

Kablosuz Sensör Ağlar ve Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Tüketimi

Şafak Durukan Odabaşı¹

Songül Tozan²

^{1,2}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul

¹e-posta: sdurukan@istanbul.edu.tr

²e-posta: songultozan@hotmail.com

Özetçe

Kablosuz sensör ağlar yüzlerce, bazen binlerce sensör düğümünden oluşmaktadır. Bu düğümler kısıtlı kaynaklara sahiptir. Kısıtlı enerji kaynağı, sensör düğümlerinde hayati öneme kavuşur. Bunun nedenini anlamak için sensör ağların kullanım alanlarını incelemek gerekir. Kablosuz sensör ağların askeri uygulamalar başta olmak üzere, çevre gözlem, tıbbi gözlem gibi alanlarda birçok amaca yönelik kullanılmaktadır. Özellikle askeri operasyonların her geçen gün çeşitlenip tüm dünyaya yayılması ve bu operasyonlarda çoğu zaman kablosuz sensör ağların kullanılmaya başlanması, dayanıklılık ve uzun yaşam süresini kablosuz sensör ağlar için olmazsa olmaz özellikle arasına katmıştır.

1. Giriş

Mikroelektromekanik Sistemler (MEMS) ve Radyo Frekanslarındaki (RF) hızlı gelişim; az güç tüketen ucuz, ağ üzerinde kullanılabilir mikro sensörlerin geliştirilmesini mümkün kıldı. Bu sensör düğümleri çeşitli fiziksel bilgilerin; sıcaklık, basınç, bir cismin hareketi vs. yakalanmasını sağlamaktadır. Bununla beraber çevrenin fiziki özelliğinin de nicel ölçümlerle eşlenmesini sağlayabilmektedir [1,2].

2. Kablosuz Sensör Ağlar

Tipik bir Kablosuz Sensör Ağ (Wireless Sensör Network - WSN) kablosuz bir ortam aracılığı ile birbirine bağlanmış yüzlerce hatta binlerce sensör düğümünden oluşur. Bu düğümler kendi ağlarını kendileri organize ederler, önceden programlanmış bir ağ topolojisi söz konusu değildir. Pil ömrüne bağlı olan kısıtlamalar yüzünden, sensör düğümleri çok büyük bir zamanı düşük güç tüketimi ile “uyku” modunda geçirirler ya da düğüm verisini işler. WSN’ler güvenli izleme için yeni bir paradigma oluşturmuştur, büyük, pahalı makrosensörler kullanan, kullanıcıya kadar kablolmaya ihtiyaç duyan geleneksel sensörlü sistemlerin çok ötesinde bir performans göstermişlerdir.

2.1. Kablosuz Sensör Ağların Kullanım Alanları

WSN lerin güvenilirlik, kendini organize etme, esneklik ve kurulum kolaylıkları sebebiyle mevcut ve olası uygulamaları geniş bir çeşitlilik kazanmaktadır. Aynı zamanda neredeyse tüm çevre ortamlarında uygulanabilirler, özellikle mevcut kablolu ağların çalışmasının imkânsız olduğu ya da kullanılamayacağı durumlarda kullanılabilirler.

- Askeri Uygulamalar
- Çevre Algılaması ve İzleme
- Felaketten Korunma ve Kurtarma
- Tıbbi Hizmetler
- Akıllı Ev Uygulamaları
- Akıllı Alanlar
- Bilimsel Araştırmalar
- Etkileşimli Çevreleme
- Nezaret-Gözetim Uygulamaları

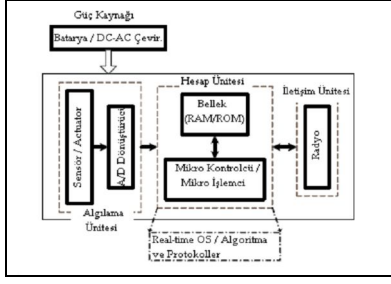
2.2. Kablosuz Sensör Ağların Mimari Yapısı

Sensör ağların yapısını şu katman/düzeylemler altında toplayabiliriz[3];

- Düğümlerin üzerinde bulunan bileşenler (işlemci, haberleşme ünitesi, bellek, sensör ve/veya erişim düzeneği ve güç kaynağı)
- Düğüm (node) düzeyi
- Dağıtılmış Network Sistemi düzeyi

2.2.1. Sensör Ağ Düğümlerinin Bileşenleri

Bu düğümler genelde 6 tip bileşenden oluşur [3]. Bunlar; işlemci, bellek ünitesi, güç kaynağı, sensör ve/veya erişim düzeneği ve son olarak haberleşme alt sistemidir (radyo). Standart işlemcilerin DSP (Sayısal İşaret İşleme) ile takviye edildiği, yardımcı işlemciler ve ASIC üniteleri ile düşük enerji seviyelerinde çalışabildiği, bu sayede yeterli yeteneklere sahip olduğu görünmektedir. Erişim düzenekleri (actuators) çağdaşlık bakımından henüz SN düğümlerinde kullanılabilecek seviyede değildir. Bu sebeple, dikkatler diğer beş bileşen üzerindedir. Şekil 1’de bir mikro sensör düğümünün sistem mimarisi karakterize edilmiştir.

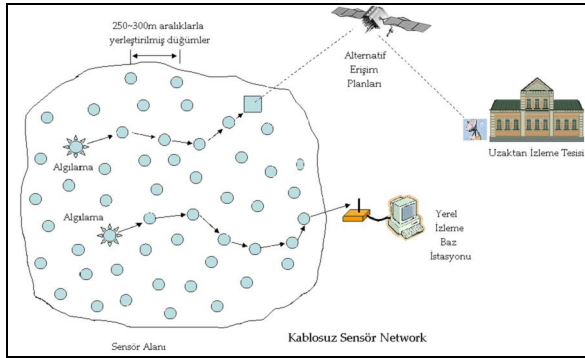


Şekil 1: Mikro sensör düğümünün sistem mimarisi.

Kablosuz sensör ağ temel elemanları algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip sensör düğümlerdir. Bilindiği gibi sensör düğümler, herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar. Şekil 2 bir kablosuz sensör ağ mimarisini karakterize etmektedir. İzlemenin yapıldığı ortamda toplanan veri genelde 3 seviyede işlenilir [4].

- İzlenilecek ortamdaki olaylar, sensör düğümler tarafından algılanır. Her bir sensör düğüm elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir.
- İkinci seviye de her düğüm algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.
- Sensör ağ haberleşmesindeki en üst katman, işlenmiş verinin baz (base) olarak adlandırılan merkeze yollanmasıdır.

Bazen gönderilen veri eğer başka kıstaslar eşliğinde tekrar analiz edilecekse ya da başka amaçlar için kullanılacaksa bu işlemlerin yapılacağı sistemlere ya da merkezlere iletimi sağlanır.

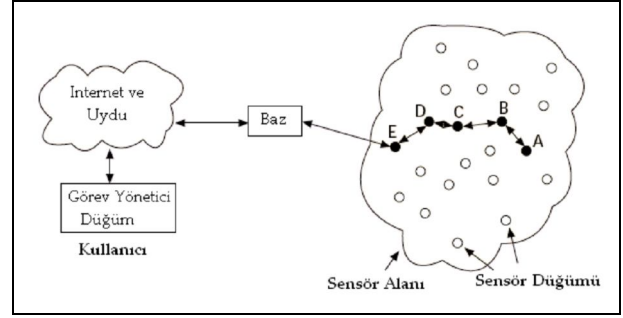


Şekil 2: Kablosuz sensör ağ mimarisi.

2.3. Sensör Ağlarda Haberleşme Mimarisi

Sensör düğümleri genelde Şekil 2’de karakterize edildiği gibi sensör alanına dağıtılmış haldedirler. Bu dağıtılmış düğümlerin her birinin veriyi toplayıp baz istasyonuna yollama yetenekleri vardır. Verinin herhangi bir mimari altyapıya sahip olmadan baz istasyonuna yollanışı Şekil 3’de

görülmektedir. Baz, görev yönetici düğümler internet ya da uydular aracılığı ile haberleşebilir.



Şekil 3: Sensör ağ haberleşme mimarisi.

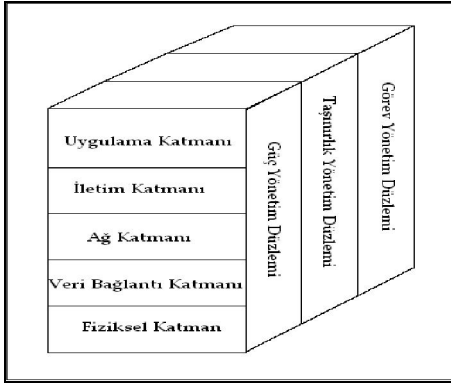
Sensör düğümlerin tasarımı birçok etken tarafından etkilenmektedir. Bunlar; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyetleri, çalıştırma ortamı, sensör ağ topolojisi, donanım kısıtlamaları, iletim ortamı ve güç tüketimidir. [5]

2.3.1. Protokol Yığıcı

Şeki 3’de gösterilen sensör düğümü ve baz tarafından kullanılan protokol yığıcı Şekil 4’de gösterilmiştir [5]. Bu protokol yığıcı gücü ve yönlendirme bilincini birleştirir, veriyi ağ kurma protokolleriyle entegre eder, kablosuz ortam aracılığı ile gücü verimli bir şekilde kullanarak haberleşmeyi sağlar ve sensör düğümlerinin birbirleriyle ortak çalışmalarını daha verimli hale getirir.

Bu protokol yığıcı Fiziksel Katman, Veri Bağlantı Katmanı, Ağ Katmanı, Taşıma Katmanı, Uygulama Katmanı, Güç Yönetim Düzlemi, Taşınırılık (Mobility) Yönetim Düzlemi ve Görev Yönetim Düzleminde oluşur. Fiziksel Katman basit fakat dayanıklı kiplerle, iletim ve alım tekniklerini adresler. Ortamın gürültülü ve sensör düğümlerinin hareketli olmasından ötürü, ortam erişim kontrol (MAC – medium access control) protokolü güç faktörünü göz önünde tutmalı ve komşu düğümlerin yayınları ile çarpışmayı en aza indirebilmelidir. Ağ katmanı iletim katmanı tarafından kendisine sağlanan verinin yönlendirilmesinden sorumludur. İletim katmanı, sensör ağ uygulaması gereksinim duyması halinde veri akışının güçlendirilmesine yardım eder. Algılama görevlerine bağlı olarak, farklı tiplerde uygulama yazılımları, uygulama katmanı üzerine kurulup kullanılabilir. Bunlara ek olarak güç, taşınırılık ve görev yönetim düzlemleri sensör düğümleri arasındaki gücü, hareketleri ve görev dağılımını izler. Bu düzlemler algılama görevinin koordineli bir şekilde gerçekleştirilmesi için düğümlere yardımcı olur ve toplam güç tüketimini azaltır. Güç yönetim düzlemi bir sensör düğümünün, güç kullanımını yönetir. Örnek olarak sensör düğümü, alıcısını, komşu düğümlerden mesaj aldıktan sonra kapatabilir. Bu kopyalanmış mesaj alımını engeller. Aynı zamanda, sensör düğümünün güç seviyesi azaldığında, komşu düğümlere mesaj yönlendirmelerine katılmayacağını bildirir. Geriye kalan güç algılamaya ayrılır. Taşınırılık yönetim düzlemi, sensör düğümlerinin hareketlerini tespit edip kaydeder, böylece kullanıcıya dönüş yolu her zaman korunmuş olur ve sensör düğümü komşu düğümlerinin kim olduğunu izleyebilir.

Sensör düğümünün komşu düğümlerini bilmesi sayesinde, düğümler güç ve görev kullanımını dengeleyebilir. Görev yönetim düzlemi, belirli bir bölgedeki algılama görevlerini dengeler ve zamanlamasını yapar. Belirli bir bölgedeki sensör düğümlerinin tamamının aynı anda algılama görevini yerine getirmesi gerekli değildir. Bu doğrultuda güç seviyelerine bağlı olarak bazı düğümler algılama görevini diğer düğümlere göre daha fazla yerine getirirler. Bu yönetim düzlemleri, sensör düğümlerinin etkin bir güç kullanımı ile birlikte çalışmaları, veriyi taşınabilir sensör ağ içerisinde yönlendirebilmeleri ve kaynakları düğümler arasında paylaşabilmeleri için gereklidirler.



Şekil 4: Kablosuz sensör ağ mimarisi.

2.4. Kablosuz Sensör Ağlarda Güvenlik

Güvenlik ve Gizlilik birçok WSN (Wireless Sensör Network) uygulamasında aşırı derecede öneme sahiptir. Bu uygulamalardan bazıları; savaş alanlarında kullanılan hedef izleme ve takip sistemleri, kanun yaptırımı uygulamaları, otomotiv telemetrik uygulamaları, işyerlerinde odaların izlenmesi, benzin istasyonlarında sıcaklık ve basınç ölçümleri ve orman yangın tespit sistemleridir. Tüm bu uygulamalar çok sayıda yarara sahiptir ve geliştirilme potansiyelleri yüksektir; ancak, sensör bilgisi düzgün bir şekilde korunmaz ise, bilginin yanlış sonuçlara yol açacak şekilde tahrir edilmesi olasıdır.

Sensör ağ çalışmaları en hızlı biçimde askeri uygulamalarda kendini göstermektedir, bu alandaki güvenliğin önemi herkesçe bilinmektedir. Savaş alanı hakkında bilgiyi, kimsenin hayatını riske atmadan toplayabilmesine karşın, tatmin edici bir şekilde korunmayan WSN'ler düşmanın eline geçtiğinde güçlü bir silah olarak kullanılabilir. Bu tip uygulamalar için sağlam güvenlik önlemleri alınmalıdır.

WSN'lerin ticari uygulamalarında ise "Gizliliğin Korunumu" meselesi, ağın güvenli ve stabil halde çalışır olması kadar önemle ele alınmalıdır. Kişiler hakkındaki fizyolojik ya da psikolojik bilginin güvenliği her kullanıcı tarafından korunması gereken bilgiler içerisindedir. WSN uygulamaları ne kadar yaygınlaşırsa ve karmaşıklarırsa, bu sistemlerin yetkisiz kullanıcılara karşı korunmasının önemi artacaktır. Sensör Network uygulamaları çok çeşitli fiziksel ortamlarda

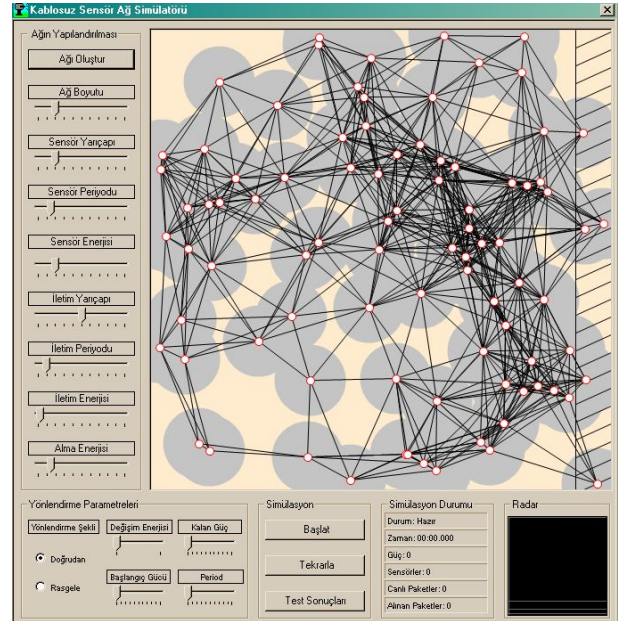
ve kısıtlamalar altında çalışmaktadır. Sensör network düğümlerinin etkin bir şekilde kullanılması için her uygulama için farklı uyarlamalar ve tasarımlar gerekecektir. Çünkü güvenlik ve gizliliğin sağlanması önemli ölçüde hesaplama ve depolama kaynağının kullanılmasını gerektirir. Güvenliği sağlamak için gerekli mekanizmalar, hedef uygulamanın mimari yapısına ve içinde bulunduğu fiziksel çevreye uygun hale getirilmelidir [6,7,8,9].

3. Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Tüketimi ve Simülasyon Çalışması

Kablosuz sensör ağlar yüzlerce bazen binlerce sensör düğümünden oluşmaktadır. Bu düğümler önemli ölçüde sınırlı kaynaklara sahiptir. Bu kaynaklar; işlemci, depolama, haberleşme ve enerji üniteleridir. Sınırlı enerji teknolojik gelişmelerin önündeki en büyük engellerden biridir. Bu etken zaten sınırlı kaynaklara sahip olan sensör düğümlerinde daha hayati öneme kavuşur. Bundan dolayı sensör düğümlerinin enerjilerini bilinçli kullanmaları gerekmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen simülasyon programı bu amaca yönelik hazırlanmıştır.

Program, düğüm sayısının, düğüm yayılımının, düğüm algılama aralıklarının, paket iletimi için gerekli olan enerjinin, düğümlerin konuşabildiği alanın, paketin gönderilmesi için gerekli olan alanın, düğüm tarafından paket gönderebilmesi için gerekli olan enerji miktarının, gönderilmiş olan bir paketin başka bir düğüm tarafından alınabilmesi için gerekli olan enerji miktarının elle girilebileceği simülasyon programıdır. Belirlenen bu değerlerle düğümlerin davranışlarının, enerji tüketiminin ve yaşam süresinin izlenebilmesine imkân tanımaktadır. Şekil 5'de, geliştirilen simülasyonun arayüzü gösterilmektedir.

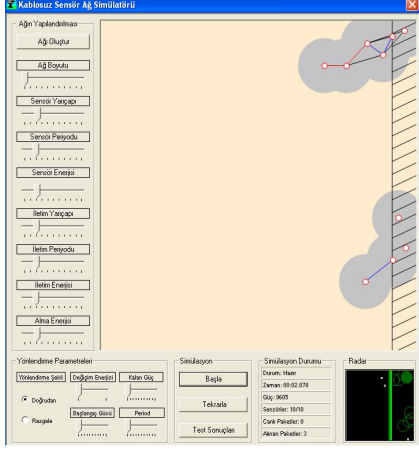


Şekil 5: Geliştirilen simülasyon arayüzü .

3.1. Gerçekleştirilen Testler

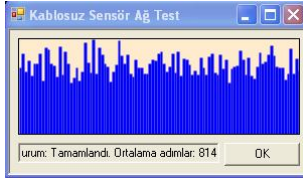
Yapılan testlerde bir parametre değişirken diğer parametreler sabit kalmaktadır ve iletimde kullanılan yönlendirme doğrudan yönlendirmediir.

3.1.1. Enerji Tüketiminde Ağ Boyutunun Etkisi

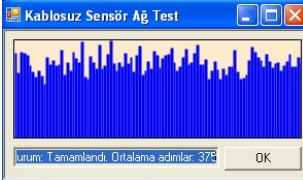


Şekil 6: Minimum sayıda düğüm içeren ağın sonuçları.

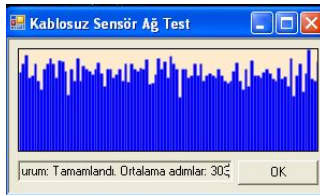
3.1.2. Enerji Tüketiminde Sensör Yarıçapının Etkisi



(a) Minimum boyutta sensör yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı



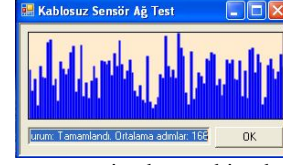
(b) Orta boyutta sensör yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı



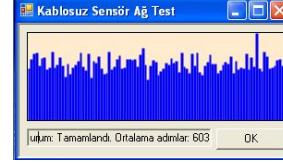
(c) Maksimum boyutta sensör yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı

Şekil 7: Enerji tüketiminde sensör yarıçaplarının etkisi.

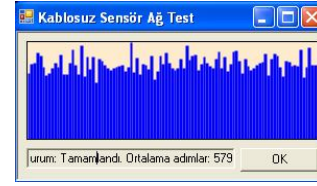
3.1.3. Enerji Tüketiminde Sensör Periyodunun Etkisi



(a) Minimum sensör periyoduna sahip olan ağın ortalama adım sayısı



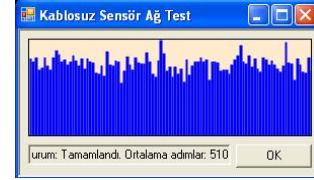
(b) Orta sensör periyoduna sahip olan ağın ortalama adım sayısı



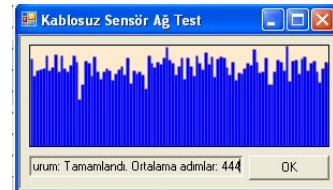
(c) Maksimum sensör periyoduna sahip olan ağın ortalama adım sayısı

Şekil 8: Minimum sayıda düğüm içeren ağın sonuçları.

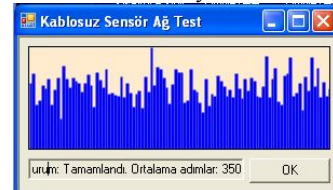
3.1.4. Enerji Tüketiminde Sensör Enerjisinin Etkisi



(a) Minimum sensör enerjisine sahip olan ağın ortalama adım sayısı



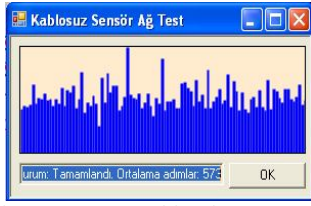
(b) Orta sensör enerjisine sahip olan ağın ortalama adım sayısı



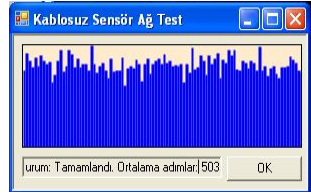
(c) Maksimum sensör enerjisine sahip olan ağın ortalama adım sayısı

Şekil 9: Enerji tüketiminde sensör enerjisinin etkisi.

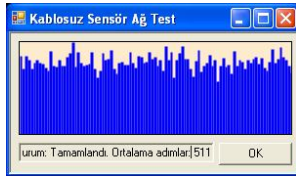
3.1.5. Enerji Tüketiminde İletim Yarıçapının Etkisi



(a) Minimum iletim yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı



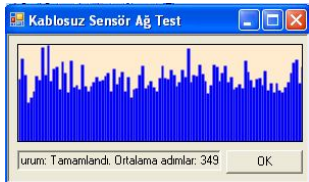
(b) Orta iletim yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı



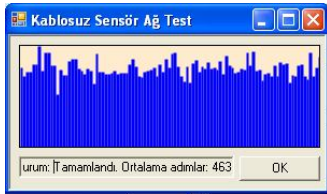
(c) Maksimum iletim yarıçapına sahip olan ağın ortalama adım sayısı

Şekil 10: Enerji tüketiminde iletim yarıçapının etkisi

3.1.6. Enerji Tüketiminde Yönlendirme Şeklinin Etkisi



(a) Rasgele yönlendirme kullanan ağın ortalama adım sayısı



(b) Doğrudan yönlendirme kullanan ağın ortalama adım sayısı

Şekil 11: Enerji tüketiminde yönlendirme şeklinin etkisi

4. Sonuçlar

Ağın büyüklüğü yani sahip olduğu düğüm sayısı arttıkça harcadığı enerji miktarı da o oranda artmakta, ömrü ise ters orantılı olarak azalmaktadır. Düğümler arasında fazla sayıda bağlantı olduğunda paketlerin iletiminde fazla enerji harcılandığından dolayı sensör düğümleri sahip oldukları enerjileri çok kısa sürede kaybetmekte ve ağın ömrü kısalmaktadır.

Sensör düğümlerinin yarıçapı yani algılama alanları arttıkça enerjilerini daha kısa sürede kaybetmekte ve ağın ömrü de kısalmaktadır. Düğümlerin enerjilerini kısa sürede kaybetmelerinin nedeni algılama alanları büyüdükçe işledikleri paket sayısı artması ve daha fazla paketi komşu düğümlere göndermeleridir.

Sensör periyodu, yani algılama aralıkları büyüdükçe düğümler sahip oldukları enerjiyi daha uzun süre kullanabilmektedirler. Algılama aralıklarının kısa olduğu durumlarda düğümler kısa sürede daha fazla paket işleyip, bu paketleri komşu düğümlerine gönderdikleri için enerjilerini kısa sürede kaybetmektedirler ve ağın ömrü de kısa olmaktadır.

Sensör enerjisi, yani düğümün uygun vektör bulması ve paket gönderebilmesi için gerekli olan minimum enerji miktarı arttıkça düğümler sahip oldukları enerjileri kısa sürede tüketmekte, ağın ömrü kısalmakta ve daha az paket işlenmektedir.

İletim yarıçapı yani iki düğümün konuşabilmesi için gerekli olan mesafe arttıkça enerji kullanımları da artmaktadır; çünkü bu durumda düğümler uzak komşu düğümlere de işledikleri paketleri gönderebilmektedir. Tabii bu durumda enerji fazla kullanıldığı için düğümlerin enerjileri çabuk tükenmekte ve ağın ömrü kısalmaktadır.

Kablosuz sensör ağlarda yönlendirme rasgele yapıldığında daha fazla enerji harcanmaktadır. Doğrudan yönlendirme kullanıldığında enerji daha tasarruflu kullanılmakta ve ağın ömrü rasgele yönlendirmeye göre daha uzun olmaktadır.

5. Kaynakça

- [1] Wang Q., Hassanein H., Xu K., 2004, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: "A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks", CRC Press.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
- [3] Feng J., Koushanfar F., Potkonjak M., 2005, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: "Sensor Network Architecture", CRC Press.
- [4] www.cs.itu.edu.tr/~orencik/DuyurgaAglarindaGuvencilik.doc
- [5] Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E., "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, 40(8):102-114, 2002.
- [6] Slijepcevic S., Wong J. L., Potkonjak M., 2005, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: "Security and Privacy Protection in Wireless Sensor Networks", CRC Press.
- [7] Shi E., Perrig A., "Designing Secure Sensor Networks", IEEE Wireless Communications, December:38-43, 2004.
- [8] Perrig A., Szewczyk R., Wen V., Culler D., Tygar J. D., "SPINS Security Protocols for Sensor Networks", 8th Mobile Computing and Networking Conference, 2001, p:189-199, Rome, Italy.

- [9] Gurijala A.; Molina, C., 2004, "Defining and Monitoring QoS Metrics in The Next Generation Wireless Networks", The Institution of Electrical Engineers, 37-42.