

IEEE 802.11 Ad-Hoc Ağlarda Kalan Sekme Sayısının Uyarlanması ile Çok-Sekmeli Yol-Atamalarda Ulaştırılan İş Çöküşünün Önlenmesi

Preventing Goodput Collapse for Multi-Hop Routing in IEEE 802.11 based Ad-Hoc Networks by Adjusting Residual Hop Count

Hande Bayulu, Merve Öncer
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
İzmir, Türkiye
{handebayulu, merveoncer}@std.iyte.edu.tr

Canan Aydoğdu
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
İzmir, Türkiye
cananaydogdu@iyte.edu.tr

Özetçe —Nesnelerin interneti (IoT) vizyonu ile gelecekte kablosuz ağların büyümesi, yoğunlaşması ve taşınan trafiğin artması beklenmektedir. Kablosuz ağlarda bugün alışkın olduğumuz tek-sekmeli haberleşme yerine çok-sekmeli haberleşme de kullanılabilir. Çok-sekmeli haberleşmenin, büyük ve yoğun kablosuz ağlar için ortalama trafik yükü altında daha iyi ulaştırılan iş performansı sağladığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, ağır trafik yükleri altında paket düşüşünün artması ile ulaştırılan iş çöküşünün yaşanması en büyük sorundur. Bu sorunun nedenlerinden biri, çok-sekmeli haberleşmede tek-sekmeli haberleşmeye kıyasla karşılaştığımız gizli terminal sorunudur. Bu çalışmada, *Kalan Sekme Sayılarına* (KSS) göre paketlere öncelik verilmesi ve değişen kapışma penceresi büyüklüğüne ilişkin iki yöntem önerilmiş ve ulaştırılan iş performansı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda ulaştırılan iş performansının ağır trafik yükleri altında önemli ölçüde artması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler—nesnelerin interneti, ulaştırılan iş, çok-sekmeli yol-atama.

Abstract—With the vision of the internet of things (IoT), it is expected that wireless networks will grow, concentrate and traffic carried will increase in the future. In wireless networks, multi-hop communication can be used instead of single-hop communication that we are accustomed today. Multi-hop communication is known to provide enhanced goodput performance for large and dense wireless networks under moderate traffic load. Nevertheless, the major problem is the goodput collapse experienced under high traffic load due to packet losses. One of the reasons of this problem in multi-hop communication is the emergence of a hidden terminal problem that we are not encountering in single-hop communication. In this study, two methods, prioritizing frames and varying contention window size according to the *Residual Hop Count* (RHC), are proposed and goodput performance is investigated through simulations. As a result of the studies, the goodput performance has been increased significantly under high traffic load.

Keywords—internet of things, goodput, multi-hop routing.

I. GİRİŞ

Son yıllarda yüksek bir ivmeyle yaygınlaşan IoT sayesinde pek çok farklı kablosuz haberleşme teknolojisi aynı ortamda kullanılabilir olmuş ve internetteki nesnelerin sayısı artmıştır. Günümüzdeki IoT alanındaki bu hızlı gelişme, yakın gelecekte kablosuz ağların pek çoğunda şu üç temel özelliğin öne çıkacağını göstermektedir: 1) Nesnelerin sayıca çok olması, 2) Nesne yoğunluğunun artması ve 3) Veri hızı (DR: Data Rate) ve trafik yükünün artması

Günümüz IoT ağlarındaki iletişim genellikle kaynak/hedef düğüm ile ağ geçidi arasında tek-sekmeli bir iletişime dayanır. IP adresine sahip her bir nesne kablosuz haberleşme teknolojileriyle ağ geçidi ile doğrudan haberleşir, çok-sekmeli bir yol izlenmez. Bu tek-sekmeli yolda ulaştırılan iş stabildir, trafik arttıkça düşmez. Oysa, geleceğin daha büyük ve daha yoğun IoT dünyasında, çok-sekmeli haberleşmenin devreye girmesiyle ağdaki ulaştırılan iş kaybının daha yüksek olması beklenir [1]. Ayrıca, geleceğin IoT ağlarında daha da çeşitli teknolojilerin bir arada çalışması farklı kanal erişim katmanlarının uyumsuzluğu gibi problemleri de beraberinde getirerek ulaştırılan iş kaybını tetikleyecektir [2]. Video ve görüntünün daha sıklıkla aktarılacağı geleceğin IoT dünyasında artan DR ve trafik yükü ulaştırılan iş kaybını daha da arttıracaktır [3].

Günümüzde kullanıcı ucunda yaygın olarak kullanılan IEEE 802.11 tek-sekmeli ağların, geleceğin büyük ve yoğun IoT ağlarında çok-sekmeli ağlara dönüşmesi beklenmektedir. Bu ağlarda gönderilen paketlerin başarısız olma olasılığını arttıran, kanal hatalarının yanı sıra bir başka sebep de saklı terminalerin varlığıdır. Saklı terminalerin göz önüne alındığı bir çalışmada, büyük, yoğun ve homojen kablosuz ağlarda çok-sekmeli haberleşme ile ulaştırılan iş performansının ılımlı trafik yükü altında artacağı, fakat yüksek trafik altında çökeceği analiz ve simülasyonlar sonucunda gösterilmiştir [4]. Bu çalışmanın amacı bu çöküşü engelleyip, yüksek trafik yükü altında da ulaştırılan iş performansını arttırmaktır. Geleceğin büyük, yoğun ve heterojen IoT ağlarında ise ulaştırılan iş verimliliği daha da önem kazanacaktır. Bu çalışmanın konusu olan çok-sekmeli iletişimde yüksek trafik altındaki çöküşün engellenmesi için herhangi bir çalışmanın yapılmadığı gö-

rülmektedir. Yapılan birkaç çalışmada çok-sekmeli ağlarda görülen gizli terminal problemi göz önüne alan ve geniş trafik yükü altında çalışan IEEE 802.11 DCF modeline ilişkin çalışmalar literatürde yer almaktadır. Fakat bu çalışmalarda, ulaştırılan iş performansının çok-sekmeli yollardaki çöküşüne değinilmektedir [5,6]. Bu çalışma ile çözülmeye çalışılan yüksek trafik altındaki çöküşün engellenmesi henüz günümüz IoT dünyasında yer almayan bir problemdir.

Bu çalışmada, yüksek trafik yükleri altında, ulaştırılan iş çöküşünü engellemek için iki yöntem -MAC katmanındaki kuyrukta paketlerin KSS göre önceliklendirilmesi ve 802.11 DCF katmanında kapışma pencere büyüklüğünün paketlerin KSS göre ayarlanması- önerilmekte ve bu iki yöntemin, ulaştırılan iş performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek trafik altında ulaştırılan iş çöküşünün engellendiği ve ulaştırılan iş performansının önemli ölçüde artırıldığı görülmektedir.

Makalenin II. Bölümü'nde IEEE 802.11'e dayalı ağlarda çok-sekmeli yollarda ulaştırılan iş performansının çöküşünü engellemek için önerilen yöntemler tanıtılmaktadır. III. Bölüm'de simülasyon parametreleri ve varsayımlar verilmekte, IV. Bölüm'de sonuçlar irdelenmektedir.

II. ÖNERİLEN YÖNTEMLER

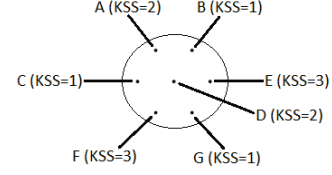
Simülasyonlara dayalı ön çalışmalar, yüksek trafik altında ulaştırılan iş performansındaki çöküşün sebebinin şu olduğunu göstermiştir: çok-sekmeli yol kullanıldığında kaynak düğümden hedef düğüme paketin başarılı ulaşma olasılığı çok düşmektedir. Örneğin, pek çok sekmeyle başarıyla geçen bir paketin son sekmede başarısız olması durumunda ulaştırılan iş kaybı önemli ölçüde artmaktadır. Saklı terminalerin sayısının arttığı durumlarda, özellikle büyük ve yoğun ağlarda, paketlerin çarpışma ve düşme olasılığı daha da artmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada büyük/yoğun/heterojen IoT ağlarında ulaştırılan iş performansını arttırmak için önerilen yöntem çok-sekmeli yollar kullanılması ve bu çok-sekmeli yollarda MAC katmanında paketlere KSS'na göre (hedef düğüme daha az sayıda sekmesi kalan paketlere öncelik verilerek suretiyle) öncelik tanınmasıdır. Bu çalışmada, ulaştırılan işin yüksek trafik altında da sürdürülebilmesini sağlamak, böylece ulaştırılan iş çöküşünü engellemek hedeflenmiştir. Bu ana hedefi sağlamak için çalışma kapsamında 2 yöntem belirlenmiştir: 1) MAC katmanındaki kuyruk disiplini paketlerin KSS'na göre öncelik tanyacak şekilde düzenleyerek yüksek trafik altında ulaştırılan işin çökmesini engellemek, 2) IEEE 802.11 DCF katmanında kapışma pencere büyüklüğünün paketlerin KSS'na göre ayarlanmasını sağlayarak yüksek trafik altında ulaştırılan işin çökmesini engellemek.

A. 1. Yöntem

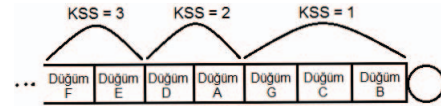
Servis kalitesi (QoS) sağlamak adı altında pek çok öncelik mekanizması mevcuttur: Paket uzunluklarına göre öncelik vermek (kısa paketi önce göndermek), uygulamaya göre öncelik vermek (gecikmeye duyarlı paketlerin internette önce aktarılması), gibi. Ancak çok-sekmeli bir yolda ilerleyen bir paketin hedefe varmasına KSS göz önüne alınarak öncelik verilmesi yeni bir yöntemdir.

Şekil 1'de 6-düğümlü bir topoloji ve her bir düğüme gelen paketlerin KSS modellendirilmektedir. Verilen bu modelde her paketin 3-sekmeli bir yol izleyeceği varsayılmış ve paketlerin KSS verilmiştir. Şekil 2'de ise düğümlere gelen paketlerin, kuyrukta öncelikleri modellendirilmektedir. Önerilen yöntem ile son sekmesine gelmiş paketlere (B,C ve G düğümlerinde KSS=1 ile gösterilmiştir.) MAC katmanındaki kuyrukta öncelik verildiği görülmektedir. Aynı zamanda, hedef düğüme

ulaşmasına iki sekme kalmış paketlerin (A ve D düğümlerinde KSS=2 ile gösterilmiştir.) ve iletime yeni başlayacak olan paketlerin (E ve F düğümlerinde KSS=3 ile gösterilmiştir.) kuyrukta yerleştirilmesi Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu yöntem ile daha az sayıda sekmesi kalan paketlerin, MAC katmanındaki kuyrukta öncelik sahibi olması ve hedef düğüme ulaşma olasılığının artırılması hedeflenmektedir.



Şekil 1: Verilen düğümlerdeki paketlerin KSS modeli.



Şekil 2: Paketlerin KSS'na göre öncelikli kuyruk modeli.

B. 2. Yöntem

Daha önce yapılan bir çalışmada, bir düğümün, tahmini sekme başına gecikmeye dayalı olarak bir paketin önceliğini dinamik olarak arttırabildiği kapışma kontrolü belirtilmektedir [7]. Bu yöntem ile ulaştırılan iş performansı arttırılmış ancak çöküşü engellenememiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem ile IEEE 802.11 DCF katmanındaki kapışma pencere büyüklüğü paketlerin KSS'na göre ayarlanması hedeflenmiştir. Böylelikle, son sekmesine gelmiş paketlerin diğer sekmelerdeki paketlere oranla kapışma pencere büyüklüğünün daha düşük olması sağlanmıştır.

III. SİMÜLASYONLAR

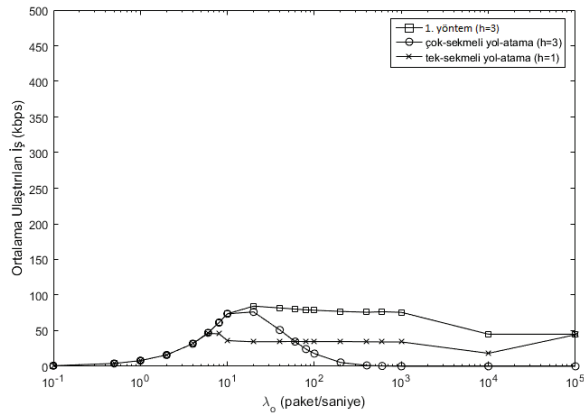
Her iki yöntem için NS-2 simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan topoloji 127-sabit düğümlü, IEEE 802.11g bazlı, düzgün altgen dizilimli homojen bir ağıdır. Her düğüm saniyedeki hızı λ_0 ile Poisson trafik üretmektedir. Her düğüm komşu düğümlere bu trafığı eşit şekilde dağıtmakta, farklı hedef-kaynak düğümleri açısından tek-sekmeli ($h=1$) veya 3-sekmeli ($h=3$) sabit yol-atama şeklinde UDP kullanılmaktadır. Tablo 1'de simülasyonlarda kullanılan bazı parametreler verilmiştir.

1. yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar DR=6 Mbps için Şekil 3'te ve DR=54 Mbps için Şekil 4'te gösterilmiştir. Kullanılan 6 Mbps ve 54 Mbps, seçilen IEEE 802.11g DCF protokolü için olabilecek minimum ve maksimum değerlerdir. 1. yöntemin ılımlı trafik yükü altında ulaştırılan işi arttırdığı, yüksek trafik altında da ulaştırılan işin aşırı çöküşünü engellediği gözlenmiştir. 1. yöntemin kullanılmasıyla, ılımlı trafik altında DR=54 Mbps için %22'ye varan ulaştırılan iş kazancı sağlanırken, DR=6 Mbps için bu kazanç %340'a varmıştır. Yüksek trafik altında, ulaştırılan iş verimliliğindeki çöküş ortadan kaldırılarak önerilen yöntemin başarılı olduğu saptanmıştır. Yüksek trafik altında, her düğümün en yüksek 100.000 paket/saniye trafik ürettiği durumda, ulaştırılan iş DR=6 Mbps için %4, 5×10^8 'a artarken, DR=54 Mbps için %4, 5×10^9 artmıştır. Ayrıca, her bir sekmede geçen paket

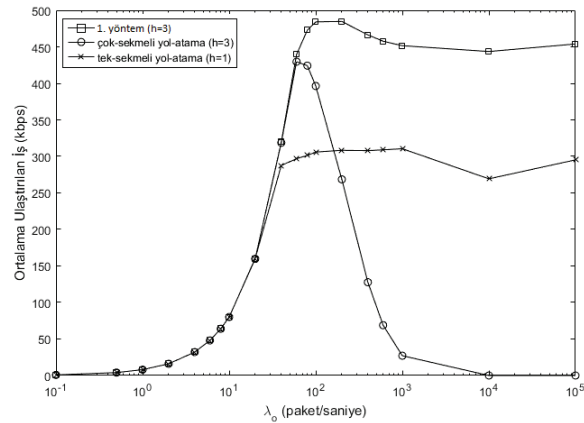
DR	6 ve 54 Mbps
Slot time	20 μ
Data	1000 bayt
RTS	20 bayt
CTS	14 bayt
ACK	14 bayt
SIFS	10 μ
DIFS	50 μ
EIFS	412 μ
IFQ buffer size	5

TABLO I: Simülasyonlarda kullanılan parametreler

sayılarındaki değişim Şekil 5'te DR=6 Mbps ve Şekil 6'te DR=54 Mbps için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; son sekmesine gelen paketlerin iletiminin beklenildiği şekilde arttığı gözlemlenmektedir.

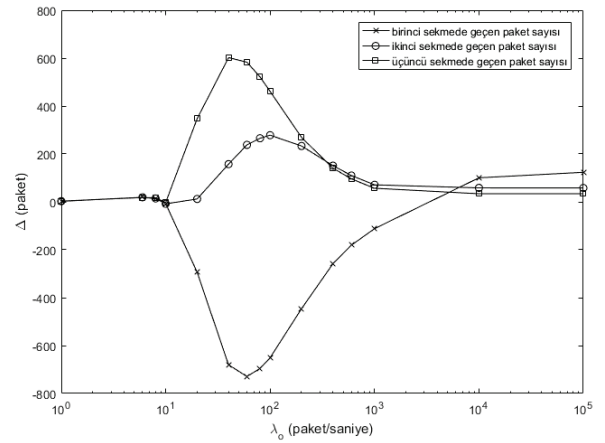


Şekil 3: Birinci yöntem kullanıldığında ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi (DR=6 Mbps).

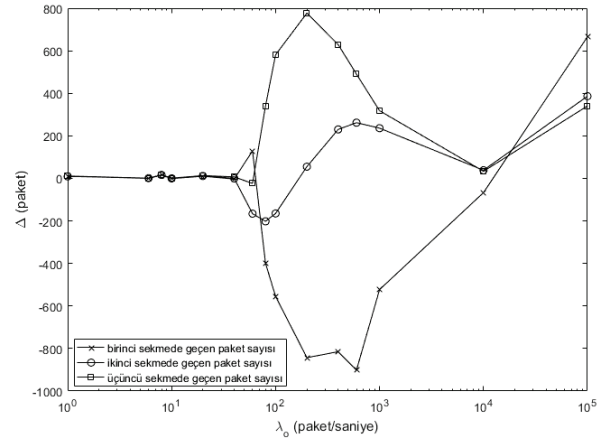


Şekil 4: Birinci yöntem kullanıldığında ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi (DR=54 Mbps).

2. yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar DR=6 Mbps için Şekil 7'de ve DR=54 Mbps için Şekil 8'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda 2. yöntemin ılımlı trafik yükü altında ulaştırılan işi arttırdığı, ancak yüksek trafik altında ulaştırılan



Şekil 5: Birinci yöntem kullanıldığında her bir sekmedeki başarılı paket sayısının değişimi (DR=6 Mbps).



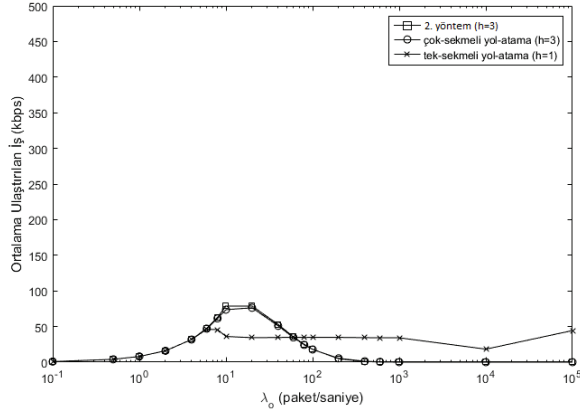
Şekil 6: Birinci yöntem kullanıldığında her bir sekmedeki başarılı paket sayısının değişimi (DR=54 Mbps).

işin aşırı düşüşünü engelleyemediği gözlemlenmektedir. 2. yöntemin kullanılmasıyla, ılımlı trafik altında DR=54 Mbps için %1,6'ya varan ulaştırılan iş kazancı sağlanırken, DR=6 Mbps için bu kazanç %7 olmuştur. Yüksek trafik altında ulaştırılan işin çöküşü engellenemediğinden 1. yöntem kadar etkili bir sonuç saptanmamıştır. Ayrıca, 2. yöntem kullanıldığında da her bir sekmede geçen paket sayılarındaki değişim Şekil 9'da DR=6 Mbps ve Şekil 10'da DR=54 Mbps için gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; KSS'na göre kapışma penceresinin uyarlanması son sekmedeki paketlere öncelik verilmediği ortaya çıkmaktadır. KSS küçüldükçe azalan kapışma penceresi büyüklüğünün saklı terminalden kaynaklanan çarpışmaları arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

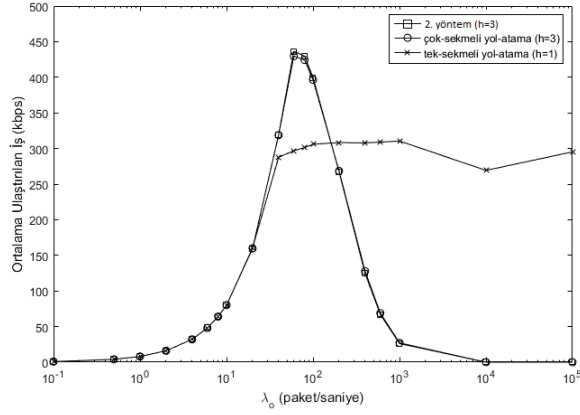
Her iki yöntem için elde edilen her bir sekmedeki başarılı paket sayısı grafiklerindeki ani paket düşüşlerinin ve yükselişlerinin nedenini, bir topoloji üzerinden tek bir simülasyon ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, rastgele topolojiler üzerinden simülasyonlar gerçekleştirildiğinde daha iyi bir sonuç gözlemlenirdi.

IV. SONUÇLAR

Büyük ve yoğun çok-sekmeli kablosuz ağların, IoT yapısını yakın gelecekte oluşturması bekleniyor. Bu kablosuz ağlarda



Şekil 7: İkinci yöntem kullanıldığında ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi (DR=6 Mbps).

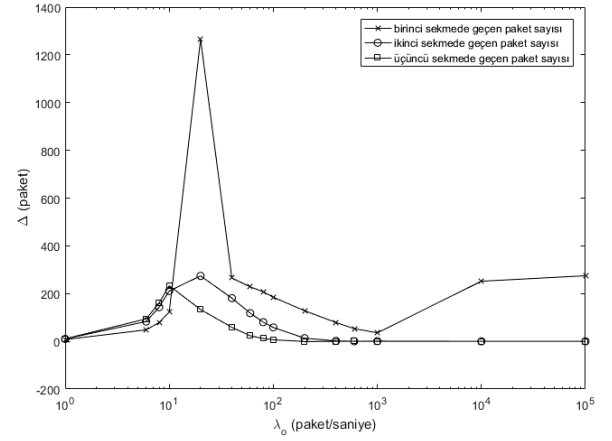


Şekil 8: İkinci yöntem kullanıldığında ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi (DR=54 Mbps).

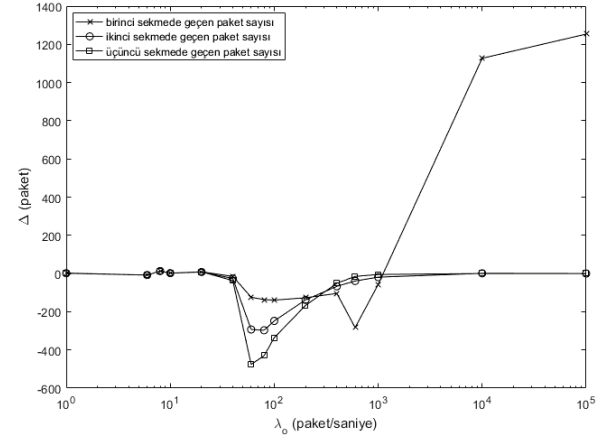
ortaya çıkan gizli terminal sorunu ile birlikte önemli miktarda paket kayıpları meydana gelir. Bunun sonucunda ise yüksek trafik altında ulaştırılan iş çökmektedir. Bu sorunu çözmek için önerilen iki yöntemin ulaştırılan iş performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Önerilen birinci yöntem, MAC katmanındaki kuyruk disiplininde paketlere KSS'na göre öncelik tanınmasıdır. Böylelikle daha düşük sekmedeki paketlerin MAC katmanındaki kuyruksa öncelik sahibi olması sağlanmıştır. Bu yöntemin uygulandığı durumda, yüksek trafik altında ulaştırılan iş çöküşünü engellediği gözlemlenmiştir. Bu yöntem ile birlikte ulaştırılan iş çöküşü her bir düğüm için yaklaşık olarak 800-Mbps trafik üretildiği yerin saniyede 100.000 paket gönderildiği duruma ötelenmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntem ile son sekmesinde başarıyla iletilen paketlerin sayısının artmış olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen ikinci yöntem ise, IEEE 802.11 DCF katmanında kapışma penceresi büyüklüğünün paketlerin KSS'na göre ayarlanmasıdır. Bu yöntem uygulandığında, ulaştırılan işin yüksek trafik altında çöküşünü engellemediği gözlemlenmektedir.

V. GELECEK ÇALIŞMALAR

Gelecek çalışmalarımızda, önerilen yöntemler rastgele topolojiler üzerinde de test edilecektir. Ayrıca, IEEE 802.11 DCF katmanında AIFS sürelerinin paketlerin KSS'na göre ayarlanması araştırılacaktır.



Şekil 9: İkinci yöntem kullanıldığında her bir sekmedeki başarılı paket sayısının değişimi (DR=6 Mbps).



Şekil 10: İkinci yöntem kullanıldığında her bir sekmedeki başarılı paket sayısının değişimi (DR=54 Mbps).

KAYNAKLAR

- [1] Gupta P, Kumar PR, "The capacity of wireless networks," in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 46, no. 2, pp. 388–404, March 2000.
- [2] J. Wu, C. Yuen, B. Cheng, M. Wang and J. Chen, "Streaming High-Quality Mobile Video with Multipath TCP in Heterogeneous Wireless Networks," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 15, no. 9, pp. 2345-2361, Sept. 1 2016.
- [3] J. Wu, C. Yuen, M. Wang and J. Chen, "Content-Aware Concurrent Multipath Transfer for High-Definition Video Streaming over Heterogeneous Wireless Networks," in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 27, no. 3, pp. 710-723, March 1 2016.
- [4] Canan Aydogdu, Ezhan Kardeş, "Goodput and Throughput Comparison of Single-Hop and Multi-Hop Routing for IEEE 802.11 DCF based Wireless Networks," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 16, no. 9, pp. 1078–1094, 25 June 2016, Doi: 10.1002/wcm.2588.
- [5] Tseretou A, Laurenson DI, "Revisiting the hidden terminal problem in a CSMA/CA wireless network," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 7, no. 7, pp. 817-831, 2008.
- [6] Ng PC, Liew SC, "Throughput analysis of IEEE 802.11 multi-hop ad hoc networks," in IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 15, no.2, pp. 309-322, 2007.
- [7] Y. Wu, J. Chiu, T. Sheu, "A Modified EDCA with Dynamic Contention Control for Real-Time Traffic in Multi-hop Ad Hoc Networks." in Journal of Information Science and Engineering, vol. 24, pp. 1065-1079, 2008.