

# **IEEE 802.11g DCF tabanlı Çok-Sekmeli Kablosuz Ağlarda Veri Hızının Üretilen İş ve Ulaştırılan İş Performanslarına Etkisi**

Canan AYDOĞDU

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Bölümü

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Urla/İzmir

e-posta: cananaydogdu@iyte.edu.tr

Sibel SANCAKLI

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Bölümü

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Urla/İzmir

e-posta: sibelsancakli@iyte.edu.tr

## ÖZET

*Çok-sekmeli telsiz ağlar, gelecek nesil haberleşme sistemleri için umut verici uygulamalar sunmakta ve yaygın olarak kullanılan tek sekmeli ağlardan farklılaşmaktadır. Üretilen iş (düğümler arası saniyede iletilen başarılı bit sayısı) tek sekmeli ağlarda kullanılan önemli bir performans ölçütüyle ulaştırılan iş (uç düğümler arası saniyede ulaştırılan bit sayısı) çok-sekmeli ağlarda kullanılan belirgin bir performans ölçütü olmuştur. Çok-sekmeli ağlarda saklı terminal probleminden ve arayüz kuyruğundaki ara düğümlerden dolayı paket kayıpları oluşur. Bu çalışmada, IEEE 802.11g DCF'e dayalı çok sekmeli telsiz ağlarda veri hızının ulaştırılan iş ve üretilen iş performanslarına etkileri geniş bir trafik yük aralığında incelenmektedir. MAC seviyesinde kanal çarpışmalarını, ikili üstel geri çekilme, yeniden iletimler, çarpışmalar ve düğümlerin kulak misafiri olmalarını göz önüne alarak performanslar doğrudan gönderim ve çok-sekmeli gönderim altında gözlemlenmiştir. Yüksek veri hızını desteklediği ve önceki IEEE standartlarıyla uyumlu olduğu için IEEE 802.11 DCF kullanılmıştır. Ağ Simülatörü 2 (Network Simulator 2) geliştirilerek ideal kanal koşulları altında ulaştırılan iş ve üretilen iş performansları hesaplanmıştır.*

*Sonuçlar, hafif trafik altında değişen veri hızının ulaştırılan ve üretilen iş üzerinde etkisi olmadığını göstermiştir. Orta şiddetten ağır şiddete doğru olan trafik yükünün altında, ulaştırılan iş performansı hızlıca düşerken üretilen iş sabit kalmıştır. Orta trafikten ağır trafik yüküne doğru, saklı düğümler ve arayüz kuyruk engellemesinin, trafik yüküyle artan ulaştırılan işin düşüşüne sebep olduğu gözlemlenmiştir. Orta ve ağır trafik yükü altında, saklı düğümler ve arayüz kuyruk engellenmesinin sebep olduğu paket kayıpları ideal kanal koşullarında ulaştırılan işi artan trafikte düşmeye zorlamaktadır. Bu sonuç paket kayıplarının sebebini aydınlatan ve veri hızını maksimum seviyede tutan bir hız uyarlama algoritmasının ulaştırılan iş performansını önemli ölçüde iyileştireceğini önermektedir.*

**Anahtar Kelimeler-** Çok-sekmeli ağlar, IEEE 802.11, üretilen iş, ulaştırılan iş, DCF.

## 1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme uygulamalarındaki çeşitlilik, 4G servisleri ve herşeyi kapsayan bir internet vizyonu gelecekte büyük çok-sekmeli kablosuz ağların yaygınlaşacağına dair ipuçları vermektedir. Çok-sekmeli kablosuz ağlarda, günümüzde kullanılan tek-sekmeli ağlardan farklı olarak, ağı oluşturan düğümlerin veriyi çok sayıda sekme üzerinden hedefe ulaştırma fonksiyonları vardır. Çok-sekmeli kablosuz ağlar, kablosuz örgü ağları, sensör ağları, mobil ad-hoc ağlar ve araçsal ağlar gibi verinin kaynaktan hedefe çok-sekme üzerinden ulaştırılabildiği ağları kapsamaktadır.

Çok-sekmeli ağlarda bir temel zorluk çok-sekmeli gönderimlerin iyice azalttığı sınırlı kapasitedir [1]. Çok-sekmeli ağları yaygın olarak kullanılan tek-sekmeli ağlardan ayıran belli başlı üç özellik vardır: 1) Tek-sekmeli ağlarda üretilen iş (throughput), yani bir düğümden diğerine birim saniyede gönderilen bit sayısı, önemliken çok-sekmeli ağlarda ulaştırılan iş (goodput), kaynaktan hedefe birim saniyede ulaştırılan bit sayısı önem kazanmaktadır; 2) Saklı düğüm problemi çok-sekmeli ağlarda önemli ölçüde paket kayıplarına sebep olmaktadır; 3) Çok-sekmeli ağlarda kaynaktan hedefe çok sayıda sekme olduğundan ara düğümlerde arayüz kuyruklarında düşmeler yaşanmaktadır.

Veri hızı uyarlama algoritmaları (HUA) çok-sekmeli ağlarda kapasiteyi iyileştirmek için temel bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir. HUA'larının ana tekniği kanal durumuna göre fiziksel katmandaki modülasyon ve kodlama yönteminin değiştirilerek veri hızının uyarlanması içermektedir.

Veri hızı uyarlaması konusundaki çalışmalar daha çok HUA geliştirilmesi alanında yoğunlaşmıştır. Çünkü IEEE 802.11 gibi pek çok değişken hızlı ağ standardında belirgin bir HUA tanımlanmamıştır. Kanal durumu olarak tanımlanan değişkenler ve bu değişkenlerin ölçme metodları önerilmiş olan HUA'ları arasında farklılık göstermektedir. Tek-sekmeli ağlar için önerilmiş belli başlı bazı HUA'ları şunlardır: Automatic Rate Fallback (ARF) [2], Adaptative ARF (AARF) [3], Collision-Aware Rate Adaptation (CARA) [4]. Bu HUA'lar paket çarpışmalarının kanal bozulmaları sebebiyle gerçekleştiği tek-sekmeli ağlar için önerilmiş olup üretilen iş performansını arttırmayı hedeflemektedirler. Ancak bu HUA'lar paket çarpışmalarının çoğunlukla saklı terminallerden kaynaklandığı -üretilen değil- ulaştırılan işin önem kazandığı çok-sekmeli ağlar için ideal değildir.

IEEE 802.11'e dayalı çok-sekmeli kablosuz ağlarda üretilen iş ve ulaştırılan iş performanslarının farklı trafik yükleri altındaki davranışlarının incelendiği çalışmamızda [5], direkt gönderim ve çok-sekmeli gönderim karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ise farklı veri hızlarının etkisi eklenmiş olup, ideal kanal ortamında en ideal bileşik veri hızı ve yolatma tekniği incelenmektedir. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar, hafif trafik altında değişen veri hızının ulaştırılan ve üretilen iş üzerinde etkisi olmadığını göstermiştir. Orta şiddetten ağır şiddete doğru olan trafik yükünün altında, ulaştırılan iş performansı hızlıca düşerken üretilen iş sabit kalmıştır. Orta trafikten ağır trafik yüküne doğru, saklı düğümler ve arayüz kuyruk engellemesinin, trafik yüküyle artan ulaştırılan işin düşüşüne sebep olduğu gözlemlenmiştir. Orta ve ağır trafik yükü altında, saklı düğümler ve arayüz kuyruk engellenmesinin sebep olduğu paket kayıpları ideal kanal koşullarında ulaştırılan işi artan trafikte düşmeye zorlamaktadır. Bu sonuç paket kayıplarının sebebini ayırtıran ve veri hızını maksimum seviyede tutan bir hız uyarlama algoritmasının ulaştırılan iş performansını önemli ölçüde iyileştireceğini önermektedir.

## 2. IEEE 802.11 KABLOSUZ AĞLAR

Bu çalışmada 54Mbps veri hızına ulaşan ve 2.4 GHz ISM bandını kullanan IEEE 802.11g DCF standardı kullanılmıştır [6]. Extended Rate Physicals (ERPs), ERP-

DSSS/CCK, ERP-OFDM, ERPDSSS/PBCC ve DSSS-OFDM olmak üzere dört farklı fiziksel katmana sahip olan IEEE 802.11g'de ilk ikisi zorunlu olup diğerleri isteğe bağlı gerçekleştirilmektedir.

IEEE 802.11 DCF standardında başarısız paketler exponensiyel olarak artan bekleme sürelerinin uygulandığı Binary Exponential Backoff (BEB) tekniği ile tekrar gönderilirler. Maximum tekrar gönderim sayısı  $M$ 'e ulaşan paketler düşürülür. Her gönderim denemesinde bir paketin önceki denemelerden bağımsız  $p$  olasılıkla çarpıştığını varsayılmaktadır. Dolayısıyla  $M$  başarısız deneme sonucunda paketler  $p^M$  olasılıkla düşürülmektedir. Ek olarak, fiziksel katman ve kanal erişim katmanı (MAC) arasında yer alan arayüz kuyruklarında (IFQ) da paketler  $p_{ifq}$  olasılıkla kuyruk aşımı sebebiyle düşürülmektedir.

RTS, CTS/ACK ve DATA paketlerinin süreleri (1), (2) ve (3)'te sırasıyla verilmiştir:

$$T_{RTS} = 20\mu s + \left\lceil \frac{182}{DR4\mu s} \right\rceil 4\mu s \quad (1)$$

$$T_{CTS/ACK} = 20\mu s + \left\lceil \frac{134}{DR4\mu s} \right\rceil 4\mu s \quad (2)$$

$$T_{DATA} = 20\mu s + \left\lceil \frac{(Psize + 64)8 + 22}{DR4\mu s} \right\rceil 4\mu s \quad (3)$$

Denklemlerde geçen  $4\mu s$  IEEE802.11g sembol süresidir, DR veri hızıdır ve Psize DATA paket uzunluğudur. Spesifikasyonlara göre zorunlu kontrol paketleri veri hızı 20MHz bant genişliği için {6,12,24} Mbps'dir. Çalışmada seçilen veri hızları ve alıcı hassasiyetleri Tablo 1'de, simülasyonlarda kullanılan bazı MAC değişkenleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Veri hızları (Basic rate kontrol paketleri için kullanılan hız, data rate ise DATA paketinin veri hızıdır.)

Data Rate	6 Mbps	12 Mbps	24 Mbps	54 Mbps
Basic Rate	6 Mbps	12 Mbps	24 Mbps	24 Mbps
RxSensitivity	-112.0 dB	-109.0 dB	-104.0 dB	-95.0 dB

Tablo 2: Simülasyonlarda kullanılan parametreler

Data rate PLCP rate	6/12/24/54 Mbps 6 Mbps
$W_0$ B Short Retry Count (SRC) Long Retry Count (LRC)	16 3 7 4
SlotTime Data RTS CTS ACK SIFS DIFS EIFS	20 $\mu$ s 1000 bytes 20 bytes 14 bytes 14 bytes 10 $\mu$ s 50 $\mu$ s 412 $\mu$ s
IFQ buffer size path loss exponent $\eta$	5 3

### 3. ÜRETİLEN VE ULAŞTIRILAN İŞ

Ulaştırılan iş aplikasyon katmanında kaynak düğümden hedef düğüme birim zamanda aktarılan bit sayısı olup, paket önek, paket sonek ve tekrar gönderimleri içermez. Kablosuz bir ağda ortalama ulaştırılan iş şöyle tanımlanır: bir saniyede hedef düğümlere ulaştırılan toplam veri bitlerinin ağdaki bütün düğümler üzerinden ortalamasıdır. Ortalama ulaştırılan işin hafif trafik yükü altında trafik yüküyle doğru orantılı, ağır trafik yükü altında da verilen C sabitiyle orantılı olduğu gösterilmiştir [5]:

$$C = \begin{cases} (1 - p^M)^{h-1} (1 - p_{ifq})^{h-1}, & \text{if } h > 1 \\ \frac{p^M}{(1 - p^M)}, & \text{if } h = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Çok-sekmeli yolun sekme sayısı  $h$  ile ifade edilmiş olup,  $h=1$ , direkt gönderim anlamına gelmektedir. Ortalama ulaştırılan iş artan trafikle artan çarpışmalar ve IFQ'daki düşüşler sebebiyle çok-sekmeli yollarda iyice azalmaktadır.

Üretilen iş ise bağ katmanındaki başarılı veri hızı olup ortalama üretilen iş ağdaki bütün düğümler üzerinden ortalaması alınan başarılı gönderimleri, çarpışmalar sebebiyle yapılan tekrar gönderimleri, paket önek ve soneklerini içermektedir.

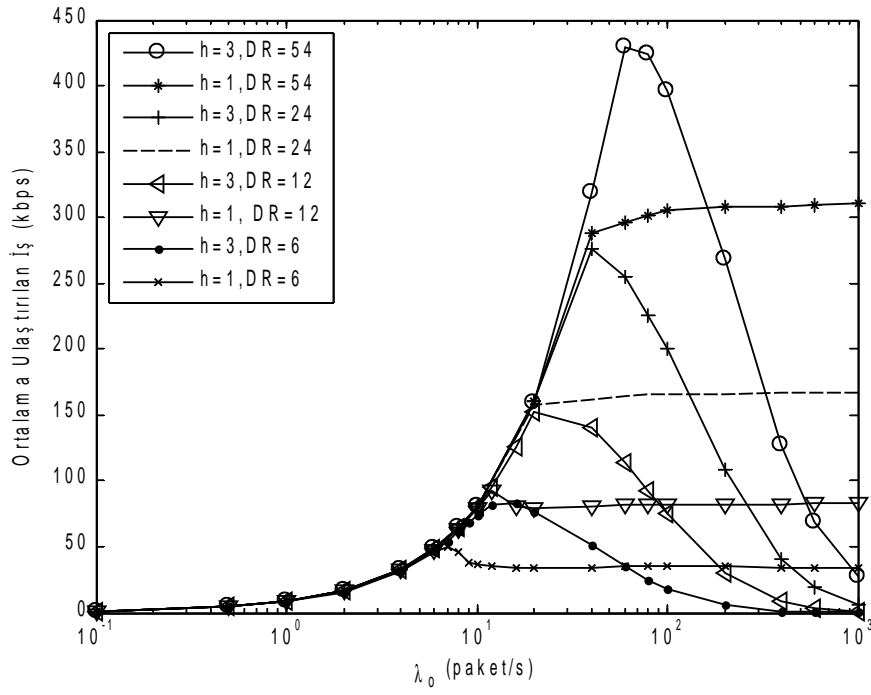
#### 4. SONUÇLAR

Ağ simülatörü, NS-2, kullanılarak IEEE 802.11g'nin ERP-OFDM fiziksel katmanı simüle edilmiştir [6]. Veri hızının ortalama ulaştırılan ve üretilen iş performanslarına etkisi araştırılmıştır. Bunun için iki farklı tip topoloji kullanılmıştır, düzgün yerleşimli 127 ve 469 düğümlü altıgen topolojiler, uniform-rastgele yerleşimli 127 ve 469 düğümlü rastgele topolojiler. Adil bir karşılaştırma için her simülasyon süresince sekme sayısı  $h$  ve veri hızı DR sabit tutulmuştur, aynı zamanda sabit yolatama tekniği kullanılarak her simülasyonda aynı trafik dokusu kullanılmıştır. Düğümlerin sabit olduğu simülasyonlarda kanal durumu da sabit kabul edilmiştir.

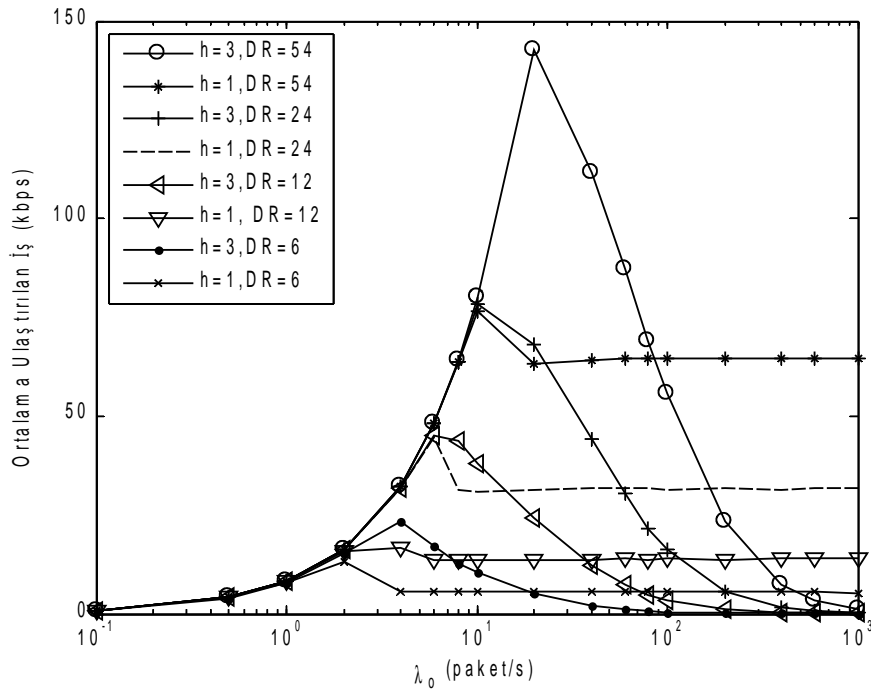
Düzgün yerleşimli altıgen topolojilerde ortalama ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi Sekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Düğümlerin ve de trafiğin rastgele dağıtıldığı topolojilerde ortalama ulaştırılan işin trafik yüküne bağlı değişimi Sekil 3 ve 4'de farklı topoloji büyüklükleri için verilmiştir.

Hafif yük altında veri hızı ortalama ulaştırılan işi etkilemezken orta şiddette trafikten ağır trafiğe doğru giderken veri hızı ortalama ulaştırılan işi arttırmaktadır. DR=54 Mbps veri hızının ideal kanal ortamında çarpışmaların saklı düğüm kaynaklı olduğu çok-sekmeli ağlarda ulaştırılan işi maximize ettiği gözlenmiştir. Orta şiddetteki trafik yükü altında çok-sekmeli yollar ulaştırılan işi maximize ederken ağır trafik yükü altında direkt gönderimler daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama çarpışma olasılığının,  $p$ , saklı terminaller sebebiyle arttığı ve ağır yük altında sabitlendiği gözlenmiştir. Öte yandan,  $p_{ijq}$ 'nin artmaya devam ettiği ve ağır yük altında çok-sekmeli rotaların verimini düşürdüğü gözlenmiştir.

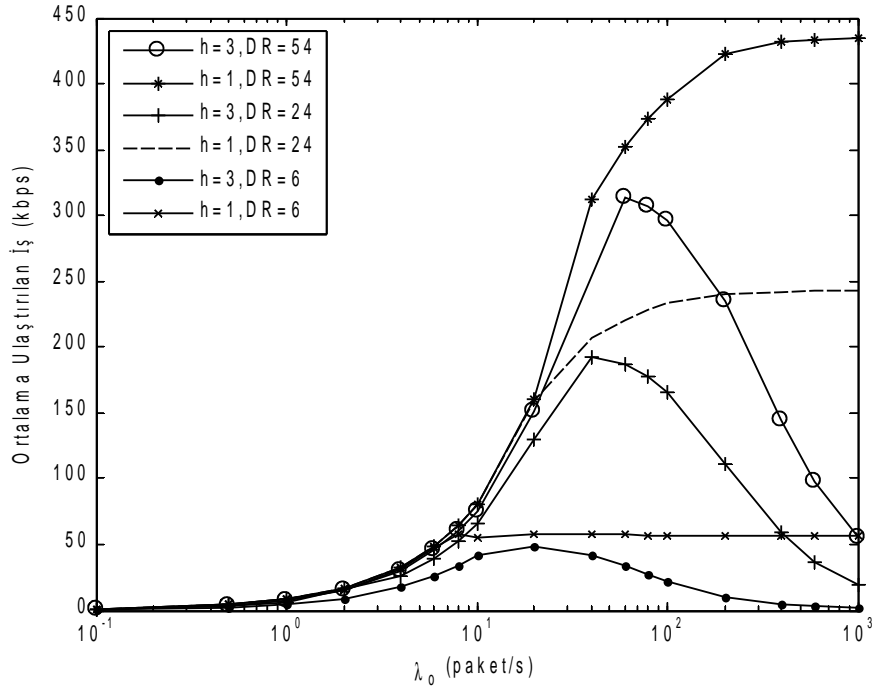
Bu çalışma, kanal bozulmaları durumunda veri hızının düşürülmesi kaçınılmaz olsa dahi saklı terminaller ve çok-sekmeli rotalar söz konusu olduğunda, paket düşüşleri sonucu veri hızını düşürmenin ulaştırılan işin gereksiz yere azaltılmasına sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Düşen paketlerin neden düştüğü bilgisine duyarlı bir HUA'sı ile ulaştırılan işte çok-sekmeli gönderimlerde %95-240, direkt gönderimlerde de %82-112 kazanç elde edilebilir.



Şekil 1. 127 düğümlü altıgen topolojide ulaştırılan işin yüke bağlı değişimi.

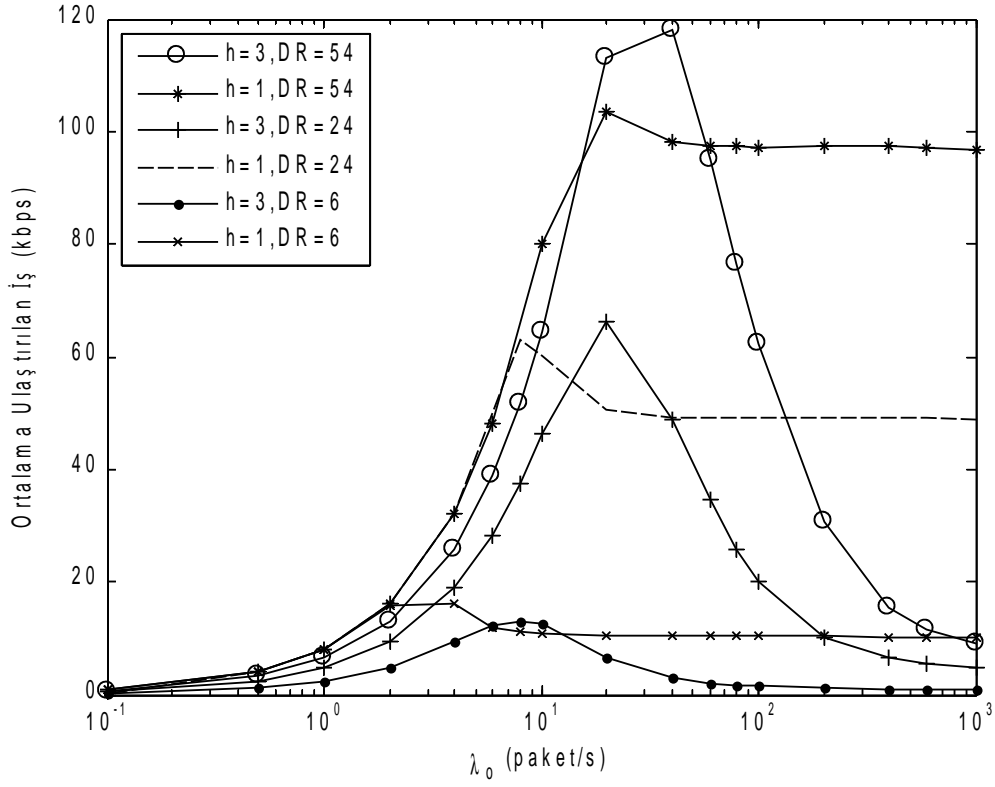


Şekil 2. 469 düğümlü altıgen topolojide ulaştırılan işin yüke bağlı değişimi.

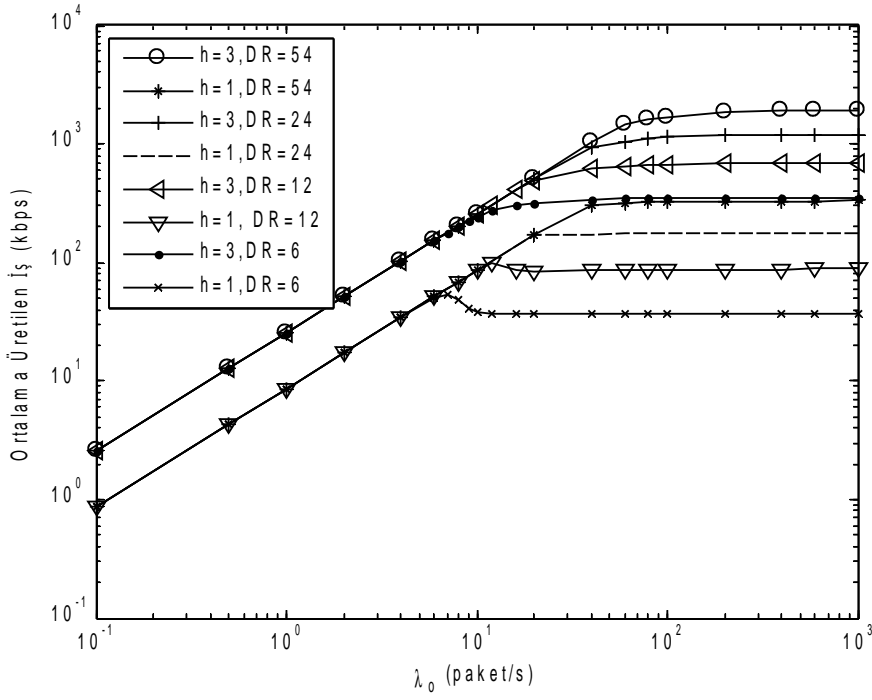


Şekil 3. Rastgele dağılımlı 127 düğümlü topolojide ulaştırılan işin yüke bağlı değişimi.

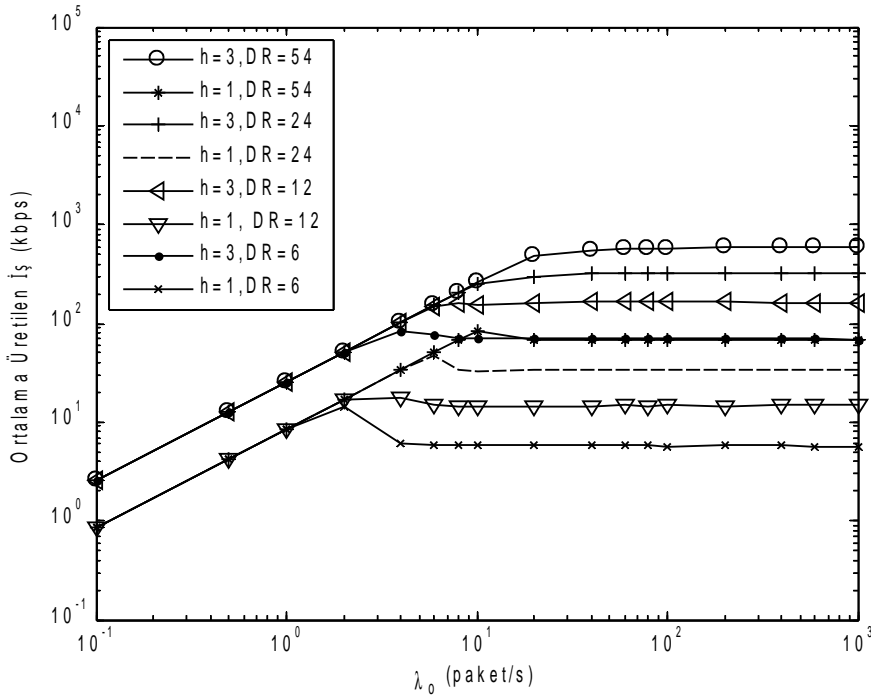




Şekil 4. Rastgele dağılımlı 469 düğümlü topolojide ulaştırılan işin yüke bağlı değişimi.



Şekil 5. 127 düğümlü altıgen topolojide üretilen işin yüke bağlı değişimi.



Şekil 6. 469 düğümlü altıgen topolojide üretilen işin yüke bağlı değişimi.

Altıgen yerleşimli düzgün topolojiler için ayrıca ortalama üretilen iş performansı incelenmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla 127 ve 469 düğümlü ağlara ait performans verilmiştir. Üretilen iş, artan trafik yüküyle önce artmakta, sonra sabit kalmaktadır. Ulaştırılan işten farklı bir tavır sergileyen üretilen işin çok-sekmeli ağlar için iyi bir performans göstergesi olmayacağı ortaya konmuştur.

## 5. YORUM

Bu çalışmada veri hızının çok-sekmeli kablosuz ağlarda ulaştırılan ve üretilen iş performanslarına etkisi tartışılmıştır. Tek-sekmeli ağlar için kullanılan üretilen iş performansının çok-sekmeli ağlarda ulaştırılan iş performansından çok farklı olduğu IEEE 802.11g bazlı çok-sekmeli ağlarda gerçekleştirilen simülasyonlarla gösterilmiştir. İdeal kanal ortamının varsayıldığı çalışmada, saklı düğümler ve IFQ engellemesi sonucu oluşan paket düşüşleri ile veri hızının düşürmenin önemli ölçüde ulaştırılan ve üretilen işi düşürdüğü ortaya konmuştur. Bu sonuç, çok-sekmeli ağlar için geliştirilecek hız uyarlama algoritmalarının paket düşüş sebeplerine duyarlı olmasının performansı arttıracağını önermektedir.

## 6. REFERANSLAR

- [1] P. Gupta and P. Kumar, "The capacity of wireless networks, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 46, pp. 388404, March 2000.
- [2] A. Kamerman and L. Monteban, "Wavelan-ii: a high-performance wireless LAN for the unlicensed band," Bell Labs Technical Journal, vol. 2, no.3, pp. 118-133, 1997. ARF.
- [3] M. Lacage, M. H. Manshaei, and T. Turletti, "IEEE 802.11 rate adaptation: a practical approach," in MSWiM '04: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, (New York, NY, USA), pp. 126-134, ACM, 2004.
- [4] J. Kim, S. Kim, S. Choi, and D. Qiao, "CARA: Collision-aware rate adaptation for IEEE 802.11 WLANs," in INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings, pp. 1-11, Apr. 2006.
- [5] C. Aydogdu, An Analytical Model of IEEE 802.11 DCF for Multi-Hop Wireless Networks and Its Application to Goodput and Energy Analysis. PhD thesis, Bilkent University Ankara, 2010.
- [6] Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, Tech. Rep. Std 802.11g, ANSI/IEEE,2003.