasarlanan algoritmadır. ekil 5.8'deki paket yapısında gösterilen SyncNo alanı paketin kayna ı tarafından her yeni paket için verilen artan sıralı bir sayıdır. Yönlendirme yapan her dü üm kendi yönlendirme tablosunda hangi dü ümden hangi SyncNo ile yönlendirme yaptı nı tutmaktadır. Yönlendirme yapan dü üm kendisine gelen paketin öncelikle HC alanını kontrol eder. E er 1'den büyükse yönlendirme tablosu kontrol edilir ve ancak daha önce bu dü ümden aynı SyncNo'ya sahip paket yönlendirilmemi ise HC de eri bir azaltılıp, yönlendirme i lemini gerçekleştirir. Aksi halde paket görmezden gelinir. Bu yöntem ile HC'nin de erinin gere inden büyük seçilmesi durumunda dü ümlerin aynı paketi defalarca yönlendirerek gereksiz enerji kaybının önüne geçilmi tir. Ayrıca HC'nin tam ve kesin hesaplanma gere ine olan ihtiyaç da ortadan kalkmı tır.

5.8 Sonuçlar

Bu bölümde tez çalı masında, mimari tasarımda önerilen mekanizma ve protokollerin sonuç üzerine etkileri Castalia simülasyon programı kullanılarak sunulmu tur. Yapılan herbir iyile tirme ayrı ayrı dikkate alınmı , geli tirilen mekanizma sonuçları herbiri ayrı ba lıkla r altında verilmi tir.

5.8.1 Duyarlılı ın etkisi

Duyarlılı ın sonuçlar üzerine etkisini do ru tespit edebilmek için hem d m sayısı hem de d ümlerin dizili biçimi üzerinde durulmu tur. ekil 5.11'de d ümlerin uniform rastgele da ı lması durumunda, d m sayısına göre, Key'in reddedilmesinin duyarlılıkla de i imi verilmi tir.

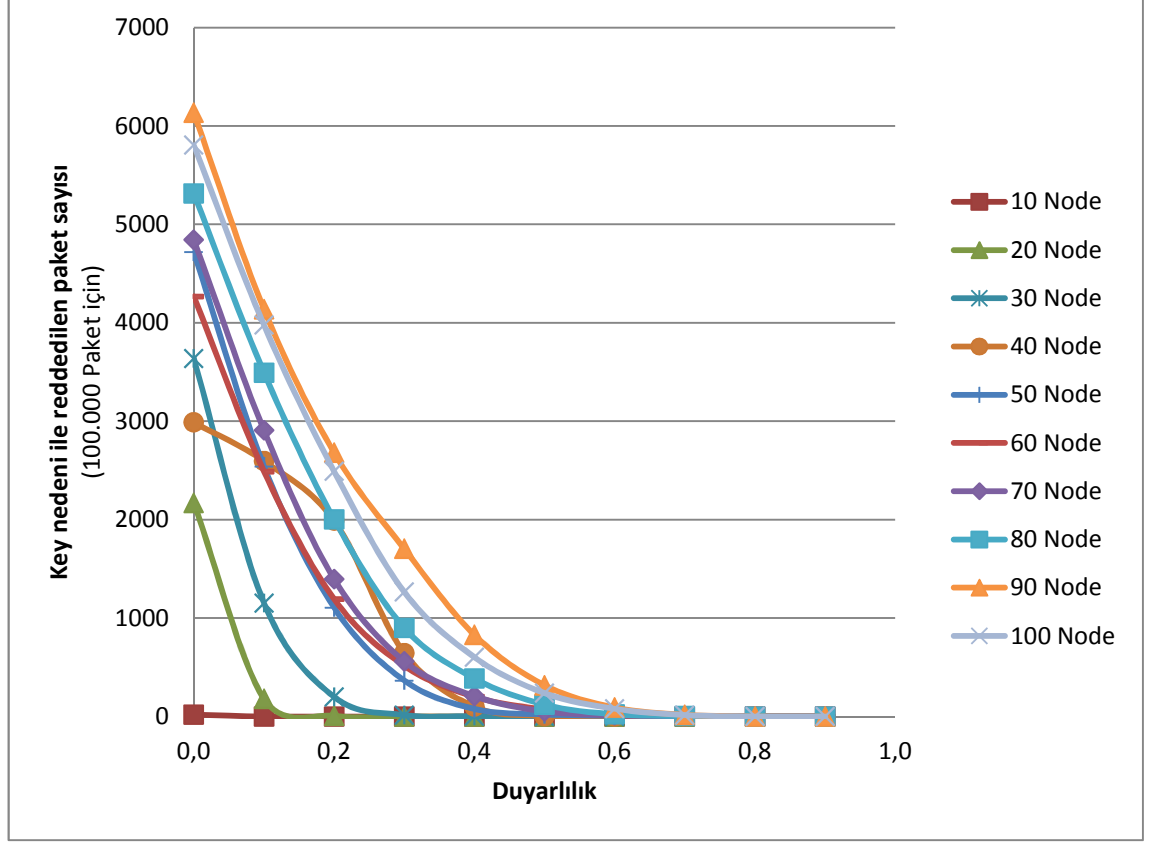


ekil 5.11 : Duyarlılı ın rastgele yerle tirilen d ümler üzerine etkisi

ekil 5.11'de açıkça görülece i gibi d m sayısının artması yayılma (propagasyon) gecikmelerine sebep olmakta ve duyarlılı ın seçimi sistemin çalı ması açısından önemli hale gelmektedir. D m sayısı arttıkça anahtar nedeni ile reddedilen paket sayısı artmaktadır. Örne in 20 d m için 0,1 duyarlılık yeterli iken, anahtarların

reddedilmemesi için 100 dü ümlü bir sistemde duyarlılık 0,6'lara kadar çekilmesi gerekebilmektedir.

Benzer durum dü ümlerin rastgele de il de düzgün bir geometriye sahip ızgaranın kö elerine gelecek ekilde yerle tirildi i durumda da (ekil 5.12) geçerlidir.

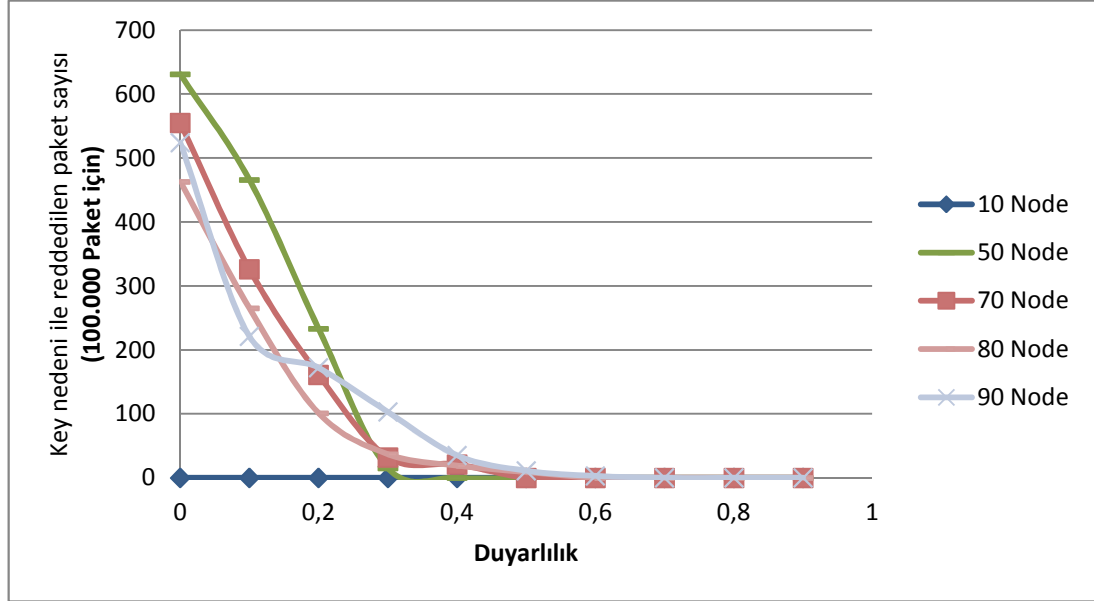


ekil 5.12 : Duyarlılı ın ızgara (grid) ekinde yerle tirilen dü ümler üzerine etkisi

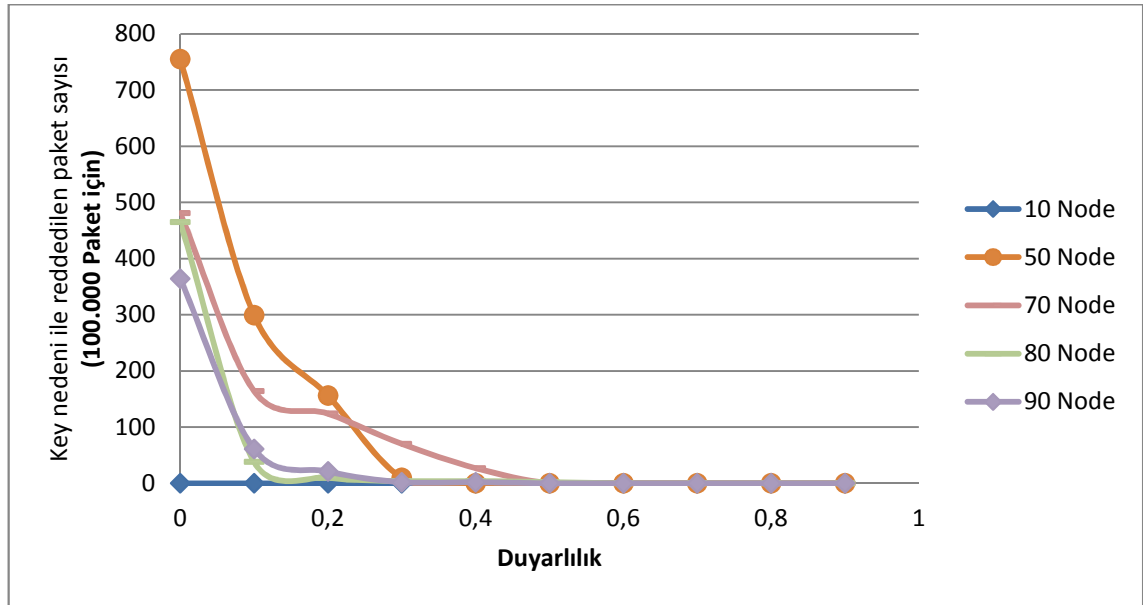
ekil 5.11 ve ekil 5.12 birlikte incelendi inde düzgün ızgaranın kö elerine yerle tirilmi durumda reddedilen anahtar sayısının fazla oldu una dikkat edilmelidir. Bunun sebebi 2. durumda hedef ile kaynak dü üm arasındaki mesafelerin 1. duruma göre büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak her iki durumda da de erlili e göre reddedilen anahtar miktarı benzer ekilde üstel olarak azalmaktadır.

5.8.2 İletim ortamının etkisi

Castalia simülasyon programında iletişim ortamı parametreleri de girilebilmektedir. İletim ortamının ideal olması durumunda tüm ortam kayıpları ihmal edilmektedir. İletim ortamının ideal olması durumunda düğüm sayısına göre duyarlılığın etkisi düğümlerin rastgele yerleştirilmesi durumu ekil 5.13’de, bir ızgaranın köşelerine yerleştirilmesi durumu da ekil 5.14’de gösterilmektedir.



ekil 5.13 : Duyarlılığın ideal ortamda rastgele yerleştirilen düğümler üzerine etkisi



ekil 5.14 : Duyarlılığın ideal ortamda ızgara (grid) ekinde yerleştirilen düğümler üzerine etkisi

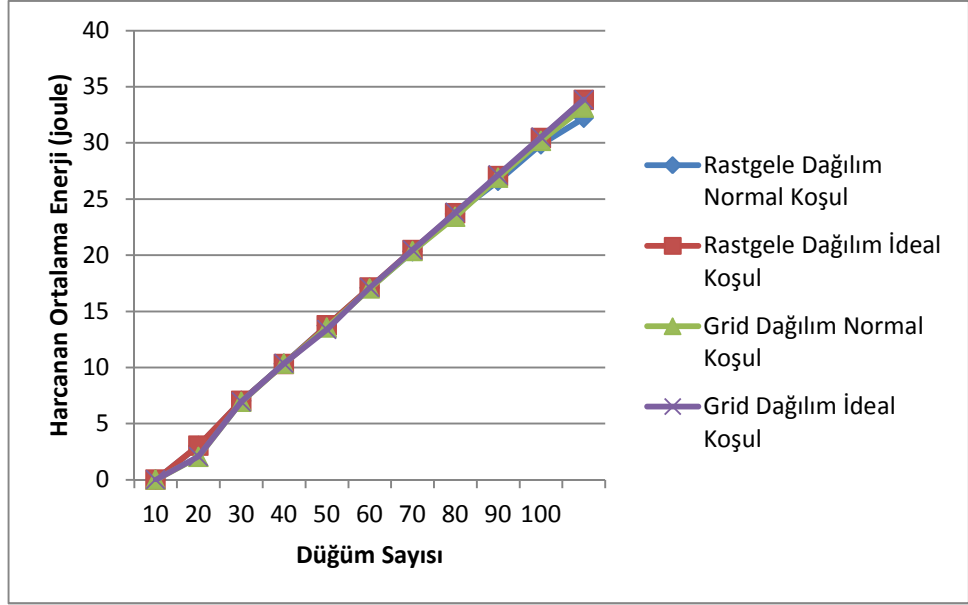
ekil 5.13 ve ekil 5.14'deki maksimum reddedilen paket miktarının dü mesinin sebebi ideal ortam artlarında iletim ortamı gecikmelerinin olmamasıdır. Ancak bu üstel olarak dü me normal iletim ortamını ile büyük benzerlik göstermektedir.

5.8.3 Enerji tüketimi

Castalia simülasyon programında her bir dü ümün enerjisi 2 tane AA' pil (18730 joule) olarak verilmiştir. Tablo 5.2'deki tabloda dü üm sayısının ortam koşullarına bağlı olarak, rastgele ekilde ve ızgara ekinde yerleştirilmesine göre her bir dü ümlerin ortalama tükettiği enerji joule cinsinden verilmiştir. Tablo 5.2'de verilen değerler ekil 5.15'te grafiksel olarak gösterilmiştir. ekil 5.15'teki değerlerin birbirine çok yakın çıkması beklenen bir sonuçtur. Çünkü her bir dü ümün ortamdan ve diğer dü ümlerden bağımsız olarak saçılım (propagasyon) yaptığından ekil 5.15'te verilen değerlerin birbirine yakın çıkması yapılan geliştirmenin doğru ve mantıklı olarak çalıştığının göstergesi olarak görülebilir.

Tablo 5.2 : Ortalama enerji tüketimi

Düğümlerin Ortalama Enerji Tüketimi				
Düğüm Sayısı	Rasgele Dağılım		Grid Dağılım	
	Normal Koşul	İdeal Koşul	Normal Koşul	İdeal Koşul
10	3,008	3,038	2,025	2,07
20	7,01	7,017	6,924	6,938
30	10,331	10,31	10,34	10,366
40	13,732	13,747	13,555	13,377
50	17,08	17,104	17,021	17,099
60	20,318	20,454	20,356	20,45
70	23,673	23,714	23,417	23,803
80	26,599	27,04	26,901	27,153
90	29,861	30,427	30,178	30,503
100	32,21	33,822	33,142	33,851



ekil 5.15 : Harcanan ortalama enerji

5.8.4 Ortalama düğüm enerjisinin duyarlılık etkisi

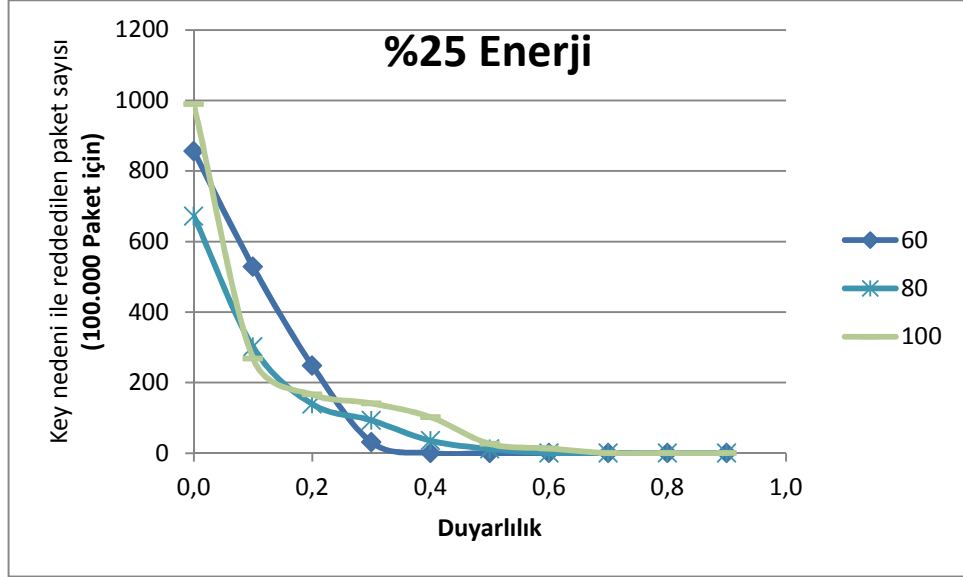
Her bir düğümün enerjisinin simülasyon programında 2 AA pil (18730 joule) atandı 1 Bölüm 0'da belirtilmiştir. Tablo 5.2'de açıkça görüleceği gibi düğüm sayısının 100 olması durumunda bile hiçbir düğümün enerjisinin verilen simülasyon zamanında (500 sn) tükenmediği açıktır. Simülasyon zamanını çok yüksek tutulması, aynı simüle edilmesi için gereken süreyi çok artırmaktadır. Bunun yerine bu tez çalışmasında her bir düğümün pil enerji miktarı üzerinde derinlik yapılmıştır.

Tablo 5.3'te 60, 80 ve 100 düğüm için Tablo 5.2'de verilen enerjilerin ~%25'i alınarak duyarlılığın reddedilen key miktarına etkisi gösterilmiştir. ekil 5.16'da duyarlılığın, reddedilen key'e etkisi %25 enerji için 100.000 pakete normalize edilerek çizilmiştir.

Tablo 5.3 : ~%25 Enerji ile duyarlılık

~%25 Enerji									
D	60 Düğüm			80 Düğüm			100 Düğüm		
	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.
0,0	55	6428	5	58	8634	7	77	7788	7
0,1	34	6449	5	26	8666	7	21	7844	7
0,2	16	6467	5	12	8680	7	13	7852	7
0,3	2	6481	5	8	8684	7	11	7854	7
0,4	0	6483	5	3	8689	7	8	7857	7

0,5	0	6483	5	1	8691	7	2	7863	7
0,6	0	6483	5	0	8692	7	1	7864	7
0,7	0	6483	5	0	8692	7	0	7865	7
0,8	0	6483	5	0	8692	7	0	7865	7
0,9	0	6483	5	0	8692	7	0	7865	7

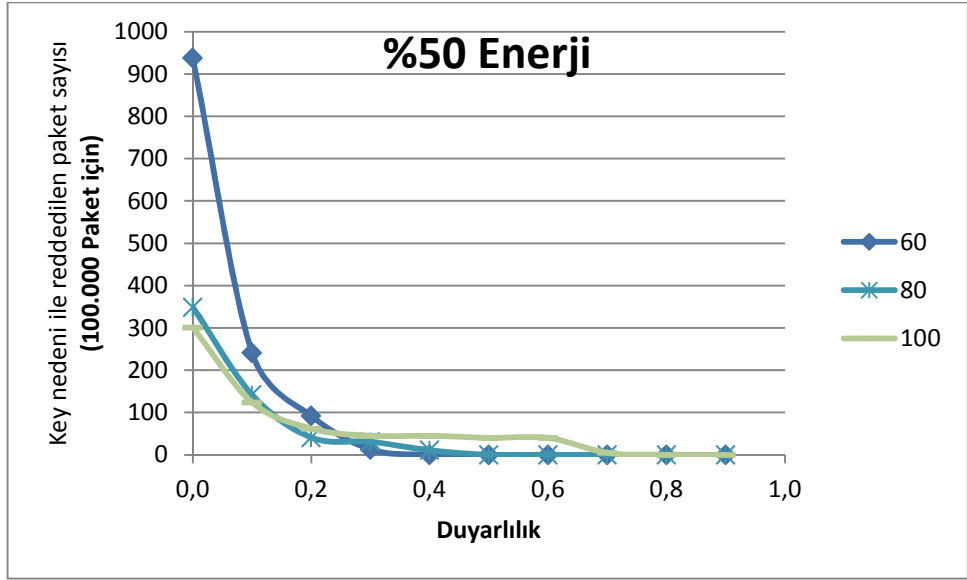


ekil 5.16 : ~%25 Enerji ile duyarlılık

Tablo 5.4'te 60, 80 ve 100 düğüm için Tablo 5.2'de verilen enerjilerin ~%50'si alınarak duyarlılığın reddedilen key miktarına etkisi gösterilmiştir. ekil 5.17'de duyarlılığın, reddedilen key'e etkisi %50 enerji için 100.000 pakete normalize edilerek çizilmiştir.

Tablo 5.4 : ~%50 Enerji ile duyarlılık

~%50 Enerji									
D	60 Düşüm			80 Düşüm			100 Düşüm		
	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.
0,0	143	15253	10	69	19790	14	68	22598	17
0,1	37	15359	10	28	19831	14	28	22638	17
0,2	14	15382	10	8	19851	14	14	22652	17
0,3	2	15394	10	6	19853	14	10	22656	17
0,4	0	15396	10	2	19587	14	10	22656	17
0,5	0	15396	10	0	19859	14	9	22657	17
0,6	0	15396	10	0	19859	14	9	22657	17
0,7	0	15396	10	0	19859	14	1	22665	17
0,8	0	15396	10	0	19859	14	0	22666	17
0,9	0	15396	10	0	19859	14	0	22666	17

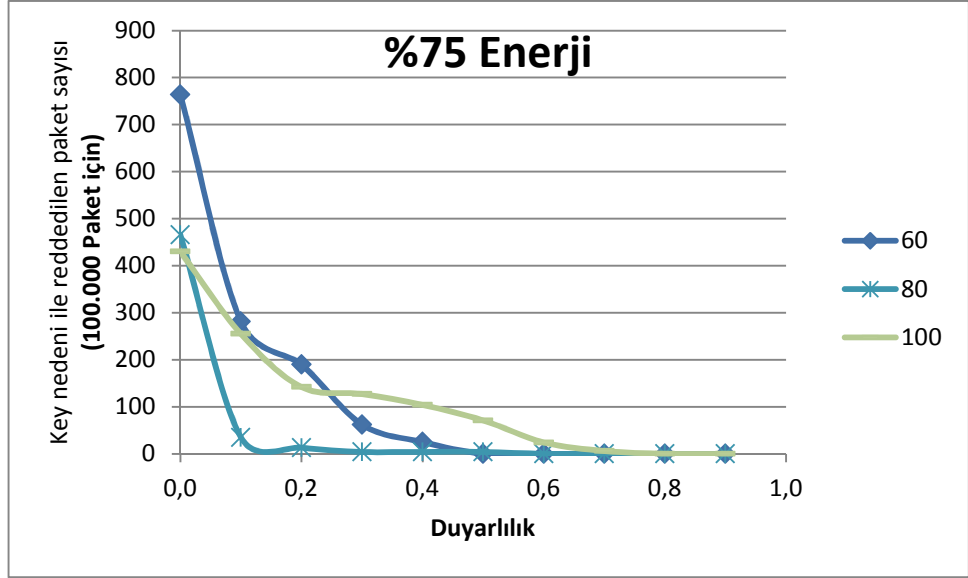


ekil 5.17 : ~%50 Enerji ile duyarlılık

Tablo 5.5'te 60, 80 ve 100 düğüm için Tablo 5.2'de verilen enerjilerin ~%75'i alınarak duyarlılığın reddedilen key miktarına etkisi gösterilmiştir. ekil 5.18'de duyarlılığın, reddedilen key'e etkisi %75 enerji için 100.000 pakete normalize edilerek çizilmiştir.

Tablo 5.5 : ~%75 Enerji ile duyarlılık

~%75 Enerji									
	60 Düzüm			80 Düzüm			100 Düzüm		
D	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene.
0,0	184	24113	15	149	32034	21	145	33763	24
0,1	68	24229	15	11	32172	21	86	33822	24
0,2	46	24251	15	4	32179	21	48	33860	24
0,3	15	24282	15	1	32182	21	43	33865	24
0,4	6	24291	15	1	32182	21	35	33873	24
0,5	0	24297	15	1	32182	21	24	33884	24
0,6	0	24297	15	0	32183	21	8	33900	24
0,7	0	24297	15	0	32183	21	2	33906	24
0,8	0	24297	15	0	32183	21	0	33908	24
0,9	0	24297	15	0	32183	21	0	33908	24

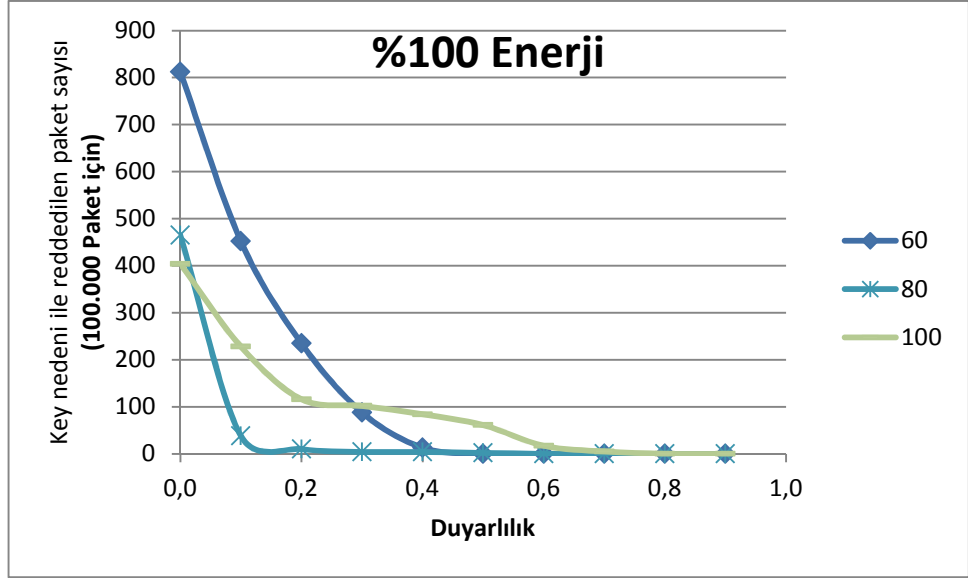


ekil 5.18 : ~%75 Enerji ile duyarlılık

Tablo 5.6'da 60, 80 ve 100 düğüm için Tablo 5.2'de verilen enerjilerin ~%100'ü alınarak duyarlılığın reddedilen key miktarına etkisi gösterilmiştir. ekil 5.19'da duyarlılığın, reddedilen key'e etkisi %100 enerji için 100.000'e pakete normalize edilerek çizilmiştir.

Tablo 5.6 : ~%100 Enerji ile duyarlılık

~%100 Enerjili									
D	60 Düğüm			80 Düğüm			100 Düğüm		
	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene .	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene .	Rej. Key	Accpt Key	Ort.Ene .
0,0	467	57543	20,45	248	53424	27,153	198	49096	33,851
0,1	261	57749	20,45	20	53652	27,153	112	49182	33,851
0,2	136	57874	20,45	5	53667	27,153	57	49237	33,851
0,3	51	57959	20,45	2	53670	27,153	50	49244	33,851
0,4	7	58003	20,45	2	53670	27,153	41	49253	33,851
0,5	0	58010	20,45	1	53671	27,153	30	49264	33,851
0,6	0	58010	20,45	0	53672	27,153	8	49286	33,851
0,7	0	58010	20,45	0	53672	27,153	2	49292	33,851
0,8	0	58010	20,45	0	53672	27,153	0	49294	33,851
0,9	0	58010	20,45	0	53672	27,153	0	49294	33,851



ekil 5.19 : ~%100 Enerji ile duyarlılık

Tablo 5.3, Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'dan açıkça görüleceği gibi enerjinin reddedilen key miktarının toplam key'lere oranına etkisinden daha çok iletilen toplam paket miktarına etkisinin olduğu görülmüştür.

5.9 Gelecek Çalışmalar

KAA'larla ilgili akademik çalışmaların alanları;

- Güvenlik
- Güç Tüketimi
- Yönlendirme
- Ortam Erişim Protokolleri

Başlıkları altında toplanabilir. Bu tez çalışmasında KAA'lar için güvenli mimari tasarım üzerinde durulmuş ve bu amaçla

- Anahtar dağıtım mekanizması
- Düşüm tanımlama mekanizması
- Mesaj kimliğinin doğrulanması protokolü
- Doğrulama mekanizması
- Duyarlılık mekanizması
- Çoklu yönlendirme mekanizması

geliştirilmiştir. Geliştirilen mimarinin çalışabilirliği de iki düüm sayıları, algılayıcı yerleşim birimleri (ızgara, rastgele), de iki iletim ortamları (normal, ideal) ve de iki pil ömürlerinde test edilmiştir.

Bu çalışmanın neticesinde geliştirilen algoritma KAA'ların güç harcamasını bakımından irdelenebilir ve güç faktörü dikkate alınarak optimize edilebilir. Ayrıca güvenlik politikasına servis kalitesini içeren protokol parçaları da eklenebilir.

Ayrıca merkez düüm kendisine gelen paketleri inceleyerek olası ağ sızma girişimlerini tespit etme ve gerekli müdahale için IDS benzeri bir güvenlik denetleme mekanizması eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A. A., Shi, H., & Shang, Y. (2003). A Survey on Network Protocols for Wireless Sensor Networks. *Information Technology: Research and Education, 2003. Proceedings.*, (s. 301-305).
- Akyildiz, I. F., & Vuran, M. C. (2010). *Wireless Sensor Networks* (1 b.). A John Wiley and Sons, Ltd, Publication.
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002, March). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422.
- Bahadır, N. (2001). Bigisayar A ları. SAS Bili im Yayınları.
- Chen, H., Wei, B., & Ma, D. (2010). Energy Storage and Management System With Carbon Nanotube Supercapacitor and Multidirectional Power Delivery Capability for Autonomous Wireless Sensor Nodes. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(12), 2897-2909.
- Çeken, C. (2008). An energy efficient and delay sensitive centralized MAC protocol for wireless sensor networks. *Computer Standards & Interfaces*(30), 20–31.
- Çibuk, M. (2009). *WIMAX/IEEE 802.16 A ları Üzerinden Web Tabanlı Bio-Telemetry Uygulamaları için Protokol Tasarımı Ve Gerçekle tirilmesi*. Elazı .
- Dhawan, S. (2007). Analogy of Promising Wireless Technologies on Different Frequencies: Bluetooth, WiFi, and WiMAX. *The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications 2007 (AusWireless 2007)*.
- Donahoo, M., & Steckler, B. (2005). Emergency Mobile Wireless Networks. *IEEE Military Communications Conference 2005 (MILCOM 2005)*, (s. 2413-2420).
- Gunasekaran, V., & Harmantzis, F. C. (2007). Emerging wireless technologies for developing countries. *Elsevier Ltd. Technology in Society*(29), 23-42.
- He, T., Krishnamurthy, S., Luo, L., Yan, T., Gu, L., Zhou, G., et al. (2006, February). VigilNet: an integrated sensor network system for energy-efficient surveillance. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2(1), 1-38.
- Heinzelman, W., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000). Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference*, (s. 1-10).

- Henderson, T. R., Roy, S., Floyd, S., & Riley, G. F. (2006). ns3 Project goals. *WNS2'06: Proceeding from the 2006 workshop on ns-2: the IP network simulator* (s. 13). New York, NY, USA: ACM.
- Hoymann, C., Püttner, M., & Forkel, I. (2003). The HIPERMAN Standard – a Performance Analysis. *Mobile & Wireless Communications Summit*, (s. 827-831). IST.
- Hura, G. S., & Singhal, M. (2001). *Data and Computer Networking and Internetworking*. CRC Press.
- IEEE. (2002, February). IEEE 802.2001 Standard for Local and Metropolitan Area Networks: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802-2001.pdf>
adresinden alınmıştır
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Heidemann, J., & Silva, F. (2003). Directed diffusion for wireless sensor networks. *IEEE/ACM Trans. Networking*, *11*(1), 2-16.
- Johnsson, M. (1999). HiperLAN/2 – The Broadband Radio Transmission Technology Operating in the 5 GHz Frequency Band. *HiperLAN/2 Globak Forum*, (s. 22).
- Karl, H., & Willig, A. (2005). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons Ltd,.
- Karlof, C., Sastry, N., & Wagner, D. (2004). TinySec: a link layer security architecture for wireless sensor networks. *SenSYS*, 162-175.
- Kavas, A. (2006, Kasım). Geni Bandta Telsiz Erişim: WiMAX, EMO. *Elektrik Mühendisli i Dergisi*(429), 61-63.
- Kim, Y., Schmid, T., Charbiwala, Z. M., Friedman, J., & Srivastava, M. B. (2008). NAWMS: Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System. *The 6th Acm Conference On Embedded Networked Sensor Systems*, (s. 309-321).
- Krishnamurthy, L., Adler, R., Buonadonna, P., Chhabra, J., Flanigan, M., Kushalnagar, N., et al. (2005). Design and Deployment of Industrial Sensor Networks: Experiences from a Semiconductor Plant and the North Sea. *In Proceedings of SenSys'05*, (s. 64–75). USA.
- Kulik, J., Heinzelman, W., & Balakrishnan, H. (2002). Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks. *5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, (s. 169-180).

- Lédeczi, Á., Nádas, A., Völgyesi, P., Balogh, G., Kusy, B., Sallai, J., et al. (2005, November). Countersniper system for urban warfare. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 1(2), 153–177.
- Lee, J., Kapitanova, K., & Son, S. H. (2010). The price of security in wireless sensor networks. *Computer Networks*, 2967-2978.
- Lindsey, S., & Raghavendra, C. S. (2002). PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 3, s. 1125-1130.
- Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R., & Anderson, J. (2002). Wireless sensor networks for habitat monitoring. *ACM WSNA '02*. GA, USA.
- Malan, D., Fulford-Jones, T., Welsh, M., & Moulton, S. (2004). CodeBlue: an Ad Hoc sensor network infrastructure for emergency medical care. *Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems (WAMES 2004)*. Boston / USA.
- Minoli, D. (2003). Wireless Technologies: WPAN, WLAN, and WWAN. D. Minoli içinde, *Telecommunications Technology Handbook, Second Edition* (s. 245-335). Boston London: Artech House.
- Molisch, A. F., Foerster, J. R., & Pendergrass, M. (2003). Channel Models For Ultrawideband Personal Area Networks. *IEEE Wireless Communications*, 14-21.
- Öztürk, E. (2004). *Wlan Kablosuz Yerel Alan A ları (Wireless Local Area Networks) Teknolojisinin ncelenmesi, Mevcut Düzenlemelerin De erlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Düzenleme Önerisi, Uzmanlık Tezi*. Ankara, Türkiye: Telekomunikasyon Kurumu.
- (2009). Fundamentals Of Physical Layer Transmission. K. Pahlavan, & P. Krishnamurthy içinde, *Networking Fundamentals Wide, Local and Personal Area Communications* (s. 84). John Wiley & Sons Ltd.
- Pantazis, N. A., & Vergados, D. D. (2007). A survey on power control issues in wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 9(4), 86-107.
- Petriu, E. M., Georganas, N. D., Petriu, D. C., Makrakis, D., & Groza, a. V. (2000, December). Sensor-based information appliances. *Instrumentation & Measurement Magazine*, 3(4), s. 31-35.

- Ramadin, D. K. (tarih yok). *Overview of Wireless Broadband Technologies*. Intel Corporation.
- Rizvi, S. S., & Chung, T.-S. (2010). PIYAS-Proceeding to Intelligent Service Oriented Memory Allocation for Flash Based Data Centric Sensor Devices in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 10(1), 292-312.
- Smale, P. H. (1994). *Haberle me Sistemlerine Giri* . (O. Parktuna, Dü.) MEB Yayınları.
- Szewczyk, R., Osterweil, E., Polastre, J., Hamilton, M., Mainwaring, A., & Estrin, D. (2004). Application driven systems research: habitat monitoring with sensor networks. *Communications of the ACM Special Issue on Sensor Networks*, 47(6), 34-40.
- Van Dam, T., & Langendoen, K. (2003). An Adaptive energy-efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks. *In The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, (s. 171–180). Los Angeles, CA,USA.
- Weingartner, E., Lehn, H. v., & Wehrle, K. (2009). A performance comparison of recent network. *IEEE ICC 2009*, (s. 1-5).
- Werner-Allen, G., Lorincz, K., Welsh, M., Marcillo, O., Johnson, J., Ruiz, M., et al. (2006, March/April). Deploying a wireless sensor network on an active volcano. *IEEE Internet Computing*, 10(2), 18-25.
- Xia, F. (2009). Wireless Sensor Technologies and Applications. *sensors*, 9(11).
- Ye, W., Heidemann, J., & Estrin, D. (2004). Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks. *IEEE/ACM Trans. Net*, 12(3), 493–506.
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(2), 2292-2330.
- Yılmaz, E., & Öztürk, E. (2007). Yeni Nesil Kablosuz İletişim Teknolojileri Karşılamalı Analizi. III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu. Adana.
- Yoon, S. Y. (2004). *Introduction of WiBro Technology*. Samsung Electronics Co, Ltd.

D ER KAYNAKLAR

- [1] "Haberle me Hakkında Temel Bilgiler",
<http://www.elektrik.gen.tr/icerik/haberle%C5%9Fme-hakk%C4%B1nda-temel-bilgiler>
- [2] "Network: Temel A Topolojileri",
<http://www.cozumpark.com/blogs/network/archive/2008/04/29/temel-a-topolojileri.aspx>
- [3] "Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions",
<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/304471.pdf>
- [4] "IEEE 802.2001 Standard for Local and Metropolitan Area Networks",
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802-2001.pdf>
- [5] "IEEE 802.15 Çalı ma Grubu Resmi Web Sitesi", <http://www.ieee802.org/15/>
- [6] "IEEE 802.15 WPAN™Task Group 6 (TG6)Body Area Networks",
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [7] "Multimedia Mobile Access Communication Systems",
<http://www.arib.or.jp/mmac/e/outline/index.htm>
- [8] "Infrared Data Association", <http://www.irda.org>
- [9] "HomeRF Overview and Market Positioning, Introduction",
<http://www.palowireless.com/homerf/homerf1.asp>
- [10] "The Official Bluetooth Technology Web Site",
<http://www.bluetooth.com/Pages/History-of-Bluetooth.aspx>
- [11] "Bluetooth Tutorial - Specifications, What is Bluetooth ?",
<http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial.asp>
- [12] "The Official Bluetooth SIG Member Website Building with the Technology: Overview", <https://www.bluetooth.org/Building/overview.htm>
- [13] "Bluetooth Special Interest Group (SIG) Architecture: Radio",
<https://www.bluetooth.org/Building/HowTechnologyWorks/Architecture/Radio.htm>
- [14] "IEEE 802.15 WPAN High Rate Alternative PHY Task Group 3a (TG3a)",
<http://standards.ieee.org/about/sasb/nescom/projects/802-15-3a.pdf>
- [15] "ZigBee Alliance", <http://www.zigbee.org/>
- [16] "Zigbee: "Wireless Control That Simply Works"",
http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5438
- [17] "Wikipedia-ZigBee", <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

- [18] "IEEE 802.11, The Working Group Setting the Standards for Wireless LANs",
<http://www.ieee802.org/11/>
- [19] "IEEE 802.11Tn Working Group",
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11n-2009.pdf>
- [20] "Broadcom Corporation 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology",
http://www.broadcom.com/collateral/wp/802_11n-WP100-R.pdf
- [21] "IEEE 802.11n-2009", http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n
- [22] "ETSI-HiperLAN High Performance Radio Local Area Networks",
http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101000_101099/101031/01.01.01_60/tr_101031v010101p.pdf
- [23] "Wikipedia-HiperLAN", <http://en.wikipedia.org/wiki/HiperLAN>
- [24] "ETSI-HiperLAN/2", http://easy.intranet.gr/H2_overview.pdf
- [25] "ETSI-HiperMAN",
http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102000_102099/102079/01.01.02_60/tr_102079v010102p.pdf
- [26] "Wikipedia-WiBro", <http://en.wikipedia.org/wiki/WiBro>
- [27] "Boomerang shooter detection system", <http://bbn.com/boomerang>
- [28] "Dust Networks Inc.", <http://www.dust-inc.com>
- [29] "CORIE", <http://www.ccalmr.ogi.edu/CORIE/>
- [30] "Artificial Retina project", <http://artificialretina.energy.gov/>
- [31] "CodeBlue: Wireless Sensors for Medical Care",
<http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue>
- [32] "Intel Strong ARM SA-1100 Datasheet", www.lartmaker.nl/278088.pdf
- [33] "16-Bit MSP430™ Microcontrollers",
<http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?sectionId=95&tabId=1200&familyId=342&family=mcu>
- [34] "ATmega128/L Datasheet",
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf
- [35] "RFM TR1000 Ailesi Datasheet", <http://www.rfm.com/products/data/tr1000.pdf>
- [36] "TI Chipcon Product List",
<http://focus.ti.com/analog/docs/enggresdetail.tsp?familyId=367&genContentId=3573>
- [37] "Chipcon CC1000 Datasheet", <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc1000.pdf>

- [38] "Chipcon CC2420 Datasheet", <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>
- [39] "Infineon TDA5250 Datasheet",
http://www.infineon.com/dgdl/TDA5250_DS_V1.7.pdf?folderId=db3a30431689f4420116a096e1db033e&fileId=db3a3043191a246301192e72a7312c03
- [40] "Sensör Nedir?", http://www.robotiksystem.com/sensor_nedir_sensor_cesitleri.html
- [41] "Kablosuz Algılayıcı A Listesi",
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_wireless_sensor_nodes
- [42] "IEEE 802.11", <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>
- [43] "Castalia User Manual", <http://castalia.npc.nicta.com.au/pdfs/Castalia%20-%20User%20Manual.pdf>

ÖZGEÇM

1.Adı Soyadı: O uz ATA

2.Do um Tarihi ve Yeri: 26 Temmuz 1980, Elazı

3.Ünvanı: Doktor

4.Ö renim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Bilgisayar Mühendisli i	Sakarya Üniversitesi	2004
Y. Lisans	Bilgisayar Mühendisli i	Beykent Üniversitesi	2008
Doktora	Bilgisayar Mühendisli i	Trakya Üniversitesi	2012

5. Akademik Ünvanlar

Görev Ünvanı	6 Görev Yeri	Yıl
Ara Gör.	Yeniyüzyıl Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisli i	2010-2011

6. Yönetilen Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora Tezleri:

6.1 Yönetilen Yüksek Lisans Tezleri:

6.2 Yönetilen Doktora Tezleri:

7 Yayınlar

7.1. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler :

7.1.1 Ata, O., Ucar, E., Balık, H. H., "Design Of Novel Architecture in Wireless Sensor Networks in order to Gain Optimum Data Security ", Computer Networks, Under Review.

7.1.2 Ata, O., Balık, H. H., "A Novel Algorithm For Computer Based Assessment", BEU Journal of Science and Technology, Accepted.

7.1.2 Ciftci, U, Ata, O., Balık, H. H., "Fast and Rigorous Assignment Algorithm for Multiple Reference and Calculation", Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, 1(2), 187-199 (2010).

7.2. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler :

7.2.1 Ata, O., Balik, H. H., "Implementation of Multiple Choice Examination System Based On Ajax Technique", 3rd International Computer & Instructional Technologies Symposium, Trabzon, Turkey, October, 2009.

7.4. Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

7.4.1 Ata, O., Ucar, E., Balik, H. H., "Kablosuz Algılayıcıların Güncel Kullanım Alanları", İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 85-101 (2011).

7.4.2 Ata, O., Ucar, E., Balik, H. H., "Kablosuz Algılayıcı Alarında Kullanılan Teknoloji ve Protokoller Üzerine bir inceleme", İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (2012) Accepted.

7.5. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

7.6. Diğer yayınlar :

9. İdari Görevler :

Eğitim Koordinatörü	Yeniyüzyıl Üniversitesi	2011
IT Koordinatör Yardımcısı	Beykent Üniversitesi	2006-2010

11. Ödüller :

12. Verdiği lisans ve lisansüstü düzeydeki dersler:

Akademik Yıl	Dönem	Dersin Adı	Haftalık Saati		Örenci Sayısı
			Teorik	Uygulama	
2011-2012	Güz	Digital Design	3	2	20
		Numerical Analysis I	3	0	15
		Data Structure I	3	0	15
		Probabilty	3	0	60
	Bahar	Digital Design	3	2	38
		Object Oriented II	3	0	15
		Numerical Analysis II	3	0	15
		Numerical Desing	3	0	15

13. İletişim Bilgileri

Adresi:

Telefonu :

E-Mail Adresi: oguzata@gmail.com