

# WiMAX Sisteminin Throughput Başarımının Analizi

A. Şafak\* ve B. Preveze\*\*

\* Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06800 Bağlıca, Ankara. E-posta: asafak@baskent.edu.tr

\*\*Çankaya Üniversitesi, Bilgisayar ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06530 Balgat, Ankara. E-posta: b.preveze@cankaya.edu.tr

Özet- WiMAX genişbant telsiz haberleşme sistemleri kullanıcıların bilgiye, veri, ses ve video servisleri olarak yüksek haberleşme hızında her yerden her zaman, düşük maliyetle ulaşmasına olanak sağlar. WiMAX sisteminin servis kalitesi throughput ve gecikme cinsinden hesaplanır. Bu makalede WiMAX sisteminin throughput başarımı analizi sunulmuştur. Genişbant telsiz haberleşme sistemlerinde servis kalitesini etkileyen parametrelerin kontrolü çok önemlidir. Bu çalışmada kod oranı, çerçeve büyüklüğü, alt kanal sayısı, sistem bantgenişliği ve M-QAM in seviyelerinin throughput üzerindeki etkileri incelendi. Kod oranı çerçeve büyüklüğü, alt kanal sayısı, sistem bantgenişliği ve M-QAM'in seviyelerinin artmasıyla throughput'un dolayısıyla servis kalitesinin arttığı gözlenmiştir.

Abstract- WiMAX provides access anytime anywhere and with low-cost to broadband wireless communication systems offering data, audio and video services. This paper presents an analysis of the throughput of WiMAX system. It is important to control the parameters affecting the QoS in broadband wireless communication systems. In this work, the effects of code rate, frame size, number of subchannels, system bandwidth and the level of M-QAM to the throughput are investigated. The throughput was observed to be improved with increasing frame size, code rate, system bandwidth and the number of QAM levels. Among these effect of QAM levels on throughput is quite different than the others that positive effect of number of QAM levels decrease by increasing its value.

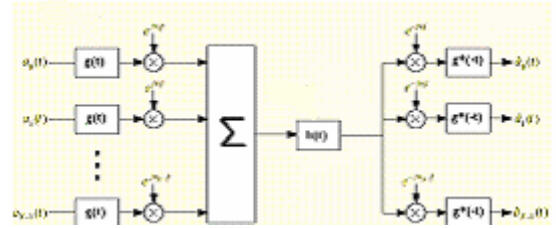
## I. GİRİŞ

WiMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access) sistemi genişbant telsiz haberleşme olanakları ile bilginin geniş kullanıcı kitlelerine her yerden, her zaman, düşük ücretle erişmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir teknolojidir. Abone yoğunluğunun az, kablolu genişbant sistemlerini kurmanın zor ve pahalı olduğu kırsal bölgelerde ve kendi bölgesel şebekeleri arasında hızlı ve güvenilir haberleşme altyapısının gerektiği büyük şehirlerde WiMAX (IEEE 802.16) sistemine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. WiMAX sistemi 2-11 GHz aralığındaki frekanslarda maksimum 50 km çapındaki bir alanda 70 Mbps hızında internet erişimi sağlayan genişbant kablosuz erişim teknolojisidir. WiMAX sistemleri 1.5 MHz den 20 MHz e kadar esnek kanal bantgenişliğine sahiptir [1-5]. WiMAX sistemlerinin servis kalitesi throughput ve iki sistem arasında iletim esnasında görülen gecikme ile ölçülür [6-8].

Throughput genellikle saniyede alınan bit sayısı (bps) ya da saniyede alınan veri paketlerinin sayısı olarak ölçülür. Throughput, kullanıcı-baz istasyonu (uplink -UL) kanalı ve baz istasyonu-kullanıcı (downlink - DL) kanalı için ayrı hesaplanır. Bu makalede fiziksel katman özellikleri göz önüne alınarak çeşitli sistem parametrelerinin throughput başarımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gecikmenin WiMAX sisteminin başarımı üzerindeki etkileri [8]'de verilmiştir.

## II. FİZİKSEL KATMAN

WiMAX'in fiziksel katmanında kullanılan OFDM yönteminde iletim bant genişliği dik alt taşıyıcı aralıklarına bölünür ve veri dizisi Şekil 1 de görüldüğü gibi alt taşıyıcılara bindirilerek bölünerek paralel bir şekilde gönderilir [1]-[5].



Şekil 1. OFDM Yapısı

OFDM üç alt taşıyıcı tipini içerir:

- 1) Veri alt taşıyıcısı: Veri gönderimi için kullanılır
- 2) Pilot alt taşıyıcısı: Tahmin ve senkronizasyon için kullanılır.
- 3) Koruma alt taşıyıcısı (null subcarriers): Koruma bantdır, gönderim için kullanılmazlar.

Veri ve Pilot alt taşıyıcılar aktif alt taşıyıcılar olarak bilinirler ve alt taşıyıcıların alt gruplarında gruplandırılır ve bunlar hem çıkış hattı hem de giriş hattı için alt kanal olarak adlandırılırlar. Bu alt kanallama 48 veri alttaşıyıcısından oluşur.

OFDMA yönteminde farklı kullanıcılara farklı taşıyıcı kümeleri atanır. N adet taşıyıcının M alt kümeye bölünmesi ile her kümeye N/M taşıyıcı atanarak her alt küme bir kullanıcıya tahsis edilir. Böylece, M kullanıcı aynı anda baz istasyonundan hizmet alabilir [9].

OFDMA sistemi çok kullanıcı karışmasını azaltır ve bir sektör içinde bulunan kullanıcılara dik taşıyıcılar atar. Bu sistem çeşitlenmeli ve sürekli alt kanallama sayesinde esnek bir frekans yeniden kullanım yapısına sahiptir [10]-[11].

Gezgin WiMAX (IEEE 802.16e) sisteminde kanal bant genişlikleri 7 ve 8.75 MHz , FFT boyutu 1024 ve örnekleme oranı 8/7 olarak alınmıştır. Alt taşıyıcı frekans aralığı bu iki durum için sırasıyla 7.81 kHz and 9.77 kHz olarak alınmıştır.

Ölçeklenebilirlik alt taşıyıcı frekans aralığını 10.94 kHz de sabitlemek suretiyle FFT boyutu ayarlanarak sağlanır. Alt taşıyıcı band genişliği ve sembol süresi sabittir. S-OFDMA parametreleri Tablo 1’de listelenmiştir [3]. Working Group sistem band genişlikleri 5 MHz ve 10 MHz dir [3].

TABLO 1  
OFDMA PARAMETRELERİ

Parametre	Değer	
Sistem kanal bant genişliği	5 MHz	10 MHz
Örnekleme Frekansı	5,6 MHz	11,2 MHz
FFT boyutu	512	1024
Alt kanal sayısı	8	16
Alt taşıyıcı Frekans boşluğu	10.94 kHz	
Kullanılabilir sembol süresi	91.4 mikro saniye	
Koruma süresi	11.4 mikro saniye	
OFDMA Sembol süresi	102.9 mikro saniye	
OFDMA Sembol sayısı	48	

### III. FİZİKSEL KATMANIN ÖZELLİKLERİ

Değişik modülasyon tekniklerinin ve kod oranlarının bantgenişliği 5 MHz ve 10 MHz olan kanallar için veri değerleri Tablo 2 [3] de gösterilmiştir. Çerçeve süresi 5 milisaniyedir ve her çerçeve 48 OFDM sembolünden oluşur.

Throughput başarımının kod oranı, sistem bant genişliği, çerçeve boyutu, QAM seviye sayısı, alt kanal sayısı gibi parametrelere göre değişimini grafiksel olarak çizilebilir için, bu parametreleri hesaplanabilecek şekilde ayrı ayrı tanımlamamız gerekir.

### IV. SİMULASYON PROGRAMI

Simülasyon programında throughput, çıkış hattı (UL) ve iniş hattı (DL) için ayrı olarak hesaplanmıştır.

$$UL = \frac{\text{Saniyedeki sembol sayısı} \cdot \text{DL veri alt taşıyıcıları} \cdot \text{Baud başına bit} \cdot \text{Veri oranı}}{1000\ 000} \text{ Mbps} \quad (1)$$

$$DL = \frac{\text{Saniyedeki sembol sayısı} \cdot \text{UL veri alt taşıyıcıları} \cdot \text{Baud başına bit} \cdot \text{Veri oranı}}{1000\ 000} \text{ Mbps} \quad (2)$$

### E. Simülasyon Değişkenleri ve Parametreleri

TABLO 2  
ALT KANALLI GEZGİN WiMAX (IEEE 802.16E) SİSTEMİNİN  
SİMULASYON PARAMETRELERİ

Parametre		Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Sistem bant genişliği		5 Mhz		10 Mhz	
FFT boyutu		512		1024	
Null Alt taşıyıcı		92	104	184	184
Pilot Alttaşıyıcı		60	136	120	280
Veri alt taşıyıcılar		360	272	720	560
Alt kanallar		15	17	30	35
Sembol periyodu		102,9 micro saniye			
Frame süresi		5 milisaniye			
OFDM sembol frame'i		48			
Veri OFDM sembolleri		44			
Mod.	Kod oranı	5 MHz kanal		10 MHz kanal	
		Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
QPSK	1/2CTC,6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	1/2CTC,4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	1/2CTC,2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	1/2CTC,1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	3/4CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16 QAM	1/2 CTC	6.34	4.57	12.67	9.41
	3/4 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64 QAM	1/2CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3 CTC	12.67	9.14	25.34	18.82
	3/4 CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6 CTC	15.84	11.42	31.68	23.52

### Saniyedeki Sembol Sayısı

Tablo 2 den de görüldüğü gibi çerçeve süresi gezgin WiMAX sistemi tarafından 5 ms'ye ayarlanmıştır. Bu bir çerçevenin süresinin 1/200 ms olacağı ve bu durumda OFDM sembollerinin 44/48'inin veri pilotu olarak kullanılacağı anlamına gelmektedir.

$$\frac{1/200 \text{ saniye}}{1 \text{ saniye}} \cdot (44/48) \cdot \text{OFDMA sembol sayısı} = x \text{ sembol}$$

$$x = [(44/48) \cdot \text{OFDMA sembol sayısı}] / (1/200) \\ \text{Saniyedeki sembol sayısı} = 200 \cdot (44/48) \\ \text{OFDMA sembol sayısı} \quad (3)$$

Burada OFDMA sembol sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\frac{48 \text{ OFDMA sembol}}{x \text{ OFDMA sembol}} = \frac{5 \text{ ms (varsayılan çerçeve boyutu)}}{\text{çerçeve boyutu}}$$

$$x = \text{çerçeve boyutu} \times 48/5 \\ \text{OFDMA sembol sayısı} = \text{çerçeve boyutu} \times 9,6 \quad (4)$$

### İniş Hattı (Downlink) ve Çıkış Hattı (Uplink) Alt Taşıyıcıları

#### İniş Hattı Alt Taşıyıcıları

Bir gruptaki alt kanal iki kümeden oluşur ve iniş hattı için 48 veri alt taşıyıcısı ile 8 pilot alt taşıyıcısı içerir. Veri alt taşıyıcılarının sayılarının pilot alt taşıyıcıları sayısına oranı  $48/8=6$ 'dır.

$$\text{Veri alt taşıyıcısı sayısı} = 6 \cdot \text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} \quad (5)$$

Burada pilot alt taşıyıcıları her kanal için 48'de 4'e ayarlanmıştır. Bu nedenle taşıyıcı sayısı

$$\text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} = 4 \cdot \text{Alt taşıyıcı sayısı} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Kalan alt taşıyıcılar kullanılmayacak ve koruma alt taşıyıcılar olarak kalacaklardır. NCS sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{NCS} = \text{FFT boyutu} - (\text{pilot alt taşıyıcıları} + \text{veri alt taşıyıcıları}) \quad (7)$$

#### Çıkış Hattı Alt Taşıyıcıları

Çıkış hattı 48 veri alt taşıyıcısından oluşur ve her OFDM sembolünde 24 pilot alt taşıyıcısı içerir. Veri alt taşıyıcılarının sayısının pilot alt taşıyıcıları sayısına oranı  $48/24=2$  dir.

$$\text{Veri alt taşıyıcısı sayısı} = 2 \cdot \text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} \quad (8)$$

İniş hattında bahsedildiği gibi, bir gruptaki bir alt kanal 2 küme içerir ve 48 veri alt taşıyıcısı ile 8 pilot alt taşıyıcısından oluşur. Bu nedenle, pilot alt taşıyıcı sayısı

$$\text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} = 8 \cdot \text{alt taşıyıcı sayısı} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Kalan alt taşıyıcılar yine kullanılmayacak ve koruma alt taşıyıcılar olarak kalacaklardır. NCS sayısı yine denklem (7) deki gibi hesaplanabilecektir.

İniş ve çıkış hattı alt taşıyıcıları için, FFT boyutu veri, pilot ve koruma alt taşıyıcı sayılarının toplamını verecektir:

$$\text{FFT boyutu} = \text{Sistem Bant genişliği} \cdot 1024 / 10 \quad (10)$$

Bu değerler, Wimax Forum gezgin Wimax'in 1. kısmında verilen tabloya uymaktadır

#### Baud Başına Bit Sayısı

QAM'de bir semboldeki bit sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Baud başına bit sayısı} = \log_2(\text{QAM seviye sayısı}) \quad (11)$$

QAM seviye sayısı'nın seçimi standartlar tarafından belirlenmektedir.

#### Sürelerin Hesaplanması

Ölçeklenebilirlik alt taşıyıcı frekans aralığını 10.94 kHz de sabitlenirken FFT boyutu ayarlanarak sağlanır ve kullanılabilir sembol süresi aşağıdaki şekilde hesaplanır [3].

$$\text{Kullanılabilir sembol süresi} = 1 / \text{alt taşıyıcı frekans aralığı} \quad (12)$$

$$\text{Koruma süresi} = \text{kullanılabilir sembol süresi} / 8 \quad (13)$$

Burada

$$\text{OFDM Sembolü süresi} = \text{Koruma süresi} + \text{Kullanılabilir sembol süresi} \quad (14)$$

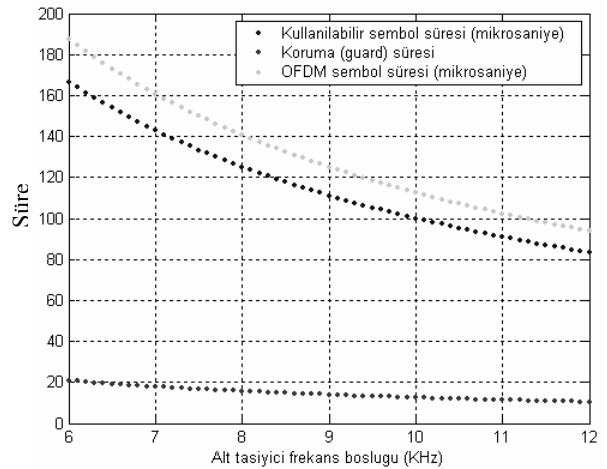
## V. SİMÜLASYON ÇIKTILARI

Şekil 2'de alt taşıyıcı frekans aralığının, kullanılabilir sembol süresi, koruma süresi ve OFDM sembol süresinin sistem bant genişliği üzerindeki etkileri görülmektedir.

Simülasyon programında, throughput'u etkileyen parametreler Tablo 3'te belirtilen değerler kullanılarak incelenmiştir.

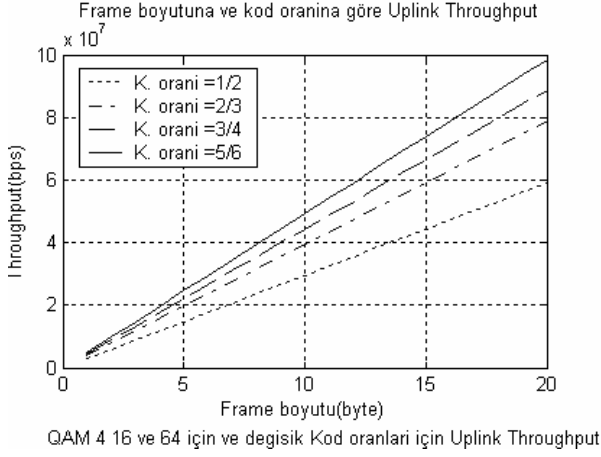
TABLO 3  
SİMÜLASYONDA KULLANILAN DEĞERLER

Parametre	Kullanılan değer
Kod oranı	1/2 , 2/3 , 3/4 , 5/6
Çerçeve boyutu	5 ms
QAM seviye sayısı	64
Alt kanal sayısı	17
Alt taşıyıcı frekans boşluğu	10.94
Sistem bant genişliği	5 Mhz

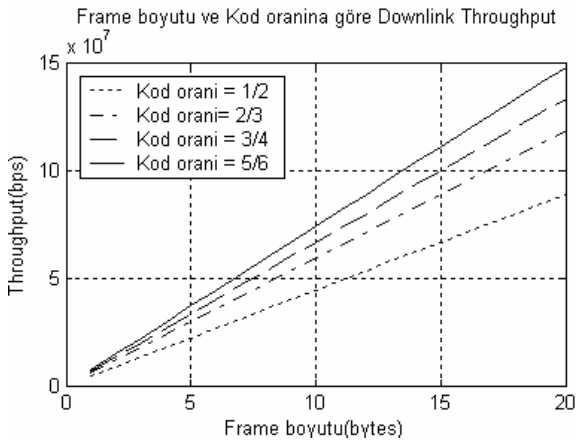


Şekil 2. Sistem bant genişliğinin süreler üzerindeki etkisi  
A. Çerçeve Boyutunun Throughput'a Etkisi

Şekil 3 'de kod oranı ve çerçeve boyutunun throughput üzerindeki etkisi çıkış hattı için Şekil 4'de ise iniş hattı için incelenmiştir. Şekil 3 ve 4'de görüldüğü gibi kod oranının ve çerçeve boyutunun artmasıyla throughput artmaktadır. Beklendiği gibi iniş hattı throughput'u çıkış hattından daha yüksektir.



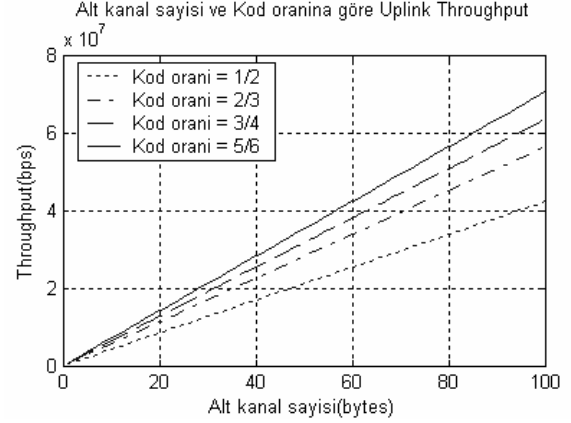
Şekil 3. Kod oranı ve çerçeve boyutunun çıkış hattı (UL) throughput'una etkisi



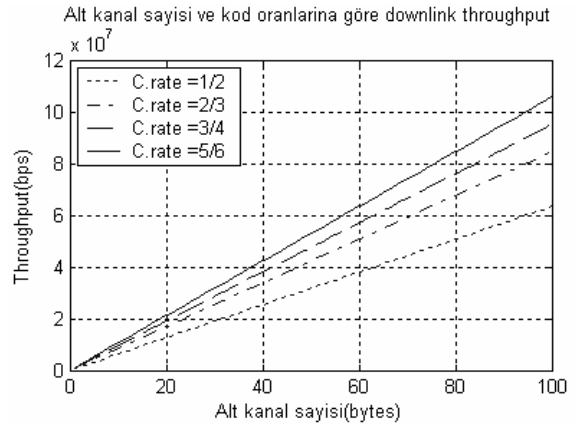
Şekil 4. Kod oranı ve çerçeve boyutunun iniş hattı (DL) throughput'una etkisi

#### B. Alt Kanal Sayısının Throughput'a Etkisi

Şekil 5'de kod oranı ve alt kanal sayısının çıkış hattı için throughput üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 6'da kod oranı ve alt kanal sayısının iniş hattı için throughput üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 5 ve 6 da görüldüğü gibi kod oranının ve alt kanal sayısının artmasıyla throughput artmaktadır. Beklendiği gibi iniş hattı throughput'u çıkış hattından daha yüksektir.



Şekil 5. Kod oranı ve alt kanal sayısının çıkış hattı (UL) için throughput üzerindeki etkisi



Şekil 6: Alt kanal sayısının değişik kod oranları için iniş hattı (DL) throughput'una etkisi

#### C. QAM Seviye Sayısının Throughput'a Etkisi

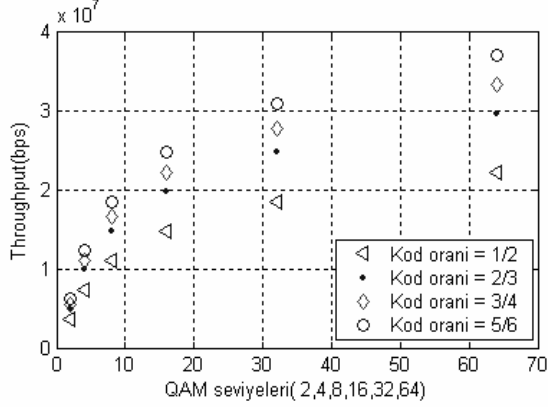
Tablo 3'te verilen parametre değerleri kullanılarak yukarı ve aşağı yöndeki throughputun QAM seviye sayısı ile değişimi farklı kod oranları için (1/2, 2/3, 3/4, 5/6) Şekil 7'de gösterilmiştir. Yukarı ve aşağı yöndeki throughput hesaplamalarında kendi sahip oldukları alt taşıyıcı (veri ve pilot alt taşıyıcıları) sayıları kullanılmıştır.

Şekil 7'de kod oranı ve QAM'in seviye sayısının çıkış hattı için throughput üzerindeki etkisi görülmektedir.

Şekil 8'de kod oranı ve QAM'in seviye sayısının iniş hattı için throughput üzerindeki etkisi görülmektedir.

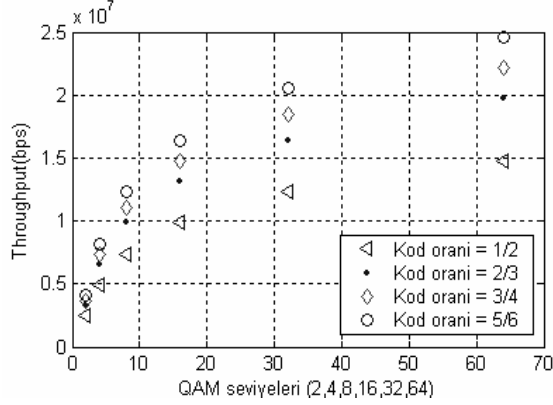
Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi kod oranı ve QAM'in seviye sayısının artmasıyla throughput artmaktadır.

QAM 4 16 ve 64 için ve degisik kod oranlari için Downlink Throughput



Şekil 7. 4-, 16-, ve 64-QAM için iniş hattı (DL) throughput'un kod oranı ile değişimi

QAM 4 16 ve 64 için ve degisik Kod oranlari için Uplink Throughput



Şekil 8. QAM seviye sayısının farklı kod oranları için çıkış hattı (UL) ve iniş hattı (DL) throughput'una etkisi

## KAYNAKÇA

- [1] WiMAX Forum, "WiMAX an Efficient Tool to Bridge the Digital Divide", Nov. 2005
- [2] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX: The Best Personal Broadband Experience", June 2006
- [3] Wimax Forum, "Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation", August- 2006
- [4] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation", Feb. 2006
- [5] IEEE Wireless RANs, "Deployment Scenarios with reuse 1 (utilizing FUSC and PUSC concept)", 2006-06-26
- [6] V. Hassel, S.K. Ryhove and G.E. Oein, "Scheduling Algorithms for Increased Throughput Guarantees in Wireless Networks", IEEE ISWCS 2007, pp.401-406, June 2007
- [7] C. Cicconetti, L. Lenzini, and E. Mingozzi, "Quality of Service Support in IEEE 802.16 Networks", IEEE Network Mag., pp.50-55, March/April 2006
- [8] A. Şafak and B. Preveze, "Analysis of Delay Factors for Voice over WiMAX", ISCIS 2008 Proc., 27-29 Oct. 2008
- [9] Hikmet Sari, "Broadband Wireless Access: Technical Challenges, Standards and Technologies", IEEE Mobile WiMAX Symposium 2007
- [10] L. M.A. Jalloul and Sam P. Alex, "Evaluation Methodology and Performance of an IEEE 802.16e System", IEEE Communications & Signal Processing Societies, December 7, 2006
- [11] F. Wangt, A. Ghosht, R. Love, K. Stewart, R. Ratasukt, R. Bachul, Y. Sun and Q. Zhao, "IEEE 802.16e System Performance: Analysis and Simulations, Advanced Radio Technology", GTSS, Motorola Inc. Applied Research & Technology, PCS, Motorola Inc. School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332

## VI. SONUÇLAR

WiMAX sisteminin throughput başarımı, kod oranı, çerçeve boyutu, alt kanal sayısı ve sistem bant genişliği ile orantılı olarak artmaktadır. Öte yandan, throughput'un kod oranındaki yada QAM seviyesindeki artıştan olumlu yönde etkilendiği gözlemlenmektedir. Ancak QAM seviyesinin artırılmasıyla throughputta pozitif yönde oluşan artış, artan QAM seviyesi ile yine pozitif yönde ancak etkisini azaltarak devam etmektedir. Bu nedenle gereksiz yere bant genişliği harcamadan daha iyi başarımlar elde edebilmek için optimum bir baud oranı yada QAM seviye sayısı seçimi kullanışlı olacaktır.

Çerçeve boyutu artarsa veri alt taşıyıcıları ile gönderilen veri miktarı da artar. Sonuç olarak throughput değerinde de artış gözlenir. Ayrıca kod oranı arttıkça throughput değerinin de arttığı gözlenmektedir. Aynı parametrelerin throughput üzerindeki etkileri hem çıkış hattı hem iniş hattı için incelenmiştir. Beklendiği gibi, çıkış hattı için elde edilen throughput değerlerinin iniş hattı için elde edilen değerlerden daha düşük olduğu gözlenmiştir.