**T.C.**

**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ SENSÖRLER**

**KENAN BAYSAL**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**EDİRNE,2011**

[1 Giriş 4](#_Toc294461061)

[2 Kablosuz Teknolojiler Gelişim Süreci 4](#_Toc294461062)

[2.1 Kablosuz Sensör Düğümlerinin Gelişimi 7](#_Toc294461063)

[2.1.1 WINS – University of California, Los Angeles 8](#_Toc294461064)

[2.1.2 Motes Ailesi – University of California, Berkley 8](#_Toc294461065)

[2.1.3 Medusa – University of California, Los Angeles 9](#_Toc294461066)

[2.1.4 PicoRadio - University of California, Berkley 10](#_Toc294461067)

[3 Yapı Olarak Kablosuz Sensör Düğümleri 10](#_Toc294461068)

[3.1 İşlem Birimi 11](#_Toc294461069)

[3.1.1 Intel Strong ARM 12](#_Toc294461070)

[3.1.2 Texas Instruments MSP 430 12](#_Toc294461071)

[3.1.3 Atmel ATmega 12](#_Toc294461072)

[3.2 Bellek Birimi 13](#_Toc294461073)

[3.3 İletişim Birimi 13](#_Toc294461074)

[3.3.1 Alıcı-Verici Birimi 14](#_Toc294461075)

[*3.3.1.1 RFM TR1000 Ailesi 15*](#_Toc294461076)

[*3.3.1.2 Chipcon CC1000 ve CC2420 Ailesi 16*](#_Toc294461077)

[*3.3.1.3 Infineon TDA 525x Ailesi 16*](#_Toc294461078)

[3.4 Sensör Birimi 16](#_Toc294461079)

[3.5 Düğümler İçin Geliştirilmiş İşletim Sistemleri 17](#_Toc294461080)

[4 Kablosuz Sensör Ağlarının Desteklediği Protokoller 19](#_Toc294461081)

[4.1 IEEE 802.15.4/ZigBee Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü 19](#_Toc294461082)

[4.1.1 IEEE 802.15.4/ZigBee Mimarisi 19](#_Toc294461083)

[4.2 Diğer Kablosuz Bağlantı Teknolojileri 21](#_Toc294461084)

[4.2.1 IEEE 802.11x 21](#_Toc294461085)

[4.2.2 IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth 22](#_Toc294461086)

[5 Kablosuz Sensör Ağları Mimarisi 22](#_Toc294461087)

[5.1 Yıldız Ağ 23](#_Toc294461088)

[5.2 Mesh Ağ 23](#_Toc294461089)

[5.3 Yıldız – Mesh Hibrid Ağ 24](#_Toc294461090)

[6 Kablosuz Sensörlerin Kullanım Alanları 25](#_Toc294461091)

[7 Sonuç 26](#_Toc294461092)

[Kaynaklar 26](#_Toc294461093)

**Şekiller Listesi**

[Şekil 2.1 Kablosuz Teknolojinin Gelişim Süreci 5](#_Toc294460011)

[Şekil 2.2 Günümüz kablosuz teknolojisi 6](#_Toc294460012)

[Şekil 3.1 Kablosuz Sensör Mimarisi 10](#_Toc294460013)

[Şekil 3.2 Kablosuz Sensör Düğümü İşlevsel Blok Şeması 11](#_Toc294460014)

[Şekil 3.3 Flaş bellek birimi mimarisi 13](#_Toc294460015)

[Şekil 3.4 RF ön birim blok şeması 14](#_Toc294460016)

[Şekil 4.1 ZigBee Mimarisi 20](file:///D%3A%5CY%C3%BCksek%20Lisans%20Dosyalar%C4%B1m%5CHasan%20H%C3%BCseyin%20BALIK%5CKenan%20Baysal_KABLOSUZ%20SENS%C3%96RLER.docx#_Toc294460017)

[Şekil 5.1 Yıldız Ağ 23](file:///D%3A%5CY%C3%BCksek%20Lisans%20Dosyalar%C4%B1m%5CHasan%20H%C3%BCseyin%20BALIK%5CKenan%20Baysal_KABLOSUZ%20SENS%C3%96RLER.docx#_Toc294460018)

[Şekil 5.2 Mesh Ağı 24](file:///D%3A%5CY%C3%BCksek%20Lisans%20Dosyalar%C4%B1m%5CHasan%20H%C3%BCseyin%20BALIK%5CKenan%20Baysal_KABLOSUZ%20SENS%C3%96RLER.docx#_Toc294460019)

[Şekil 5.3 Yıldız - Mesh Hibrid Ağ 24](file:///D%3A%5CY%C3%BCksek%20Lisans%20Dosyalar%C4%B1m%5CHasan%20H%C3%BCseyin%20BALIK%5CKenan%20Baysal_KABLOSUZ%20SENS%C3%96RLER.docx#_Toc294460020)

**Tablolar Listesi**

[Tablo 1 Yaygın olarak kullanılan Kablosuz Sensörler ve teknik özellikleri 18](#_Toc294460027)

[Tablo 2 IEEE 802.15.4 Radyo frekansları ve veri aktarım hızları 19](#_Toc294460028)

[Tablo 3 ZigBee ve Bluetooth karşılaştırması 20](#_Toc294460029)

[Tablo 4 IEEE 802.11 Standartlarının karşılaştırılması 21](#_Toc294460030)

[Tablo 5 Bluetooth fiziksel özellikleri 22](#_Toc294460031)

# Giriş

Gelişen teknolojinin ulaştığı karmaşık düzen içerisinde kablosuz teknolojilerin vazgeçilmez bir yeri olmuştur. Birçok alanda geniş saha haberleşmesinin ihtiyacını karşılamakta, yaşanacak herhangi bir karmaşanında önüne geçmektedir. İletişim çağının başlarında telgraf ve telefon teknolojisi ile birlikte başlayan kablolu iletişim artık yerini, öncelikle uydu teknolojilerinin başını çektiği, kablosuz teknolojilere bırakmaya hazırlanmaktadır.

Kablosuz sistemlerde kaydedilen bu teknolojik gelişmeler, ortam şartlarını gözlemleyen ve veri aktarımında kullanılan sensörlerde de uygulanmaya başlanmıştır. Düşük maliyet, düşük güç tüketimi, veri işleme, kablosuz iletişim kapasiteleri ile sınırlı sayıda ekipmanla donatılmış küçük algılayıcılar özellikleriyle bilinen kablosuz sensörler özellikle iletişim alanında önemli yer tutmaktadır.

 Kablolu sensör sistemlerinde yaşanacak olası kablo kırılmaları ve kopmaları, geniş sahaların kontrolünde kullanılan sistemlerdeki yüksek kablo maliyetleri ve bununla beraber yüksek güç tüketimlerinin, *“wireless”* teknolojisiyle sensörlere uygulanmasıyla önüne geçilmiştir. Sensörler, makinalara, yapılara ve çevreye entegre bir şekilde toplum için maksimum fayda sağlayacak şekilde kullanılmaktadır. Üretim sahasında verim, hata denetimi, doğal kaynakların korunumu ve denetimi, gelişmiş acil müdahale ve güvenlik sistemlerinde etkin kullanım alanları arasında sayılabilir.

# Kablosuz Teknolojiler Gelişim Süreci

19.yy’da *Faraday, Maxwell, Hertz* ve daha birçok bilim adamının öncü çalışmalarıyla ve *Marconi’nin* kablosuz telgraf sistemiyle kablosuz veri iletişim teknolojisine hızlı bir başlangıç yapılmıştır. 1920’li yıllarda taşınabilir radyoların kullanılabilir duruma gelmesi, gezici radyolara (*Mobile Radio*) öncülük etmiştir. Radyo teknolojisi; radyo, televizyon yayınları ve 2. Dünya Savaşında kullanılan sırt telsizleri ile olgunlaşmıştır. 1940’lı yıllarda hücre teknolojisi geliştirilmiş ve radyo frekans servis alanları hücrelere bölünerek parazit azaltılmış, kapasiteleri arttırılmıştır. Bu gelişme bugün kullandığımız geniş alan sesli iletişimi ve yerel kablosuz ağlarının iletişim esaslarını oluşturmaktadır. 1957 yılında ilk uydunun dünya yörüngesine gönderilmesiyle uydular iletişim teknolojilerinde aktif rol oynamaya başlamıştırlar. 1969 yılında Federal İletişim Komisyonu kurularak radyo frekans spektrumu mobil telefonlara tahsis edilmiştir. 1970’li yıllarda POCSAG (*Post Office Code Standardization Avisory*) numerik sayfalama kodu standartlaştırıldı ve AT&T firması hücre sistemi kullanarak ilk mobil telefon servisini hizmete soktu. 1987 yılında FCC 800 MHz hücre spekturumunda yeni teknolojilerin kullanılmasına izin verdi. Bununla birlikte ilk Dijital Hücre Yayını (*CDMA – Code Division Multiple Access, TDMA – Time Division Multiple Access ve GSM – Global System for Mobile*) Birleşik Devletler’de test edildi. Dijital teknolojilerin adaptasyonuyla kısa süre içerisinde sesli mesaj ve kısa mesaj servisleri geliştirildi.[1]

1900

1920

1940

1960

1980

2000

Kablosuz Telgraf

Radyo Yayını

Federal İletişim Komisyonu Kuruluşu

Tek Yön Gezici Sesli Radyo

Ticari TV yayınları

Kısa Mesafeli Alıcı-Verici Telsiz

Uydu İletişimi

Ticari Cep Telefonları

Kişisel Uydu Telefonları

Yüksek Hızlı Kablosuz Bağlantı

Telefon

Kıtalararası Telefon

Transistör

Telefon Modem

Faks

Fiber Optik

Yerel Ağ

World Wide Web

Şekil 2.1 Kablosuz Teknolojinin Gelişim Süreci

1990’lı yıllarda Kablosuz Teknolojilerin kullanımında yaşanan patlama ve buna paralel olarak gelişen İnternet Teknolojilerindeki patlama Kablosuz Ses Hizmetlerinin Birleşik Devletler ve Dünya’nın büyük bir bölümünde yaygınlaşmasına yol açmıştır. Kişisel kablosuz veri hizmetleri ele alınacak olursa; bunlar: kısa mesaj servisi (*SMS*), kablosuz uygulama protokolü (WAP), *ReFlex, Bluetooth, i-Mode* ve *802.11* ile örneklendirilebilir.

Bugünün kablosuz teknolojileri kullanıcılara engin bir kullanım alanı sunmaktadır. Sistem çıktıları sürekli olarak genişlemekte ve artan çok miktarda uygulama kullanmayı desteklemektedir.

**Kullanım Genişliği**

LMDS

Mikrodalga

VSAT

IR/Optik

**Sistem Çıktısı**

802.11

Bluetooth

3G

2.5G

2G Hücresel

Mobil Uydu

Paging

**Yerel**

**Geniş**

1 m

1 km

1000 km

kbps

Mbps

Gbps

**Sabit**

Şekil 2.2 Günümüz kablosuz teknolojisi

Şekil 2.2’de Kablosuz teknolojilerin sistem çıktısı ve kullanım genişliğine göre sınıflandırması görülmektedir [1]. Şekilde ki grafiğin sol tarafında; noktadan noktaya mikro dalga ve sabit uydu sistemleri gibi yüksek veri iletim hızına sahip, sabit alan sistemleri gösterilmiştir. Sabit alan sistemlerin yanında yer alan, kablosuz yerel alan ağları 802,11 (*WSNs*) ve kişisel alan ağları (*Bluetooth*) gibi, yerel alan sistemleri sınırlı kullanım genişliği sunmasına rağmen Mbps hızında veri iletişimine olanak sağlamaktadır. Son olarak geniş alan teknolojileri ise, geniş bir kullanım alanı sunmasına rağmen düşük bit hızlarına sahiptir.

## Kablosuz Sensör Düğümlerinin Gelişimi

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca birçok teknolojik gelişim sürecinde olduğu gibi sensör düğümlerinin de gelişim süreci askeri alandaki çalışmalarla başlamıştır. 1950’li yılların başlarında Atlantik okyanusunun derin havzalarında, Ses Gözetim Sistemi (*Sound Surveillance Systems - SOSUS*) adı verilen uzun menzilli akustik sensörler (hydrophones), deniz altı gözetimi amacıyla konumlandırılmaya başlanmıştır. Bu sistem daha karmaşık bir düzenek olan Entegre Denizaltı Gözetim Sistemi (*Integrated Undersea Surveillance Systems - IUSS*) ile değiştirilinceye kadar deniz altından gelebilecek tehliklere karşı Birleşik Devletlerin korunmasına yardımcı olmuştur. Hava savunma radar ağları da uzun menzilli kablosuz sensörlere örnek olarak kabul edilebilir. Yerleşik kara radar sistemleri ve Hava sahası Uyarı ve Kontrol Sistemi uçakları (*AWACS*) içerisine entegre edilmiş kablosuz ağlar sayesinde hava gözetim, kontrol, komuta ve iletişimini sağlamaktadır. AWACS uçaklarının üzerinde bulunan 10 metre çapında 2 metre kalınlığındaki radar kubbeleri 300km uzaklıktaki uçan bir hedefi algılayabilmektedir. 1980’ler ve 1990’lar da CEC (*Cooperative Engagement Capability*) savaş sahasında bulunan çoklu radar düzenekleri arasında kurulacak bağlantı ordu sensör ağı olarak geliştirdi. Geliştirilen diğer bir kablosuz sensör sistem ise Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından Vietnam savaşında kullanılan Air Delivered Seismic Intrusion Detector (ADSID) sistemidir. Her bir ADSID düğümü yaklaşık 1.2 metre uzunluğunda 0.2 metre çapında ve 17 kg ağırlığında idi. Yol boyunca yerleştirilen bu düğümler hassas sismometreler ile donatılmış olup hareket eden herhangi bir araç veya personelin titreşimini, eşsiz bir frekanstan doğrudan alıcı uçağa iletmekteydi. Odlukça yüksek güç tüketen ve ağır olan bu ilk kablosuz sensör düğümü örnekleri oldukça başarılı konsept olmasına karşın ömrü sadece birkaç hafta ile kısıtlıydı.[2]

### WINS – University of California, Los Angeles

1996 yılında düşük güçlü entegre kablosuz mikro sensörlerin (*LWIMs*) UCLA ve Rockwell Bilim Merkezi tarafından üretilmesiyle, kablosuz sensörler ticari alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Düşük maliyetli CMOS fabrikasyon ile çok sayıda sensör, elektronik arayüz, kontrol ve iletişim birimleri tek küçük bir aygıtta toplanmıştır. LWIM 1mW verici ile 10 metrelik bir alanda 100Kbps kablosuz iletişimi desteklemekteydi.

1998 yılında yine aynı takım, ikinci nesil sensör düğümü olan Entegre Kablosuz Ağ Sensörlerini (*Wireless Integrated Network Sensors - WINS*) üretti. Rockwell tarafından üretilen ticari kullanım amaçlı WINS, 32 bitlik Intel Strong ARM SA1100 işlemci (1 MB SRAM ve 4 MB flash hafıza), 1 ile 100mW arasında ayarlanabilen güç tüketimi ile 100Kbps kablosuz iletişimi destekleyen bir radyo kartı ve bir sensör kartı barındırmaktaydı. İşlemcinin aktif güç tüketimi 200mW seviyesindeyken uyku halinde güç tüketimi 0.8mW civarındaydı.[4]

### Motes Ailesi – University of California, Berkley

1999 yılında UC Berkeley’de geliştirilen Smart Dust projesi ile üretilen WeC adı verilen ilk sensör düğümü piyasaya sürüldü. WeC, 8 bitlik 4 MHz hızında aktif güç tüketimi 15mW, pasif güç tüketiki 45µW olan Atmel Mikro denetleyici (512b Ram 8Kb Flash hafıza) üzerinde barındırmaktaydı. Aynı zamanda WeC 10Kbs hızında kablosuz veri iletişimini 36mW verici ve 9mW alıcı güç tüketimi ile desteklemekteydi.

Bu süreçte, Mica, Mica2, Mica2Dot ve MicaZ’yi bünyesinde barındıran Mica ailesi 2001 yılında piyasaya sürüldü. Mica 8 bit 4 Mhz hızındaki ATmega103L işlemcisini kullanmaktayken önceki sensör düğümlere kıyasla daha üstün bir kapasiteye sahip olduğu kabul edildi. Mica 4Kb Ram ve 128 Kb flash hafızası ve basit bit düzeyinde radyo kullanan RFM TR1000 ile neredeyse WeC ile aynı güç tüketim değerleriyle 40Kbps kablosuz veri iletişimine olanak tanımaktaydı. Mote mimarisi, birden fazla değişik türevde sensör, veri erişim kartı veya ağ ara yüz kartı monte edilmesine izin veriyordu.

Mica’yı takip eden süreçte 2002 yılında Mica2 ve Mica2Dot düğümleri, 33mW aktif ve 75µW pasif güç tüketimine sahip, ATmega128L mikrodenetleyicisi ile piyasaya sürüldü. Radyo modülünü de daha geniş frekans seçeneği sunan ve FSK modülasyonu kullanarak gürültü düzeyini düşüren Chipcon CC1000 modülü ile değiştirildi. Bundan bir yıl sonra MicaZ, 802.15.4/ZigBee protokolü destekleyen [4], 250Kbs üzeri kablosuz veri iletişimi sağlayan Chipcon CC2420 geniş band modülüyle piyasaya sürüldü. Bu modül aynı zamanda tümleşik olarak şifreleme ve kimlik doğrulamayı da destekliyordu.

Motes ailesinin diğer bir ürünü olan Telos 2004 yılında piyasaya sürüldü [5]. 3mW aktif, 15µW pasif güç tüketimine sahip Texas Instruments firmasının mikro denetleyicisini kullanan Telos oldukça düşük güç tüketimiyle dikkat çekmiştir. Bununla birlikte maliyeti düşüren PCB üzerinde tümleşik anten, PC ile kolay iletişim kurmayı sağlayan tümleşik USB bağlantı arayüzü, entegre nem, sıcaklık ve ışık sensörü, eşsiz sensör kimlik tanımlama için 64 bit MAC adresleme Telos ile sunulan yeniliklerdendir.[2]

### Medusa – University of California, Los Angeles

Motes, tasarım felsefesi ve kullanım alanları bakımından WINS’ten oldukça farklıdır. Motes basit algılama ve sinyal işleme uygulamaları için tasarlanmış, işlem ve iletişim kapasitesi bakımından zayıf kalmıştır. WINS esasen yoğun işlem uygulamaları ve büyük hafıza ihtiyaçları için PDA’in tümleşik bir versiyonudur. Motes ve WINS arasındaki bu boşluğu doldurmak amacıyla Medusa MK-2 sensör düğümü CENS (*Center of Embedded Networked Sensing*) tarafından 2002 yılında UCLA’da geliştirilmiştir.

İki adet mikrodenetleyici içermesi Medusa MK-2’nin ayırd edici özelliğidir. ATmega128 mikrodenetleyicisi düşük işlem kapasitesi gerektiren, radyo bandı işleme ve sensör örneklemeye ayrılmıştır. Diğer işlemcisi olan AT91FR4081 mikrodenetleyicisi (*40MHz, 1Mb flash hafıza, 136 Kb Ram*) ise daha fazla güç gerektiren karmaşık işlemlere ayrılmıştır. Bu iki farklı özellikte mikro denetleyicinin bir araya gelmesiyle Kablosuz Sensör Ağlarında, yüksek hız ve uzun pil ömrü ihtiyacı gerektiren ortamlarda esnek bir kullanım sağlamaktadır.[2]

### PicoRadio - University of California, Berkley

Kablosuz düğümlerin en kritik sorunu enerji tüketimi konusudur. Geniş saha kullanımlarında sık denetim ve yenileme ihtiyacı yüzünden bakım maliyeti sorunu ortaya çıkarmaktadır. 2003 yılında Berkley Kablosuz Araştırma Merkezi (BWRC) gücünü güneşten ve titreşim sinyallerinden alan ilk kablosuz verici olan PicoBeacon’u piyasa sürdü. Entegre edilen RF modülü 400µW’tan daha az güç tüketmekteydi. Yoğun ışıklı bir ortamda %100, karanlık bir ortamda titreşime bağlı olarak %2.6 işlem kapasitesiyle çalışmaktaydı. [2]

# Yapı Olarak Kablosuz Sensör Düğümleri

**Algılama Birimi**

……

**İşlem Birimi**

**İletişim Birimi(Telsiz)**

Güç Kaynağı

Sensör 1

ADC

Sensör N

ADC

Mikrodenetleyici

Alıcı

Verici

**Bellek Birimi**

Dahili Bellek

Şekil 3.1 Kablosuz Sensör Mimarisi

Şekil 3,1’de tipik bir kablosuz sensör mimarisi görülmektedir. Dört ana bileşen olarak; güç kaynağı, algılama birimi, işlem birimi ve iletişim birimi mevcuttur. Algılama birimi bir veya birden fazla sensör ve analog dijital dönüştürücüden (ADC) oluşabilir. Sensörler, izlenen sistemin ısı, nem, basınç veya hız gibi fiziksel verilerini ölçen donanımsal birimlerdir. Bu donanım sayesinde ölçülen analog veriler analog dijital çevirici sayesinde dijital verilere dönüştürülerek işlem birimine iletilir. İşlem birimi beraberinde bir mikro denetleyici ve dahilinde çip hafızası ve flash hafızası içeren bir bellek birimini de barındırır. İşlem birimi; görevleri yerine getirmekle, veri işlemekle ve sensör düğümünün diğer bileşenler ile işlevselliğini kontrol etmekle yükümlüdür. Bir kablosuz sensör diğer bir sensör düğümü ile iletişim birimi sayesinde bağlantı kurmaktadır. Bu birim aynı anda hem alıcı hem de verici görevlerini yerine getirir. Kablosuz iletim ortamı radyo frekansı, optik veya kızılötesi olabilmektedir.[6]

Kablosuz sensörler geniş saha alanında kullanıldıkları için enerji tüketim miktarları önemlidir. Şekil 3,1 ile kablosuz sensör mimarisinde gösterilen birimlerine göre enerji tüketimi ele alınırsa, en çok enerji tüketimi yapan birim iletişim birimidir. Algılama birimi ve işlem birimi ise iletişim birimine göre daha az enerji tüketmektedir.

Sensör Sinyal İşleyici

Çoklayıcı, Yükselteç

A/D Dönüştürücü

Mikro Denetleyici

RF alıcı verici

Flash EEPROM

Sensor Girişleri

Şekil 3.2 Kablosuz Sensör Düğümü İşlevsel Blok Şeması

## İşlem Birimi

İşlem birimi kablosuz sensör düğümün çekirdeğidir. Algılayıcı birimden alınan veriyi toplar, nereye ve ne zaman göndereceğine karar verir, diğer sensör düğümlerinden veri alır ve çalıştırıcının davranış biçimine karar verir. Zaman, kritik sinyal işlemi ve iletişim protokollerine göre değişen çeşitli programları çalıştırmak durumundadır. Düğümün merkezi işlem birimidir.

İşlem biriminin yapılandırılmasında seçilecek olan donanımın öncelikli olarak, esnek kullanım, enerji verimliliği ve düşük maliyet özelliklerine sahip olması beklenmektedir.

Bir çözüm olarak, bilgisayarlarda da kullanılan, genel kullanım işlemcileri bu iş için uygunmuş gibi düşünülebilir. Ancak bu işlemciler yüksek işlem kapasitelerine rağmen çok yüksek miktarda enerji tüketmektedirler. Bu işlemcilerden farklı mikrodenetleyici olarak bilinen daha basit yapıda ve gömülü sistemlerde kullanılmak üzere uygun işlemciler mevcuttur. Diğer aygıtlarla kullanımında (sensör gibi) gösterdiği esneklik, sinyal işleme işlemleri için yeterli sayılabilecek komut seti, düşük güç tüketimi ve dâhilinde mevcut olan bellek birimiyle mikro denetleyicileri bu alanda kullanılabilir kılmaktadır.[18] Bütün bunlara ek olarak serbest biçimde programlanabilir olmaları esnekliklerini arttırmaktadır. Uyku durumu güç tüketimlerini minimum seviyede tutmayı başardığı için kablosuz sensör ağlarında tercih edilen bir donanım birimi olmuştur.[7] [8]

### Intel Strong ARM

WSNs sistemlerinde kullanılan üst uç noktada sayılabilir ve genellikle PDA gibi el aygıtlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. SA-1100 modeli 32 bit RISC mimarisine sahip 206 MHz hızında çekirdeğe sahiptir.

### Texas Instruments MSP 430

Texas Instruments firması bütün mikrodenetleyici ailesini MSP-430 tanımı altında piyasaya sürmüştür. Strong ARM’ın aksine gömülü sistemlere yönelik geliştirilmiş bir mikro denetleyicidir. Yapı olarak 16 bit RISC mimarisine sahip 4 MHz hızında bir çekirdeğe sahiptir. Hız ve mimari olarak zayıf gibi görünse de ara bağlantı için geniş bir imkân sunmaktadır ve komut seti yeterli düzeyde ve kullanışlıdır.

### Atmel ATmega

Atmel AT mega128L, 8 bitlik RISC mimarisine sahip 16MHz hızında bir mikro denetleyicidir. Gömülü sistemlerde kullanıma uygun genel çevre şartlarında kullanılabilecek bir dış ara yüze sahiptir.

## Bellek Birimi

Kullanılan bellek birimi rasgele erişimli bellek biçimidir. Sensörlerden iletilen bilgileri depolar, diğer düğümlerden gelen paketleri saklar. Hızlı bir RAM bellek kullanılması, enerji kesintilerinde yüksek miktarda veri kaybına yol açar. Program kodları ROM bellek veya EEPROM türü bellekte saklanır.

Blok 0

Blok 1

Blok 2

Blok 2047

Sayfa 0

 Sayfa 1

 Sayfa 2

 Sayfa 31

Veri alanı

(512b)

Yedek alan

(16b)

LBN

LPN

ECN

ECC

Temizleme Bayrağı

Kullanılan/Serbest bayrak

Geçerli bayrak

Rezerve

Flaş dizisi

Blok

Sayfa

Yedek alan

Şekil 3.3 Flaş bellek birimi mimarisi

Şekilde 32 Mb lık bir bellek birimin mimari yapısı görülmektedir. Flash bellek birimleri blok adı verilen eşit büyüklükteki silme birimlerine ve her blok sayfa olarak isimlendirilen okuma yazma birimlerine bölümlendirilmiştir. Her sayfa veri alanı ve yedek alan olarak iki birimden oluşur. Yedek alan ise, lojik blok numarası, lojik sayfa numarası, silme sayıcı numarası, hata doğrulama kodu, temizleme bayrağı kullanılan/serbest bayrağı ve geçerli bayrak birimi bilgisini barındırır.[29]

## İletişim Birimi

İletişim birimi diğer düğümler arasında veri alışverişi yapan birimdir. İletişim birimi donanımı, cihazın kullanılacağı ortam göz önüne alınarak seçilir. Radyo frekansı, optik iletişim, yansılanım veya özel durumlarda kullanılan manyetik indüktans genel olarak kullanılan iletişim biçimleridir. Bu seçeneklerden radyo frekans temelli iletişim türü kablosuz sensör düğümleri arasında iletişimin sağlanmasında en uygun biçimdir. Radyo frekans temelli iletişim, alıcı ve verici arasında geniş bir mesafe olmasına olanak tanır, yüksek veri iletimi sağlar, kabul edilebilir seviyede düşük hata düzeyi sunar, düşük enerji tüketir ve alıcı ile verici arasında bir hatta ihtiyaç duymaz. Bu kablosuz sensör ağları 433MHz ile 2.4GHz frekansları aralığında veri iletişimi gerçekleştirir.[12]

### Alıcı-Verici Birimi

Gerçek bir iletişim için bir sensör düğümü hem alıcı hem de verici birimine ihtiyaç duyar. Esas görevi mikro denetleyiciden gelen bit düzeydeki verileri radyo dalgalarına, ortamdaki radyo dalgalarını da bit düzeyindeki verilere çevirmektir. Uygun bir kullanım için bu iki işleminde aynı sürede yapılması beklenir.

Radyo Ön Birim

Frekans Dönüştürücü

Anten Ara Yüzü

Gürültü azaltıcı yükselteç

Güç yükselteci

Ara frekans ve temel band işleme

Şekil 3.4 RF ön birim blok şeması

 Kablosuz sensör düğümü için seçilecek alıcı-verici biriminin bazı karakteristik özellikleri olması beklenir. Üst katmanlara hizmet kapasitesi, güç tüketimi ve enerji verimliliği, taşıyıcı frekans ve çoklu kanal sağlaması, durum değiştirme süreleri ve enerji, veri hızı, modülasyon, şifreleme, iletim gücü kontrolü, gürültü faktörü, kazanç, alıcı hassasiyeti, frekans kararlılığı gibi karakteristik özellikleri dikkate alınır.[9]

 Şekil 3,4’te alıcı-verici biriminin ön uç birimi görülmektedir. Bu birim geçerli radyo frekans bandında analog sinyal işleme görevi üstlenmektedir. Hemen gerisinde bulunan ara frekans ve temel bant işleme birimi ise dijital platformda sinyal işleme ve sensör düğümünün işlemcisi veya diğer dijital devre birimi ile iletişimi sağlamakla görevlidir. Güç yükselteci birimi dönüştürülmüş sinyali alarak yükseltip antene iletir. Gürültü azaltıcı yükselteç ise antenden gelen sinyali alarak ortam gürültüsünü önemli ölçüde azaltıp geçerli veri sinyalinin genliğini arttırarak işlenmek üzere ilgili birime iletir. Osilatör ve karıştırıcı birimleri ise sinyali RF spektrumundan orta düzey frekansa veya temel bant frekansına dönüştürme işlemlerinde kullanılır.

 Birçok alıcı-verici biriminin dört işlem durumu mevcuttur.

* İletim durumu; alıcı-verici biriminin verici kısmının aktif olduğu ve antenden enerji yaydığı durumdur.
* Alıcı durumu; alıcı kısmının aktif olduğu durumdur.
* Idle; alıcı-vericinin veri almaya hazır olduğu fakat aktif olarak veri almaya başlamadığı durumdur. Idle durumunda alıcı-verici biriminin birçok kısmı aktif durumdadır.
* Bekleme durumu; alıcı-vericinin birçok önemli biriminin kapalı halde beklediği durumdur.

Kablosuz sensör ağları için uygun alıcı-verici birimleri pek çok firma tarafından piyasa sürülmüştür. Bu aygıtların sınıflandırılmasında genellikle Avrupa’da ve Kuzey Amerika’da, taşıyıcı frekans üzerinde yapılan düzenleyici kısıtlamalar dikkate alınmaktadır. En yaygın olarak kullanılan ürün çeşitleri arasında; RFM TR 1001, Chipcon CC 1000 & CC2420 (*ilk IEEE 802.15.4 uyumlu modellerden biri*) ve Inineon TDA525x ailesi sayılabilir.[13]

Kablosuz sensörlerin geniş sahada düşük güç tüketerek iletişim sağlaması için en uygun iletişim protokolü ZigBee Alliance tarafından geliştirilen IEEE 802.15.4 standardıdır. Aynı zamanda ZigBee olarak da bilinir.

#### 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. Mica ailesinde 0.75mW olarak verilmesine rağmen, üretici bilgilerinde maksimum çıkış gücü 1.5dBm ≈ 1.4mW olarak verilmiştir. Mica ailesinde RFM TR1000 ailesi kullanılmasıyla birlikte donanım hızlandırıcı birim de kullanılmaktadır.

#### Chipcon CC1000 ve CC2420 Ailesi

Chipcon kablosuz sensör ağı donanımlarını çekici kılan geniş bir alıcı-verici aralığı sunmaktadır. CC1000 programlanabilir 250Hz’lık aralıklarla 300 ile 1000MHz aralığında bir frekans genişliği ve programlanabilir çıkış gücü sunmaktadır.

CC2420 ise CC1000’e göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. IEEE 802.15.4 standardında tanımlanan fiziksel katman ve MAC protokol standardı desteklemektedir. [15] [32]

#### 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; 868-870MHz aralığında ASK ve FSK modülasyonu sağlamakta, yüksek verimli güç yükselteci, ayarlanabilir kristal osilatör, tümleşik veri filtresi, gelişmiş güç kesme özelliği sunmaktadır.[9]

## Sensör Birimi

Sensör birimi olmadan diğer bütün birimlerin bir araya gelmesi ancak, gerçek bir veri alışverişinden yoksun bir aygıt ortaya çıkartabilir.

Sensörleri üç kategoride incelemek mümkündür;[9]

* **Pasif, çok yönlü sensörler**; ortamda herhangi bir değişikliğe yol açmadan sadece sensör düğümünün bulunduğu noktada fiziksel büyüklükleri ölçme işlemi gerçekleştirir. Bu nedenle birçok sensör türleri ihtiyacı olan enerjiyi ortamdan sağlar. Güç sadece ortamdan alınan analog sinyal verisinin yükseltilme işleminde kullanılır. Isı sensörü, ışık sensörü, titreşim sensörü, mikrofon pasif sensör tipine örnek olarak gösterilebilir.
* **Pasif, tek yönlü sensörler;** ortamda bir değişikliğe yol açmadıkları gibi ölçüm yapacakları konuda yönlendirilmiş olmaları gerekir. Örneğin mesafeyi ölçecek bir kamera gerekli görülmediği sürece ölçüm yapacağı yönde hedeflenmiş olması gerekir.
* **Aktif Sensörler;** ortamda sinyal üreten ve bu sinyalin aldığı duruma göre ölçüm yapan sensörlerdir. Örneğin küçük şok dalgaları üreterek ölçüm yapan Sonar veya Radar sensörler bu grupta değerlendirilirler.

## Düğümler İçin Geliştirilmiş İşletim Sistemleri

Boyutları küçülen ve kapasiteleri artan kablosuz sensör düğümlerinin açık alanda kullanım ömrünün uzun yıllar sürmesi istenmektedir. Enerji tüketiminin donanım seviyesinde minimum seviyede tutulması istendiği gibi yazılım seviyesinde de minimum seviyede olması gerekmektedir. Bunun için piyasada geliştirilmiş olan ticari ve açık kaynak kodlu olarak işletim sistemleri bulunmaktadır. Açık kaynak kodlu olarak;

* TinyOS
* MANTIS
* SOS

Ticari olarak ise;

* µCOS
* AVRX

bunlardan bazıları olarak sayılabilir. [12]

Tablo 1 Yaygın olarak kullanılan Kablosuz Sensörler ve teknik özellikleri [33]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Sensör | Mikrokodenetleyici | Telsiz | Program + Veri Hafızası | Harici Hafıza |
|
| BTnode | Atmel ATmega 128L (8 MHz @ 8MIPS) | Chipcon CC1000 (433-915 MHz) ve Bluetooth (2.4 GHz) | 64+180 K RAM | 128K FLASH ROM, 4K EEPROM |
| EPIC Mote | Texas Instruments MSP430 mikrodenetleyici | 250 kbit/s 2.4 GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Kablosuz Transceiver | 10k RAM | 48k Flash |
| Imote | ARM core 12 MHz | 30m mesafeli Bluetooth | 64K SRAM | 512K Flash |
| IMote 2.0 | Marvell PXA271 ARM 11-400 MHz | TI CC2420 802.15.4/ZigBee uyumlu | 32 MB SRAM | 32 MB Flash |
| Iris Mote | ATmega 1281 | Atmel AT86RF230 802.15.4/ZigBee uyumlu | 8K RAM | 128K Flash |
| Kmote | TI MSP430 | 250 kbit/s 2.4 GHz IEEE 802.15.4 Chipcon KablosuzTransceiver | 10k RAM | 48k Flash |
| Mica | ATmega 103 4 MHz 8-bit CPU | RFM TR1000 Radyo 50 kbit/s | 128+4K RAM | 512K Flash |
| Mica2 | ATMEGA 128L | Chipcon 868/916 MHz | 4K RAM | 128K Flash |
| MicaZ | ATMEGA 128 | TI CC2420 802.15.4/ZigBee uyumlu | 4K RAM | 128K Flash |
| NeoMote | ATmega 128L | TI CC2420 802.15.4/ZigBee uyumlu | 4K RAM | 128K Flash |
| Rene | ATMEL8535 | 10 kbit/s bantgenişliği 916 MHz Radyo | 512 bytes RAM | 8K Flash |
| SenseNode | MSP430F1611 | Chipcon CC2420 | 10K RAM | 48K Flash |
| Shimmer | MSP430F1611 | 802.15.4 Shimmer SR7 (TI CC2420) | 48 KB Flash 10 KB RAM | 2 GB microSD Card |
| SunSPOT | ARM 920T | 802.15.4 | 512K RAM | 4 MB Flash |
| TelosB | Texas Instruments MSP430 Mikrodenetleyici | 250 kbit/s 2.4 GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Kablosuz Transceiver | 10k RAM | 48k Flash |
| Tinynode | Texas Instruments MSP430 Mikrodenetleyici | Semtech SX1211 | 8K RAM | 512K Flash |
| T-Mote Sky | Texas Instruments MSP430 Mikrodenetleyici | 250 kbit/s 2.4 GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Kablosuz Transceiver | 10k RAM | 48k Flash |
| Waspmote | Atmel ATmega 1281 | ZigBee/802.15.4/DigiMesh/RF , 2.4 GHz/868/900 MHz | 8K SRAM | 128K FLASH ROM, 4K EEPROM, 2 GB SD card |
| FireFly | Atmel ATmega 1281 | Chipcon CC2420 | 8K RAM | 128K FLASH ROM, 4K EEPROM |
| Vemesh | TI MSP430 | Semtech SX1211/1231, TI TRF6903 | 512B RAM | 8K FLASH |

# Kablosuz Sensör Ağlarının Desteklediği Protokoller

## IEEE 802.15.4/ZigBee Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü

Kişisel kablosuz ağlarda, düşük güç ile sınırlı kapasite veri iletimi sağlamak amacıyla ZigBee firması tarafından geliştirilmiş ve IEEE tarafından 802.15.4 adıyla standartlaştırılmış iletişim protokolüdür.[11]

ZigBee’nin diğer IEEE standartlarına göre ayırt edici özellikleri;[14]

* 10 ile 115.2Kbps arasında düşük veri hızı
* Standart bir batarya ile birkaç yıl süren düşük güç tüketimi
* Çoklu izleme ve uygulama kontrolü sağlayan ağ topolojisi
* Düşük maliyet, basit ve kolay kullanım
* Yüksek güvenlik

Tablo 2 IEEE 802.15.4 Radyo frekansları ve veri aktarım hızları

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Band | Etki Sahası | Kanal | Veri Hızı |
| 2.4GHz | Dünya geneli | 16 kanal | 250kbps |
| 915MHz | Amerika | 10 kanal | 40kbps |
| 868MHz | Avrupa | 1 kanal | 20kbps |

### IEEE 802.15.4/ZigBee Mimarisi

ZigBee; IEEE’nin Wi-Fi, Bluetooth gibi diğer kablosuz standartların mimarisine benzer bir mimariye sahiptir [10]. Şekil 4,1’de basitleştirilmiş blok şema olarak ZigBee’nin mimarisi görülmektedir. [22] En altta RF alıcı-vericinin fonksiyon tanımlamasına göre iki fiziksel katman seçeneği görülmektedir. Her ikisinin de aynı anda aygıtta olması beklenmez. Fiziksel katman üzerinde iki adet alt katmandan oluşan Veri bağlantı katmanı bulunur. Bu alt katmanlar; mantıksal bağlantı kontrol ve MAC katmanıdır. MAC katmanı, fiziksel katmanların yönetiminden, kanal erişim, slot

Şekil 4.1 ZigBee Mimarisi

Uygulama Katmanı

Mantıksal Bağlantı Kontrol

MAC

PHY

868/915 MHz

PHY 2450MHz

İletim Ortamı

zamanlarının izlenmesi ve mesaj ulaşım bilgisinden sorumludur [27]. Mantıksal Bağlantı Kontrol katmanı ise MAC, fiziksel katman ve uygulama yazılımı arasında bir ara yüz oluşturur. [11]

 Tablo 3’te kişisel alan ağlarında yaygın olarak kullanılan Bluetooth modeli ile ZigBee’nin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 3 ZigBee ve Bluetooth karşılaştırması

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Bluetooth | Zigbee |
| İletim Programı | FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) | DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) |
| Modülasyon | GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) | QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) veya BPSK (Binary Phase Shift Keying) |
| Frekans Bandı | 2.4GHz | 2.4GHz, 915MHz, 868MHz |
| Ham Veri Bit Hızı | 1Mbps | 250Kbps, 40Kbps, 20Kbps (frekans bandına bağlı) |
| Güç Çıkışı | Max 100mW, 2.5mW veya 1mW (sınıfına bağlı) | Min 0.5mW maksimum ise yerel regülasyona bağlı |
| Minimum hassasiyet | %0.1 Bit hata oranı için -70dBm | %1’den küçük paket hata oranı için -85dBm (2.4GHz) veya -92dBm(915/868MHz) |
| Ağ topolojisi | Master + Slave 8 aktif düğüm | Yıldız veya noktadan noktaya 255 aktif düğüm |

 Zigbee ağının koordinatör özellikleri şöyle sıralanabilir; [28]

* Ağı kurup hazır hale getirir
* Ağda bulunan Beacon ismindeki çerçeveleri iletir.
* Ağda bulunan düğümleri düzenler
* Ağda düğüm bilgilerini depolar
* Eşleşmiş düğümler arasındaki mesajları yönetir.
* Tipik alıcı konumunda işlem yapar

## Diğer Kablosuz Bağlantı Teknolojileri

### IEEE 802.11x

Yerel ağlarda bilgisayarlar veya diğer aygıtlar arasında yüksek bant genişliğinde veri transferi yapabilmek amacıyla geliştirilmiş ve IEEE tarafından 802.11 adı altında standartlaştırılmış bir iletişim protokolüdür. Veri aktarımına 1Mbps den 50 Mbps hızına kadar imkan sağlamaktadır. Standart bir anten ile 100 metre uzaklığına kadar veri aktarımı gerçekleştirebilir ancak yüksek güçlü bir anten ile çok daha uzak mesafelere veri iletimi gerçekleştirebilir. Atamalı frekans ve doğrudan sekans yayma spektrum modülasyonuna imkan tanımaktadır. Veri aktarım hızı kablosuz sensör uygulamaları için yeterli yükseklikte olsa da yüksek güç tüketim gereksinimleri kablosuz sensör uygulamalarında kullanılmalarının önüne geçmektedir. [16]

Tablo 4 IEEE 802.11 Standartlarının karşılaştırılması

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **802.11a** | **802.11b** | **802.11g** | **802.11n** | **802.11y** |
| **İşlem Frekansı (GHz)** | 5 | 2.4 | 2.4 | 2.4 & 5 | 3.7 |
| **Maksimum veri hızı (Mb/s)** | 54 | 11 | 54 | 248 | 54 |
| **Maksimum iç mekan iletim mesafesi (m)** | 35 | 40 | 40 | 70 | 50 |
| **Maksimum dış mekan iletim mesafesi (m)** | 100 | 120 | 120 | 250 | 5000 |

### IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth

IEEE 802.11x standardından daha güçlü bir kişisel alan ağı standardıdır. Bilgisayarlar ile cep telefonu gibi aygıtlar arasında kısa mesafede veri aktarımı uygulamalarını kullanmak amacıyla geliştirilmiştir. Yıldız topolojisinde 7 düğümün bir merkez istasyonu ile iletişim kurmasını destekler. Bazı firmalar bluetooth teknolojisini kullanan kablosuz sensör geliştirmiş olsa da geniş çevreler tarafından bluetooth teknolojisinin kısıtlamaları sebebiyle kabul görmemiştir. Bluetooth teknolojisinin kablosuz sensör ağlarında kabul görmemesinin belli başlı sebeplerini şöyle sıralayabiliriz;

* Kısa iletim mesafesi için yüksek güç tüketimi
* Bekleme modundan çıkıp tekrar sistem ile senkronize olmasının uzun sürmesi ve bu durumun ortalama sistem güç tüketimini arttırması.
* Az sayıda düğüme imkân tanıması

Tablo 5 Bluetooth fiziksel özellikleri

|  |  |
| --- | --- |
| **Frekans Aralığı** | **2402 – 2480 MHz** |
| **Veri Oranı** | 1 Mbps (fiziksel) |
| **Kanal Bant Genişliği** | 1 MHz |
| **Kanal Sayısı** | 79 |
| **Mesafe** | 10 – 100 m |
| **RF Atlama** | 1600 kez |
| **Şifreleme** | Cihaz ID ve 0 / 40 / 64 bit anahtar uzunlukları |
| **Tx Çıkış Gücü** | Azami 20dbm (0.1Mw) |

# Kablosuz Sensör Ağları Mimarisi

Kablosuz iletişimde bir çok farklı ağ iletişim yöntemi mevcuttur. Kablosuz sensör ağlarının yapısı diğer uygulama alanlarından farklı olduğu için genellikle; yıldız, mesh, yıldız-mesh hibrit ağ mimarileri kullanılmaktadır. [17]

## Yıldız Ağ

Bir merkez istasyonundan birçok düğüm kontrol noktasına mesaj göndermek veya mesaj almak biçiminde işleyen ağ bağlantı türüdür. Bu ağ bağlantı türünde, düğüm noktaları sadece merkez istasyon ile arasında veri aktarımı yapabilir. Her düğüm kendi arasında veri aktarımı yapamaz.

Şekil 5.1 Yıldız Ağ

 Bu bağlantı türünün kablosuz sensör ağları için avantajı; düğümlerin güç tüketimlerini basit bir şekilde kontrol altında tutabilmesidir. Ayrıca merkez istasyon ile düğüm arasındaki veri aktarım gecikmesi de oldukça düşüktür. Olumsuz yanı ise bütün düğümlerin merkez istasyonunun kapsama alanı içerisinde bulunması gereksinimidir.

## Mesh Ağ

Mesh ağ bağlantı türünde herhangi bir düğümün kapsama alanı içinde bulunan bir düğümün diğer bir düğüm ile iletişim kurabilmesine izin vermektedir. Geniş alan kablosuz sensör ağlarında oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Eğer bir kablosuz sensör kapsama alanı dışında kalan diğer bir sensör ile bağlantı kurmak istiyorsa diğer sensör düğümlerini köprü olarak kullanır ve radyo dalgalarının kapsama alanı dışında kalan sensör düğümü ile iletişim kurar. Bu yöntem ile oldukça geniş mesafelerde düşük güç harcayarak iletişim kurmak mümkün olmaktadır. [19]

Şekil 5.2 Mesh Ağı

 Şekil 5,2’de mesh ağı kullanan kablosuz sensörler arasında veri aktarım örneği görülmektedir. 1. ve 9. düğümler birbirinin kapsama alanı dışında olmasına rağmen 4. Ve 6. düğümleri kullanarak iletişim kurmaktadır. Ayrıca bu ağ yöntemi ile sisteme kolaylıkla bir düğüm eklenebilir ve 255 düğüm noktasına kadar bağlanmayı desteklemektedir. Olumsuz yönü ise düğüm noktalarının kendi verilerini gönderip almasının yanında birbirleriyle iletişim kurmaya çalışan diğer düğümler arasında da veri iletişimi yaptıkları için güç tüketimi yıldız ağ bağlantı tipine göre fazladır. [21]

## Yıldız – Mesh Hibrid Ağ

Yıldız ağı ile Mesh ağının yapısını birlikte kullanarak kapsama alanının maksimum enerji tüketiminin de minimum seviyede tutulmasını amaçlayan kablosuz ağ bağlantı yöntemidir. [23]

Şekil 5.3 Yıldız - Mesh Hibrid Ağ

Bu ağ topolojisinde düşük güçlü düğümlerin kendi veri aktarımı dışında diğer düğümlerin kendi üzerinden bağlantı kurmasına izin verilmez. Doğrudan yüksek güçlü diğer bir düğüm üzerinden erişmek istedikleri düğüm ile bağlantı kurarlar. Bu yöntem ile geniş bir alanda kurulan kablosuz sensör ağında kullanılan düğümlerin büyük oranda düşük güç tüketmesi sağlanır. Bu ağ topolojisi ZigBee topolojisi olarak da bilinmektedir. [20]

# Kablosuz Sensörlerin Kullanım Alanları

2000’li yıllardan itibaren kablosuz sensör teknolojisi ile geniş bir alanı kontrol etmek ve veri akışı sağlamak oldukça esnek ve basit bir yapı haline gelmiştir. Sağlamış olduğu bu kolaylıklar sayesinde endüstri, sağlık, çevre bilimleri ve askeri alanlar gibi birçok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur[26]. Uygulama alanlarının bazı örnekleri şu şekilde sıralanabilir;[24]

* Doğa (bitki & hayvan) izleme ve çevresel gözlem [30]
* Hava durumu tahmin sistemleri
* Sağlık uygulamaları (hasta doktor takibi, hastanın fizyolojik ve psikolojik izlenmesi)
* Enerji üretim dağıtım merkezleri
* Ev ofis uygulamaları
* Uzak yerlerin durumlarının kontrol altında tutulması (orman yangını vb..)
* Metropol şehirlerinde taksilere yerleştirilen sensör ile trafik durum raporu elde edilmesi
* Oto park alanlarında boş ve dolu yerlerin tespiti
* Kablosuz güvenlik ile iç mekan güvenliği sağlanması
* Askeri alanda düşman hareketlerinin belirlenmesi ve izlenmesi
* Mayınlı alan konum belirlenmesi ve uyarı sistemi
* Köprü, gökdelen binalar gibi büyük yapıların olası risklerinin kontrol edilmesi
* Nem sensörleri ile ekili alanların sulama kontrolü [25]
* İnsan sağlığına zararlı ortamların gözlenmesi ve kontrol altında tutulması [31]

# Sonuç

Hızla gelişen teknoloji ile insanoğlunun çevre kontrol ve yönetme kabiliyetini arttıran, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı ile herkes tarafından ulaşılabilir ve kullanılabilir durumda olan kablosuz sensör ağları, önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ile daha uzun kullanım sürelerine erişecek ve şüphesiz, kendisine daha fazla kullanım alanı bularak gündelik hayatta büyük faydalar sağlayacaktır.

# Kaynaklar

1. Dowla, F., **2004**, *“Handbook of RF and Wireless Technologies”* Elsevier Inc.; USA, s5
2. Yang Yu; Prasanna, V. K.; Krishnamachari, B.; **2006**; *“Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks”* World Scientific Publishing Co., USA
3. Hac, A., **2003**, *“Wireless Sensor Network Designs”* Wiley, Sussex UK, s162
4. Hande, A.; Polk, T.; Walker, W.; Bhatia, D.; **2006**, *“Self-Powered Wireless Sensor Networks for Remote Patient Monitoring in Hospitals”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland, s6
5. Polastre, J.; Szewczyk, R.; Culler, D.; **2005**, “*Telos Enabling Ultra-Low Power Research”* IPSN '05 Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in Sensor Networks, USA
6. Xia, F., **2009**, *“Wireless Sensor Technologies and Applications”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
7. Kramer, M.; Geraldy, A., **2006**, *“Energy Measurements for MicaZ Node”* University of Kaiserslautern, Germany
8. Küçük, G.; Başaran, C., **2006**, *“Power-Aware Processors for Wireless Sensor Networks”* 21st International Symposium on Computer Sceinces, İstanbul
9. Karl, H.; Willig, A., **2005**, *“Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks”* John Wiley & Sons Ltd., Sussex UK, s22-s38,s31
10. Rackley, S., **2007**, *“Wireless Networking Technology”* Newnes, Oxford UK
11. Karasulu, B.; Toker, L.; Korukoğlu, S., **2009**, *“ZigBee - IEEE 802.15.4 Standartı Temelli Kablosuz Algılayıcı Ağları”*  XIV. Türkiye'de İnternet Konferansı - Inet-tr'09, İstanbul
12. Tayşi, Z. C.; **2006***,”Telsiz Algılayıcı Düğüm Tasarımı ve Gerçeklenmesi”* Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
13. Lee, B.H.; Lai, R.L.; Wu, H.K.; Wong, C.M.; **2010***,”Study on Additional Carrier Sensing for IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
14. Chandra, P.; Dobkin, D. M.; Bensky, A.; Olexa, R.; Lide, D. A.; Dowla, F.; **2008**, *“Wireless Networking”* Elsevier, USA,s510
15. Wirz, M., **2007**, *“BTnode Application for Automated Link Measurements”* Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Germany
16. Kazavsky, G. L.; Cheng, N.; Shaw, W.; Gutierrez, D.; Wong, S.; **2011**, *“Broadband Optical Access Networks”* Wiley, Canada,s21
17. Raludi,R., 2011, “Building Wireless Sensor Networks” O’Reilly,USA, s28
18. Lee, D., **2008**, *“Energy Harvesting Chip and the Chip Based Power Supply Development for a Wireless Sensor Network”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
19. Buratti, C.; Conti, A.; Dardari, D.; Verdone, R., **2009**, *“An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
20. Bhattacharyya, D.; Kim, T.; Pal, S.; **2010***, “A Comparative Study of Wireless Sensor Networks and Their Routing Protocols”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
21. Okdem, S.; Karaboga, D.; **2009**, *“Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization (ACO) Router Chip”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
22. Ma, Y.; Chen, J.L.; Huang, Y.M.; Lee, M.Y.; **2010**, *“An Efficient Management System for Wireless Sensor Networks”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
23. Figueiredo, C. M. S.; Nakamura, E. F; Loureiro A. A. F.; **2009**, *“A Hybrid Adaptive Routing Algorithm for Event Driven Wireless Sensor Networks”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
24. Kalaycı, T. E.; **2009**, *“Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları”* Akademik Bilişim; Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
25. Durukan Odabaşı, Ş.; Zaim, A. H.; **2010**, *“Kablosuz Sensör Ağlar ve Güvenlik Problemleri”* 3. Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu, Ankara
26. Lygeros, J.; Manesis, S.; **2005,** *“A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks”* Mediterranean Conference on Control and Automation, Cyprus
27. Agha, K.; Bertin, M. H.; Dang, T.; Guitton, A.; Minet, P.; Val, T.; Viollet, J.B., **2009**, *“Which Wireless Technology for Industruial Wireless Sensor Networks”* IEEE Transactions on Industrial Electronics
28. Özçekiç, E.; **2005**, *“Akıllı Ev Sistemleri”* Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik – Bilgisayar Anabilim Dalı Bilgisayar Ağları ve İnternet Teknolojileri Programı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
29. Rizvi, S.S.; Chung, T.S.; **2009,** *”PIYAS-Proceeding to Intelligent Service Oriented Memory Allocation for Flash Based Data Centric Sensor Devices in Wireless Sensor Networks”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
30. Pawlowski, A.; Guzman, J.L.; Rodríguez, F.; Berenguel, M.; Sánchez, J.; Dormido, S.; **2009**, *“Simulation of Greenhouse Climate Monitoring and Control withWireless Sensor Network and Event-Based Control”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
31. Song, G.; Zhou, Y.; Ding, F.; Song, A.; **2008,** *“A Mobile Sensor Network System for Monitoring of Unfriendly Environments”* Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
32. Casilari, E.; Cano-García, J.M.; Campos-Garrido, G.; 2010, *“Modeling of Current Consumption in 802.15.4/ZigBee Sensor Motes*” Moleculer Diversity Preservation International, Switzerland
33. http://www.snm.ethz.ch