



Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Gecikme Duyarlı CSMA Ortam Erişim Tekniğinin Performans Değerlendirmesi

Performance Evaluation of Delay Sensitive CSMA Medium Access Technique for Wireless Sensor Networks

Muhammed Enes Bayrakdar¹

¹Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 81620 Konuralp, Düzce, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 31/07/2019

Kabul / Accepted: 1/11/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Kablosuz algılayıcı ağ ortamları, kablolu iletişim ile karşılaştırıldığında genellikle esneklik avantajı nedeniyle tercih edilmektedir. Bu makalede, kablosuz algılayıcı ağlar için gecikme duyarlı CSMA ortam erişim tekniğinin performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümler, sınırlı enerjiye sahip olduklarından dolayı kayıpsız veri iletişimi için CSMA ortam erişim tekniğini kullanmaktadırlar. Enerji verimliliğini artırmak amacıyla, kablosuz algılayıcı düğümler boşa iken uyku durumuna geçerek bekleme yapmaktadırlar. Analitik modelin matematiksel olarak elde edilmesinden sonra, kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağın performansını analiz etmek için; gecikme, enerji ve iş çıkarma oranı parametreleri incelenmiştir. Performans değerlendirilmesi sonuçları incelendiğinde, CSMA tekniği sayesinde ortalama gecikmenin önemli derecede düşürüldüğü görülmektedir. Ayrıca, enerji tüketimi makul düzeyde tutularak kablosuz algılayıcı düğümler sayesinde maksimum iş çıkarma oranı elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler

“Algılayıcı Ağ, CSMA, Gecikme, Kablosuz Haberleşme”

Abstract

Wireless sensor network environments are generally preferred because of their flexibility advantage when compared to wired communication. In this article, performance evaluation of delay sensitive CSMA medium access technique for wireless sensor networks was performed. Because wireless sensor nodes have limited energy, they utilize CSMA medium access technique for lossless data communication. In order to increase energy efficiency, the wireless sensor nodes get into the sleep state when they wait in idle state. After obtaining the analytical model mathematically, the simulation model of the wireless sensor network was designed using Riverbed software. To analyze the performance of the wireless sensor network; the parameters of delay, energy and throughput rate were investigated. When the performance evaluation results are analyzed, it is seen that the average delay is decreased significantly by CSMA technique. In addition, the maximum throughput rate is achieved with the help of wireless sensor nodes keeping the energy consumption at a reasonable level.

Key Words

“Sensor Network, CSMA, Delay, Wireless Communication”

1. Giriş

Kablosuz algılayıcılarda 1978'den bu yana yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde, kablosuz sistemler çevre koşullarını izleyen algılayıcı ağlarda veri iletimi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Mamun vd, 2010). Kablosuz sistemlerin kullanımının birçok nedeni vardır (Mahlknecht&Bock, 2004). En önemli nedenleri ise; düşük maliyet, düşük güç tüketimi, veri işleme, kablosuz iletişim kapasitesi, sınırlı ekipman kullanımı ve küçük algılayıcı düğümlerdir (Bertocco vd, 2007). Bu özelliklerden dolayı kablosuz iletişim yapan algılayıcı düğümler, gözlem ve veri aktarımı alanında önemli bir yere sahiptir (Dahham vd, 2012). Çünkü kablolu sistemlerin; kablo kopmaları, yüksek kablo maliyetleri ve yüksek güç tüketimi gibi birçok problemleri bulunmaktadır (Shrestha vd, 2013). Kablosuz algılayıcı ağlarda bu tür problemler bulunmadığı için, genellikle akademik veya ticari amaçlarla tercih edilmektedirler (Haghighi vd, 2011).

CSMA tekniğinin temeli olan taşıyıcı sezme, kablosuz ağlarda çekişme çözümü için yaygın olarak kullanılmaktadır (Shu vd, 2006). Düğümlerin eşzamanlı iletimlerini tespit ederek çarpışmayı önlemelerini sağlamaktadır (youn vd, 2007). Birçok kablosuz algılayıcı ağ platformunda, taşıyıcı sezme temel olarak net kanal değerlendirme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir (Collotta vd, 2013).

Net kanal değerlendirme genellikle, taşıyıcı frekanstaki enerji seviyesini ölçen ve belirli bir eşikle karşılaştıran fiziksel katmanın bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır (Shukla vd, 2009). Kablosuz algılayıcı ağlarda çok sayıda ortam erişim tekniği önerilmesine rağmen, taşıyıcı sezme en temel çekişme çözüm aracı olmaya devam etmektedir (Achir&Ouvry, 2005). Pek çok ortam erişim tekniği, veri iletimi için taşıyıcı sezme kullanılmaktadır (Lenka vd, 2016).

Literatürde, CSMA tekniği ile ilgili olarak yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Agbota, çekişme seviyesine göre tezat bağlantı özelliklerini zıt kılan iki paket alım alanını deneysel olarak tanımlamıştır (Agbota, 2010). Rehman ve arkadaşları, pille çalışan kablosuz algılayıcı ağlar için olasılık tabanlı yoklama protokolünün performansını incelemişlerdir (Ur Rehman vd, 2014). Waghole ve Deshpande, algılayıcı ağların çeşitli hizmet kalitesi parametreleri için CSMA ve TDMA tekniklerinin performansını incelemişlerdir (Waghole&Deshpande, 2014). Zhao ve arkadaşları, üç farklı durumdaki algılayıcı düğüm enerji modelini temel alan yeni bir çapraz katman enerji modeli önermişlerdir (Zhao vd, 2010).

Bu makale çalışmasında, kablosuz algılayıcı ağlar için gecikme duyarlı CSMA ortam erişim tekniğinin performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümler, sınırlı enerjiye sahip olduklarından dolayı kayıpsız veri iletişimi için CSMA ortam erişim tekniğini kullanmaktadırlar. Enerji verimliliğini artırmak amacıyla, kablosuz algılayıcı düğümler boştaki uykuya geçerek bekleme yapmaktadırlar.

Analitik modelin matematiksel olarak elde edilmesinden sonra, kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağın performansını analiz etmek için; gecikme, enerji ve iş çıkarma oranı parametreleri incelenmiştir. Performans değerlendirmesi sonuçları incelendiğinde, CSMA tekniği sayesinde ortalama gecikmenin önemli derecede düşürüldüğü görülmektedir. Ayrıca, enerji tüketimi makul düzeyde tutularak kablosuz algılayıcı düğümler sayesinde maksimum iş çıkarma oranı elde edilmektedir.

Bu çalışmanın özgünlüğü, kablosuz algılayıcı ağlar için gecikmeyi en aza indirmeyi hedefleyen ortam erişim tekniği tasarlamak ve tasarlanan tekniğin performans değerlendirmesini Riverbed benzetim yazılımı ortamında yapmaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu makale çalışmasında, buldukları zorlu konumlarından dolayı yeniden enerji depolanması mümkün olmayan algılayıcı düğümleri için kablosuz algılayıcı ağ ortamı incelenmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümler, verilerini kendilerine en yakın olan toplayıcı istasyona iletmektedirler. Verilerin doğrudan toplayıcı istasyona aktarılması mümkün değilse, verilerini diğer algılayıcı düğümler aracılığıyla toplayıcı istasyona iletmektedirler. Ağ yapısındaki kablosuz algılayıcı düğümler paket çarpışmalarını önlemek amacıyla CSMA tekniğini kullanmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağ ortamında; herhangi bir çarpışma olmadan sürekli veri iletimi sağlanarak, enerji tüketimi en aza indirilmektedir. Ayrıca, ağda bulunan algılayıcı düğümler tam kapasite kullanılarak ağın iş çıkarma oranı performansı maksimum düzeye çıkarılmaktadır. Algılayıcı düğümlerin beklerken uykuya geçmesi ve çarpışmaların önlenmesi sayesinde, ağın ortalama gecikmesi kabul edilebilir bir seviyede tutulmaktadır.

2.1. Önerilen Yaklaşımın Analitik Modeli

CSMA (Taşıyıcı Sezme Çoklu Erişim) tekniğinin normal yayılım süresi, a , aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{\tau}{T} \quad (1)$$

Denklem (1)'de; T başarılı iletim periyodunu, τ ise başarısız iletim periyodunu temsil etmektedir. Ağ yükünü, G , hesaplamak için; sunulan yük λ ve başarılı iletim periyodu çarpılmaktadır.

$$G = \lambda T \quad (2)$$

Başarılı paket iletim olasılığı (3)'deki gibi elde edilmektedir.

$$Obas = e^{-(\lambda\tau)} \quad (3)$$

CSMA tekniğinin iş çıkarma oranı, S, (4)'deki gibi bulunmaktadır.

$$S = \frac{G(e^{-(aG)})}{G(1 + 2a) + (e^{-(aG)})} \quad (4)$$

Gerekli değişken düzenlemelerini yaptıktan sonra, iş çıkarma oranı (5)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{\lambda T(e^{-(\lambda\tau)})}{\lambda(T + 2\tau) + (e^{-(\lambda\tau)})} \quad (5)$$

CSMA tekniğinin gecikme denklemi, D, (6)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$D = CS(Tgc + Tcb + Tcm) + (Tgc + T) \quad (6)$$

Denklem (6)'da; CS çarpışma sayısını, Tgc ortalama geri çekilme süresini, Tcb çarpışma bekleme süresini, Tcm çarpışma meşgul süresini ifade etmektedir. CSMA tekniğinin enerji tüketimi denklemi, E, (7)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E = Eks + Evi + Eyg + Ebil \quad (7)$$

Denklem (7)'de; Eks kanal sezme enerji tüketimini, Evi veri iletimi enerji tüketimini, Eyg yayılım gecikmesi enerji tüketimini, Ebil ise bildirim paketi enerji tüketimini temsil etmektedir.

$$S = \frac{\lambda T(Obas)}{\lambda(T + 2\tau) + (Obas)} \quad (8)$$

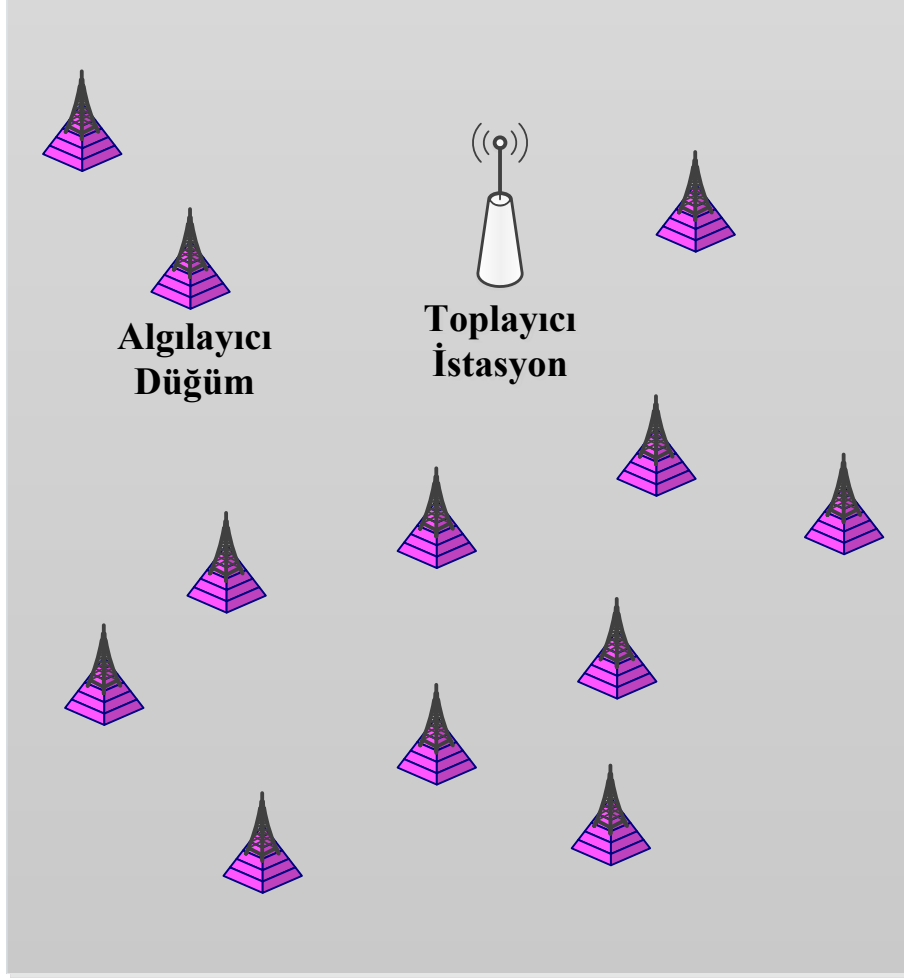
Denklem (8)'de; başarılı paket iletim olasılığı, Obas, değerinin yerine yazılmasıyla elde edilen iş çıkarma oranı denklemi verilmektedir.

$$D = CS(Tgc) + CS(Tcb) + CS(Tcm) + Tgc + T \quad (9)$$

Denklem (9)'da; çarpışma sayısı, CS, değerinin parantez içerisine çarpılmasıyla elde edilen önerilen gecikme denklemi verilmektedir.

2.2. Önerilen Yaklaşımın Benzetim Modeli

Şekil 1'de, kablosuz algılayıcı ağ ortamı gösterilmektedir. Algılayıcı ağ ortamında; kablosuz algılayıcı düğümler ve toplayıcı istasyon bir arada bulunmaktadır. Toplayıcı istasyonun görevi, kablosuz algılayıcı düğümler tarafından sezilen verileri toplamaktır. Toplayıcı istasyondan uzaktaki kablosuz algılayıcı düğümler verilerini diğer düğümlerin yardımıyla da iletebilmektedirler. Kablosuz algılayıcı düğümler, boşta iken uykuda bekleyerek mümkün olan en düşük enerjiyi tüketmektedirler.

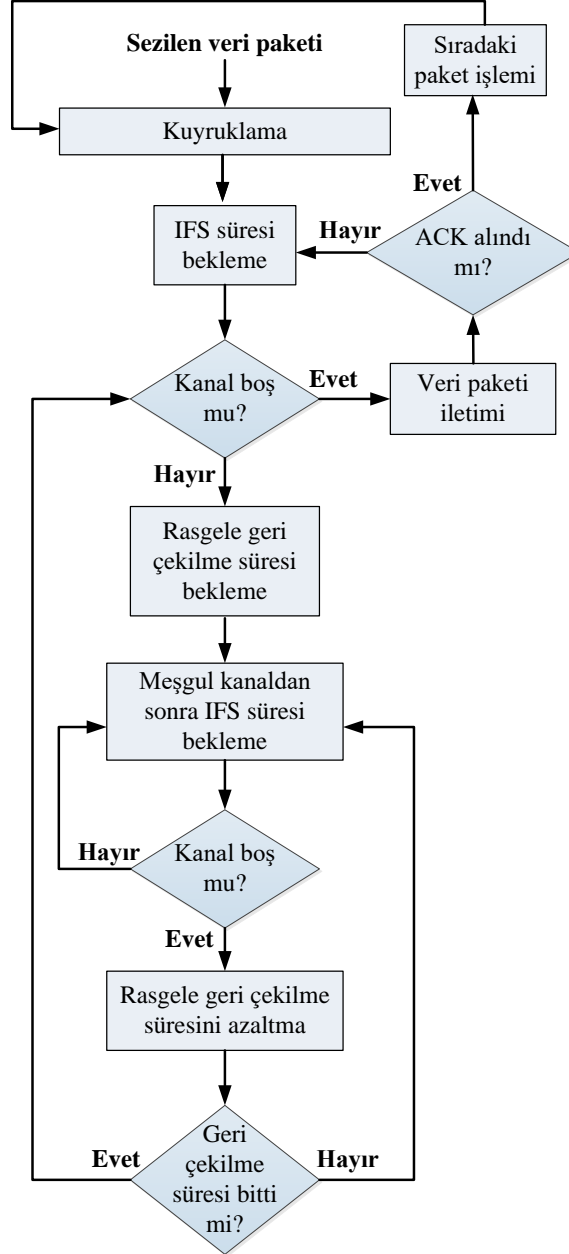


Şekil 1. Kablosuz Algılayıcı Ağ Ortamı.

Tablo 1’de, algılayıcı ağ ortamının benzetim parametreleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 1. Benzetim Parametreleri.

Parametre	Değer
Modülasyon tekniği	BPSK
Veri oranı	1 Mbps
Algılayıcı düğüm sayısı	12
İletim gücü	20 mw
Paketi boyutu	58 Byte
Sezme süresi	0,128 ms
Frekans	3,5 Ghz



Şekil. 2. Önerilen Yaklaşımın Akış Diyagramı.

Şekil 2’de, önerilen algılayıcı düğüm için veri iletiminin akış diyagramı gösterilmektedir. İlk olarak, sezilen veri paketleri kuyruğa eklenmektedir. Rasgele IFS (çerçeveler arası bekleme süresi) beklenmektedir. Kanalın durumu boş ise, veri paketi iletilmektedir. ACK (bildirim) paketi alınır ise, bir sonraki veri paketinin işlem süreci başlatılmaktadır. Eğer belirli bir süre içinde ACK alınmazsa, veri paketini yeniden iletmek amacıyla IFS süresi beklenmektedir. Kanalın durumu boşta değil ise, rasgele geri çekilme süresi beklenmektedir.

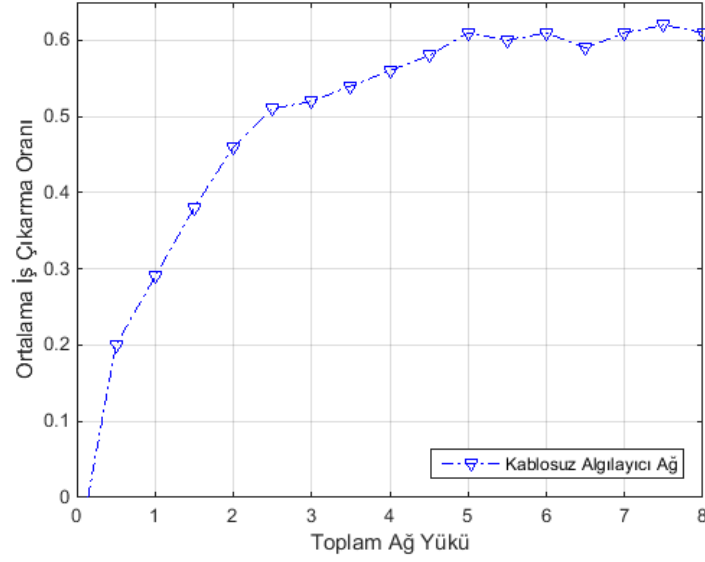
Meşgul kanaldan sonra rasgele IFS süresi beklenmektedir. Kanal boşta ise, rasgele geri çekilme süresi azaltılmaktadır. Aksi takdirde, meşgul kanaldan sonra rasgele IFS beklenmektedir. Geri çekilme süresi azaltıldıktan sonra, geri çekilme süresinin bitip bitmediği kontrol edilmektedir. Geri çekilme süresi bitmedi ise, meşgul kanaldan sonra rasgele IFS beklenmektedir. Geri çekilme süresi bitti ise, kanalın boş olduğundan emin olmak için tekrar kontrol edilmektedir.

Riverbed Modeler benzetim yazılımı; benzetim, tasarım ve veri toplama gibi çok sayıda araçtan oluşmaktadır. Ek olarak Riverbed Modeler benzetim yazılımı, kablosuz algılayıcı ağların ve dağıtılmış ağ sistemlerinin modellenmesini sağlayan grafiksel kullanıcı ara yüzü ile kapsamlı bir geliştirme ortamı sunmaktadır. Riverbed Modeler benzetim yazılımında, bir benzetim modelinin performans değerlendirmesi, ayrıklı olaylar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağın yapılandırılması; ağ aşaması, düğüm aşaması ve işlem aşaması olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Ağ aşamasında, algılayıcı ağın topolojisi düzenlenmektedir. Düğüm aşamasında, düğümün davranışı tanımlanmakta ve çeşitli bölümleri arasında veri akışı denetlenmektedir. İşlem aşaması, durum makineleri ile karakterize edilmektedir. Durum makineleri, durumlar ve durumlar arasındaki geçişlerle birlikte kullanılmaktadır. Riverbed Modeler benzetim yazılımının kaynak kodu proto C programlama dilinde yazılmaktadır.

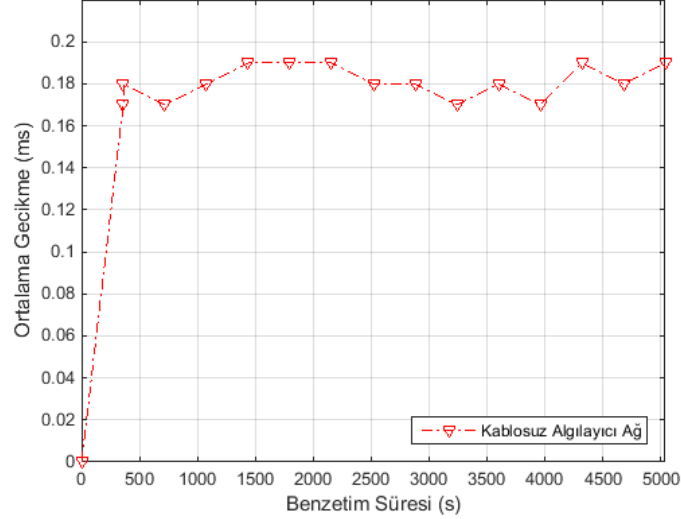
3. Bulgular

Önerilen yaklaşımın performans değerlendirmesini gerçekleştirmek için; ortalama iş çıkarma oranı, ortalama gecikme, ortalama enerji tüketimi, ortalama paket kayıp oranı ve bit hata oranı parametreleri ele alınmıştır. Benzetim modeli sonuçları her bir son uç parametresi için ayrı ayrı ele alınarak çalıştırılmıştır.



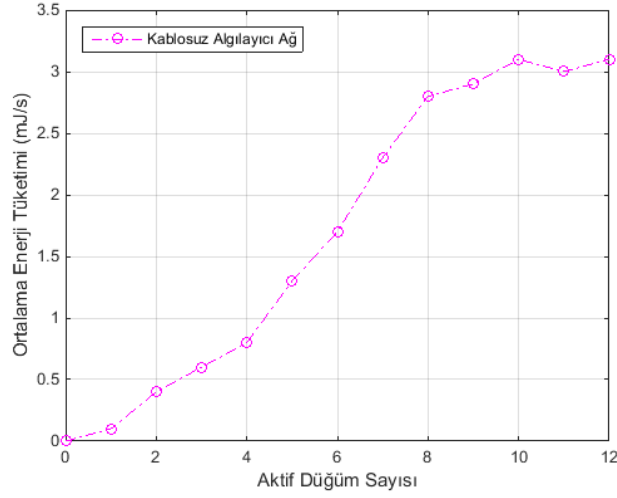
Şekil 3. İş Çıkarma Oranı Sonuçları.

Şekil 3'te, önerilen kablosuz algılayıcı ağın benzetim ve analitik modelleri için ortalama iş çıkarma oranı sonuçları görülmektedir. Toplam ağ yükü 5 olana kadar, iş çıkarma oranı artmaya devam etmektedir. 5'e ulaştığında ise, iş çıkarma oranı 0.6 seviyelerinde kalmaktadır. Bunun sebebi, toplam ağ yükü 5 olana kadar maksimum iş çıkarma seviyesine ulaşılmamaktadır. Toplam ağ yükü 5 olduğunda ise, doyum noktasına ulaşıldığından dolayı iş çıkarma oranı daha fazla artmamakta ve 0.6 civarlarında sabit kalmaktadır.



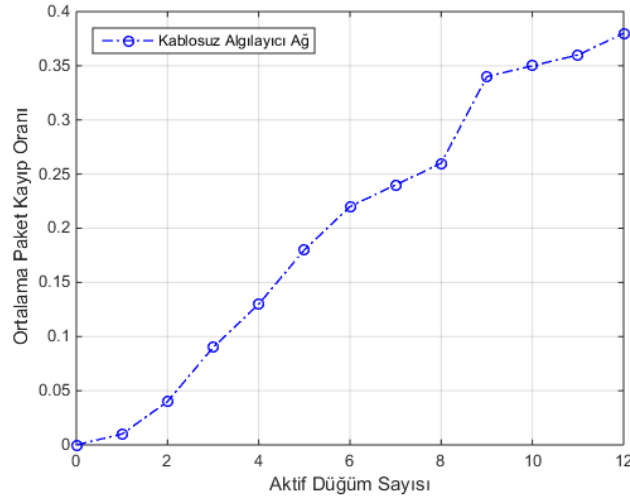
Şekil 4. Gecikme Sonuçları.

Şekil 4'te, önerilen kablosuz algılayıcı ağın benzetim ve analitik modelleri için ortalama gecikme sonuçları görülmektedir. Benzetim süresi boyunca, gecikme değeri 0.18 civarlarında seyretmektedir. Bunun sebebi, benzetim süresi boyunca toplam ağ yükünün belirli aralıklarda seyrederek çok fazla aşırı oranda artma veya azalma göstermemesidir.



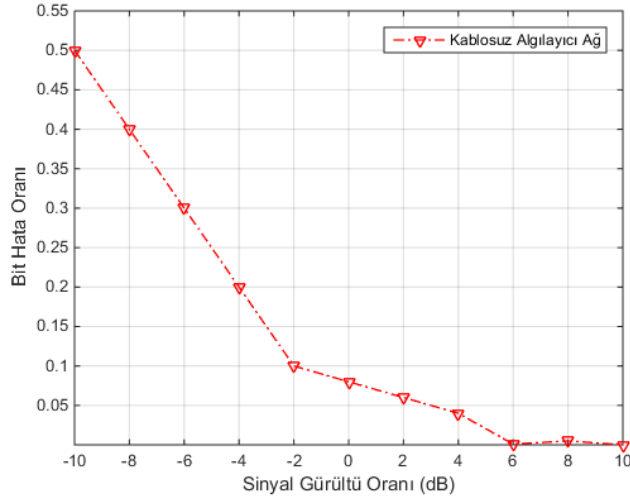
Şekil. 5. Enerji Tüketimi Sonuçları.

Şekil 5'te, önerilen kablosuz algılayıcı ağın benzetim ve analitik modelleri için ortalama enerji tüketimi sonuçları görülmektedir. Düğüm sayısının artışıyla doğru orantılı olarak, enerji tüketimi de artmaktadır. Bunun sebebi, algılayıcı ağ üzerindeki her bir algılayıcı düğümün veri sezme ve gönderme işlemleri için belirli bir seviyede enerji harcamalarıdır. Ayrıca, bir algılayıcı düğümün sezdiği veriyi gönderememesi veya hatalı göndermesi durumunda ekstra bir enerji tüketimi yapılmaktadır. Bu durum da, toplam enerji tüketiminin artmasına ve ağ ömrünün kılmasına sebep olmaktadır.



Şekil. 6. Paket Kaybı Sonuçları.

Şekil 6'da, önerilen kablosuz algılayıcı ağın benzetim ve analitik modelleri için ortalama paket kayıp oranı sonuçları görülmektedir. Benzetim süresi boyunca aktif algılayıcı düğüm sayısı arttıkça, ortalama paket kayıp oranı değeri de artmaktadır. Bunun sebebi, benzetim süresi boyunca aktif düğüm sayısının artması daha fazla olasılıkla veri kayıplarının ve dolayısıyla paket kayıplarının artması anlamına gelmektedir. Paket kayıp oranı, aktif düğüm sayısı 10 olduğunda 0.35 civarında olmakta ve algılayıcı ağlar için oldukça iyi bir sonuç vermektedir.



Şekil. 7. Bit Hata Oranı Sonuçları.

Şekil 7’de, önerilen kablosuz algılayıcı ağı benzetim ve analitik modelleri için bit hata oranı sonuçları görülmektedir. Bit hata oranı sonuçları, sinyal gürültü oranı değişikliğine göre elde edilmiştir. Benzetim süresi boyunca sinyal gürültü oranı -10 değerinden +10 değerine doğru arttıkça, bit hata oranının düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi, sinyal gürültü oranının artması sinyalin daha güçlü olması anlamına gelmektedir. Sinyalin güçlü olması, gönderilen verilerin daha az hatalı bit ile iletilmesi ve hata bit oranının düşük olması demektir.

Tartışma ve Sonuç

Kablosuz algılayıcı ağlar, günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılan uygulama alanına sahiptir. Araştırmacılar tarafından gecikme ve enerji tüketimi ile ilgili olarak bu alanda yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda, enerji verimli ve gecikme duyarlı yaklaşımların geliştirilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, kablosuz algılayıcı ağlar için gecikme duyarlı CSMA ortam erişim tekniğinin başarımlı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümler, sınırlı enerjiye sahip olduklarından dolayı kayıpsız veri iletişimi için CSMA ortam erişim tekniğini kullanmaktadırlar. Enerji verimliliğini artırmak amacıyla, kablosuz algılayıcı düğümler boşa iken uyku durumuna geçerek bekleme yapmaktadırlar. Analitik modelin matematiksel olarak elde edilmesinden sonra, kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağı performansını analiz etmek için; gecikme, enerji ve iş çıkarma oranı parametreleri incelenmiştir. Performans değerlendirmesi sonuçları incelendiğinde, CSMA tekniği sayesinde ortalama gecikmenin önemli derecede düşürüldüğü görülmektedir. Ayrıca, enerji tüketimi makul düzeyde tutularak kablosuz algılayıcı düğümler sayesinde maksimum iş çıkarma oranı elde edilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, gecikme duyarlı ve enerji verimli kablosuz algılayıcı ağ tasarımlarının farklı sualtı veya yeraltı uygulama alanlarına özgü olacak şekilde yapılması planlanmaktadır.

Referanslar

- Achir, M. & Ouvry, L. (2005). QoS and energy consumption in wireless sensor networks using CSMA/CA. *Systems Communications*, 14-17 Ağustos, Montreal, 33-39.
- Agbota, H. (2010). Why collisions happen: A pathology of CSMA for wireless sensor networks in high contention. *Seventh International Conference on Networked Sensing Systems*, 15-18 Haziran, Kassel, 281-285.
- Al-Mamun, M., Karmakar, G.C. & Kamruzzaman, J. (2010). A contender-aware backoff algorithm for CSMA based MAC protocol for Wireless Sensor Network. *16th Asia-Pacific Conference on Communications*, 31 Ekim-3 Kasım, Auckland, 261-266.
- Bertocco, M., Gamba, G., Sona, A. & Vitturi, S. (2007). Performance Measurements of CSMA/CA-Based Wireless Sensor Networks for Industrial Applications. *IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference*, 1-3 Mayıs, Warsaw, 1-6.
- Collotta, M., Cascio, A.L., Pau, G. & Scatá, G. (2013). A fuzzy controller to improve CSMA/CA performance in IEEE 802.15.4 industrial wireless sensor networks. *IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*, 10-13 Eylül, Cagliari, 1-4.
- Dahham, Z., Sali, A., Ali, B.M. & Jahan, M.S. (2012). An efficient CSMA-CA algorithm for IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks. *International Symposium on Telecommunication Technologies*, 26-28 Kasım, Kuala Lumpur, 118-123.

- Haghighi, S., M., Mohamedpour, K., Varadharajan, V. & Quinn, B.G. (2011). Stochastic Modeling of Hello Flooding in Slotted CSMA/CA Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 6, 1185-1199. doi: 10.1109/TIFS.2011.216336
- Lenka, M.R., Swain, A.R. & Sahoo, M.N. (2016). Distributed Slot Scheduling Algorithm for Hybrid CSMA/TDMA MAC in Wireless Sensor Networks. *IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage*, 8-10 Ağustos, Long Beach, 1-4.
- Mahlknecht, S. & Bock, M. (2004). CSMA-MPS: a minimum preamble sampling MAC protocol for low power wireless sensor networks. *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, 22-24 Eylül, Vienna, 73-80.
- Shrestha, B., Hossain, E. & Camorlinga, S. (2013). Hidden node collision mitigated CSMA/CA-based multihop wireless sensor networks. *IEEE International Conference on Communications*, 9-13 Haziran, Budapest, 1570-1575.
- Shu, T., Salameh, H.A.B. & Krunz, M. (2006). WSN11-5: Cross-layer Optimization of a CSMA Protocol with Adaptive Modulation for Improved Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks. *IEEE Globecom*, 27 Kasım-1 Aralık, San Francisco, 1-5.
- Shukla, P.K., Silakari, S. & Bhadoriya, S.S. (2009). Network Security Scheme for Wireless Sensor Networks using Efficient CSMA MAC Layer Protocol. *Sixth International Conference on Information Technology: New Generations*, 27-29 Nisan, Las Vegas, 1579-1580.
- Ur Rehman, M., Driberg, M. & Badruddin, N. (2014). Probabilistic polling MAC protocol with unslotted CSMA for wireless sensor networks (WSNs). *5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems*, 3-5 Haziran, Kuala Lumpur, 1-5.
- Waghole, D.S. & Deshpande, V.S. (2014). Analyzing the QoS using CSMA and TDMA protocols for wireless sensor networks. *International Conference for Convergence for Technology*, 6-8 Nisan, Pune, 1-5.
- Youn, M., Oh, Y., Lee, J. & Kim, Y. (2007). IEEE 802.15.4 Based QoS Support Slotted CSMA/CA MAC for Wireless Sensor Networks. *International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 14-20 Ekim, Valencia, 113-117.
- Zhao, J., Sun, X., Li, Z., Hou, H. & Sun, P. (2010). A novel data collision rate-aware energy model design with single-channel CSMA/CA MAC in Wireless Sensor Networks. *2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, 16-18 Nisan, Chengdu, 483-486.