

## YENİ ROTALAMA ALGORİTMALARININ 802.16j AĞI ETKİN ÇIKTI ORANI ARTIRIMINA DÜŞÜK ARAÇ HIZLARI ALTINDAKİ ETKİLERİ

*Barbaros PREVEZE\**

**Özet:** Çoklu ortam verileri içeren kablosuz gezgin ağlarda, yeni bilişsel yöntemler ve rotalama algoritmaları kullanılarak, sistemdeki rota ömrü, bağlantı kesinti miktarı, ortalama sekme sayısı ve paket kaybı gibi performans parametrelerinin iyileştirilmesiyle, IEEE 802.16j ağ yapısının etkin çıktı oranının artırılması sağlanmıştır. Bu amaçla, mevcut IEEE 802.16j ağında kullanılmakta olan OFDMA ve TDMA erişim tekniklerine ek olarak kullanılmak üzere önerilen, En Çok Sıkışan İlk Erişir (MCAF), Spektrumsal Yardımlaşma (SA) ve Arabellek Yönetimi (BM) metotları ile 802.16j ağında etkin çıktı oranı artırımı için elde edilen simülasyon sonuçları, elde edilen teorik sonuçlarla ve literatürde elde edilmiş olan diğer çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslanarak doğrulanmıştır. Bu çalışmada ayrıca, önerilen AEABR (Erişebilirlik Tabanlı Rotalama Alternatif Geliştirimi) ve ATAABR (Erişebilirlik Tık Ortalamalı Erişebilirlik Tabanlı Rotalama) isimli yeni uzun ömürlü rotalama algoritmalarının, geliştirilen etkin çıktı oranı yükseltimi metotlarıyla birlikte uygulanmasıyla, diğer rotalama algoritmalarına göre, daha da yüksek etkin çıktı oranları elde ettikleri gösterilmiştir. Önerilen yeni metotlar, dağınmık ağ yapılarının, gezgin düğümler tarafından, anlık plansız sinyalleşme ile yönetimine dayanarak çalışmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel ağlar, 802.16j, rotalama, etkin çıktı oranı, paket kaybı

### Effects of Novel Routing Algorithms on Throughput Improvement of 802.16j Network For Low Vehicular Velocities

**Abstract:** Improvement of the multimedia throughput of IEEE 802.16j network is provided by improving the performances of route life time, amount of disconnected periods, average hop count and packet loss rate, using cognitive methods. For this purpose, a novel access method called Most Congested Access First (MCAF) is proposed to decrease the packet loss rate and improve the system throughput. It is shown by comparing the results with the ones evaluated in the literature and with the theoretical results evaluated in this work that, MCAF, which is used in addition to OFDMA and TDMA methods, improves the system throughput by working together with other proposed Spectral Aids (SA) and Buffer Management (BM) methods. It is finally shown in this study that, more throughput improvement is provided when the proposed MCAF, BM and SA methods are used together with AEABR and ATAABR algorithms for different number of nodes with respect to other routing algorithms. The novel proposed methods work with an ad-hoc signaling channel that can be sustained by the mobile nodes for distributed network management.

**Keywords:** Cognitive Network, 802.16j, routing, throughput, packet loss.

## 1. GİRİŞ

Anlık-plansız ağlarda ağ yönetimi, gezgin düğümler tarafından yapılan, anlık plansız sinyalleşmeye dayanır (Mitola, 2000). Anlık-plansız ağ yapısına sahip olan bu çalışmada mesaj akışı, merkezi bir baz istasyonu tarafından değil, ağda bulunan ve geçici anlık bağlantılar sağlayan gezgin düğümlerin birbirleri üzerinden veri aktarımı ile yapılmaktadır. Çalışmada, düğümler arası iletişimde tam doldurulamayan alt kanallar nedeniyle oluşan bant genişliği kaybının hesaba katıldığı ve katılmadığı durumlar için etkin çıktı oranı sonuçları ayrı ayrı elde edilmiştir. Kullanılan eşitlikler farklı düğüm sayıları (N) için genelleştirilmiştir. Genelleştirilen eşitlikler kullanılarak, düğüm sayısı, ortalama sekme sayısı (AHC), paket kayıp oranı ve başarılı video/ses/veri paketleri gönderim oranlarındaki deği-

\* Çankaya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü, Ankara.

şimler hesaplanmıştır. Yalın ağ için elde edilmiş olan simülasyon sonuçları, her bir N değeri ve her bir metot için elde edilerek, literatürdeki sonuçlarla kıyaslanmış ve doğrulanmıştır.

Son olarak, Yi ve Wanye (2008)'ın geliştirdikleri En Hızlı Yol Bulma, Toh (1997)'un geliştirdiği Erişilebilirlik Tabanlı Rotalama (ABR) ve Preveze ve Şafak (2009a ve 2009b)'ın geliştirdikleri Erişilebilirlik Tabanlı Rotalamanın Alternatif Gelişimi (AEABR) ile Erişilebilirlik Tik Ortalamalı Erişilebilirlik Tabanlı Alternatif Rotalama (ATAABR) algoritmalarının, önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu algoritmalarla sistemin, rotalama ömrü, ortalama sekme sayısı ve paket kaybı gibi başarımlar parametreleri iyileştirilerek mevcut etkin çıktı oranının artırılması sağlanmıştır. Etkin çıktı oranının önerilen metotlar ile en çok, aynı zamanda en uzun rota ömrünü sağlayan, AEABR ile yükseltildiği gösterilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmada gerçekleştirilmiş olan sistemde, hem simülasyonlar ile hem de teorik hesaplamalar ile elde edilen sonuçların doğrulanabilmesi için, literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilmiş olan sonuçların, yeni önerilen metotlar devreye sokulmadan önceki yalın sistem için simülasyondan elde edilen sonuçlarla tutarlı olduğu gösterilmelidir. Bu bağlamda literatürde yapılmış olan farklı çalışmalar ayrı ayrı gerçekleştirilerek, her birinde kullanılmış olan parametre değerleri ile aynı sonuçların elde edildiği gösterilmiştir. Girici (2009), tek gönderimli bir ağın kullanıcı başına asimptotik etkin çıktı oranını ( $R_u$ ),

$$R_u = \frac{B}{N_0} \log_2 \left( 1 + \frac{\rho_0 \ln(N)}{d_c^n} \right) + \frac{Bn}{2 \ln(2)N} \quad (1)$$

$$\rho_0 = \frac{P}{N_0 \times B \times K} \times \beta$$

şeklinde tanımlamıştır. Burada; B: bant genişliğini, N: aktif düğüm sayısını, d: hücre çapını, n: yol kaybı üssünü,  $P/N_0$ : SNR(Sinyal Gürültü Oranı)'ı, K: kanal modeli sabitini ve  $\beta$ : BER ile ilişkili bir değeri ifade etmektedir. Song ve Li (2006) ise karşılık gelen eşitliği başka bir çalışmada,

$$R_u = \frac{B}{N_0} \times \log_2 \left( 1 + \beta \times E \{ \Gamma_{eff} \} \right) \quad (2)$$

şeklinde belirtilmişlerdir. Burada  $\Gamma_{eff}$  ortalama etkin SNR'ı ifade etmektedir ve verilen  $P/N_0$  değerini alacaktır. Öte yandan, Mach ve Bestak (2008)'ın kullandıkları geleneksel anahtarlama ile etkin çıktı oranı,

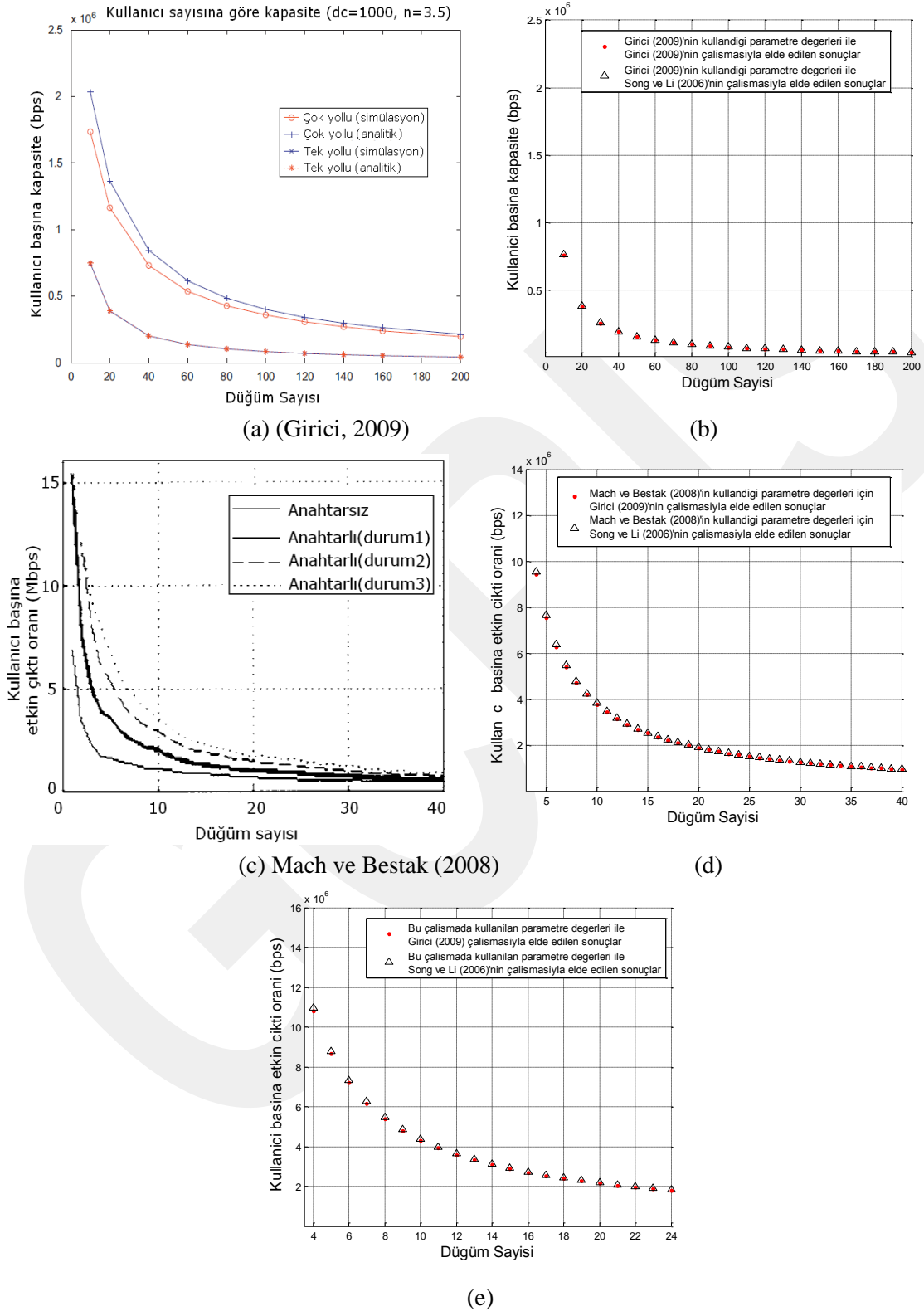
$$BR = \frac{R\_OFDM(RS)}{FL \left( \sum_{i=1}^m \frac{SSG1_i}{bps_i} + \sum_{i=1}^m \frac{SSG2_i}{bps_i} + \frac{1}{bps} \sum_{i=1}^m SSG2_i \right)} \quad (3)$$

şeklinde verilmiştir. Burada; FL :çerçeve boyutunu, BR: nominal bit oranını (bit/s), SSG: kendi modülasyon tipini kullanan düğüm sayısını, bps: bir OFDM sembolüne atanabilecek bit sayısını ve  $R\_OFDM(RS)$ : gerek duyulan OFDM sembol sayısını ifade etmektedir.

Geleneksel IEEE 802.16j ağı için Girici (2009)'nin elde ettiği etkin çıktı oranı sonuçları, Mach ve Bestak (2008)'in elde ettikleri sonuçlar ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar her bir çalışmadaki parametre değerleri için ayrı ayrı elde edilerek kıyaslanmıştır. Tüm bu çalışmalardan elde edilen simülasyon sonuçlarının tutarlılıkları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1a'da tekil gönderim (Unicast) için Girici (2009)'nin elde edilmiş olduğu sonuçlar gösterilmektedir. Şekil 1b'de ise, Girici (2009)'nin kullandığı parametre değerlerinin (Bant genişliği (B)=1 MHz, FL=5 ms (tipik olarak),  $P/N=10^3$ , hücre çapı ( $d_c$ )=1000 m, Yol kaybı üssü (n)=3.5,  $K=10^{3.15}$  (şehir dışı NLOS kanal modeli) ve  $\beta = -1.5 / \ln(5 BER) = 0.2$ ), hem Girici (2009) hem de Song ve

Li (2006)'nin çalışmaları üzerinde uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların birbirleriyle tutarlılıkları gösterilmektedir. Tekil (unicast) gönderim için Girici (2009)'nin elde etmiş olduğu Şekil 1a'daki sonuçlar, diğer çalışmalardan elde edilen Şekil 1b'deki sonuçlarla tamamen örtüşmektedir.



Şekil 1:

Etkin çıktı oranı sonuçları karşılaştırma grafikleri.

Şekil 1c'de Mach ve Bestak (2008)'in elde ettiği WIMAX etkin çıktı oranı sonuçları verilmiştir. Girici (2009) ile Song ve Li (2006) elde ettikleri sonuçları tek sekmeli kapasite için, Mach ve Bestak (2008) ise çok sekmeli etkin çıktı oranı için bulmuştur. Girici (2009) ile Song ve Li (2006)'nin elde ettikleri sonuçların Mach ve Bestak (2008)'in elde etmiş olduğu sonuçlarla kıyaslanabilmesi için Mach ve Bestak (2008)'in elde etmiş olduğu sonuçların da ortalama sekme sayısına bölünmesi gerekir. Mach ve Bestak (2008)'in kullandığı senaryo için AHC, En Hızlı Yol rotalama algoritması simülasyonu kullanılarak 2.25 olarak elde edilmiştir.

Şekil 1d'de ise Mach ve Bestak (2008)'in kullanmış oldukları parametre değerlerinin ( $B = 20$  MHz,  $FL = 20$  ms,  $P/N = 125.89$  (64 QAM ve  $FEC=3/4$  için 21 dB),  $d_c=1000$  m,  $n=2$  (serbest uzay),  $K=10^{3.15}$  (şehir dışı NLOS kanal modeli) ve  $\beta = 0.155$ ) Girici (2009) ile Song ve Li (2006)'nin yapmış olduğu çalışmalara uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların birbirleriyle tutarlılıkları gösterilmektedir. Şekil 1c'deki "anahtarlar istediklerinde gönderim yapabilirler" (Mach ve Bestak (2008)'in çalışmasında durum 3 olarak tanımlanan durum) durumu için elde edilen sonuçlar ise aynı parametre değerleri ile Girici (2009) ile Song ve Li (2006)'nin çalışmalarından elde edilen Şekil 1d'deki sonuçlarla örtüşmektedir.

Şekil 1e'de ise Girici (2009) ile Song ve Li (2006)'nin çalışmalarının, tarafımızca geliştirilen simülasyonda kullanılan parametreler ( $B=10$  MHz,  $FL=5$  ms (tipik),  $P/N=10^3$ ,  $d_c = 50$  m,  $n=2$  (serbest uzay),  $K=10^0$  (0 dB) ve  $\beta=0.02$ ) kullanılarak uygulanmasıyla elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Şekil 1e'de verilen bu sonuçlar, Şekil 11'de bu çalışmada geliştirilen sistemin etkin çıktı oranı yükseltilmeden önceki yalın hali ile elde edilen simülasyon sonuçlarının doğrulanması amacıyla kullanılacaktır.

### 3. YENİ BİLİŞSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK IEEE 802.16J ETKİN ÇIKTI ORANININ ARTIRILMASI

MATLAB programlama dili kullanımı ile, düğümlerin hareketlerinin, konumlarının, arabellek durumlarının, bu arabelleklerdeki paket durumlarının, her bir paketin izleyeceği rotanın, anlık veri üretim oranının ve anlık etkin çıktı oranının gözlenebildiği olaya dayalı bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Sistemimizde düğümler 25-40 km/h aralığında düşük araç hızları ile Gowrishankar ve diğ. (2007)'nin çalışmalarında tanımlamış oldukları rastgele yollu hareket modelini kullanarak hareket etmektedirler. Simülasyonda, 10 km x 10 km'lik bir alandaki N adet rastgele dağılmış gezgin düğümün birbiri ile sürekli iletişimde olduğu düşünülmektedir. Düğümlerin kullandığı genel algoritma Şekil 2'de verilmiştir. Burada herhangi bir simülasyon parametresinin istenilen herhangi bir değeri alabileceği unutulmamalıdır.

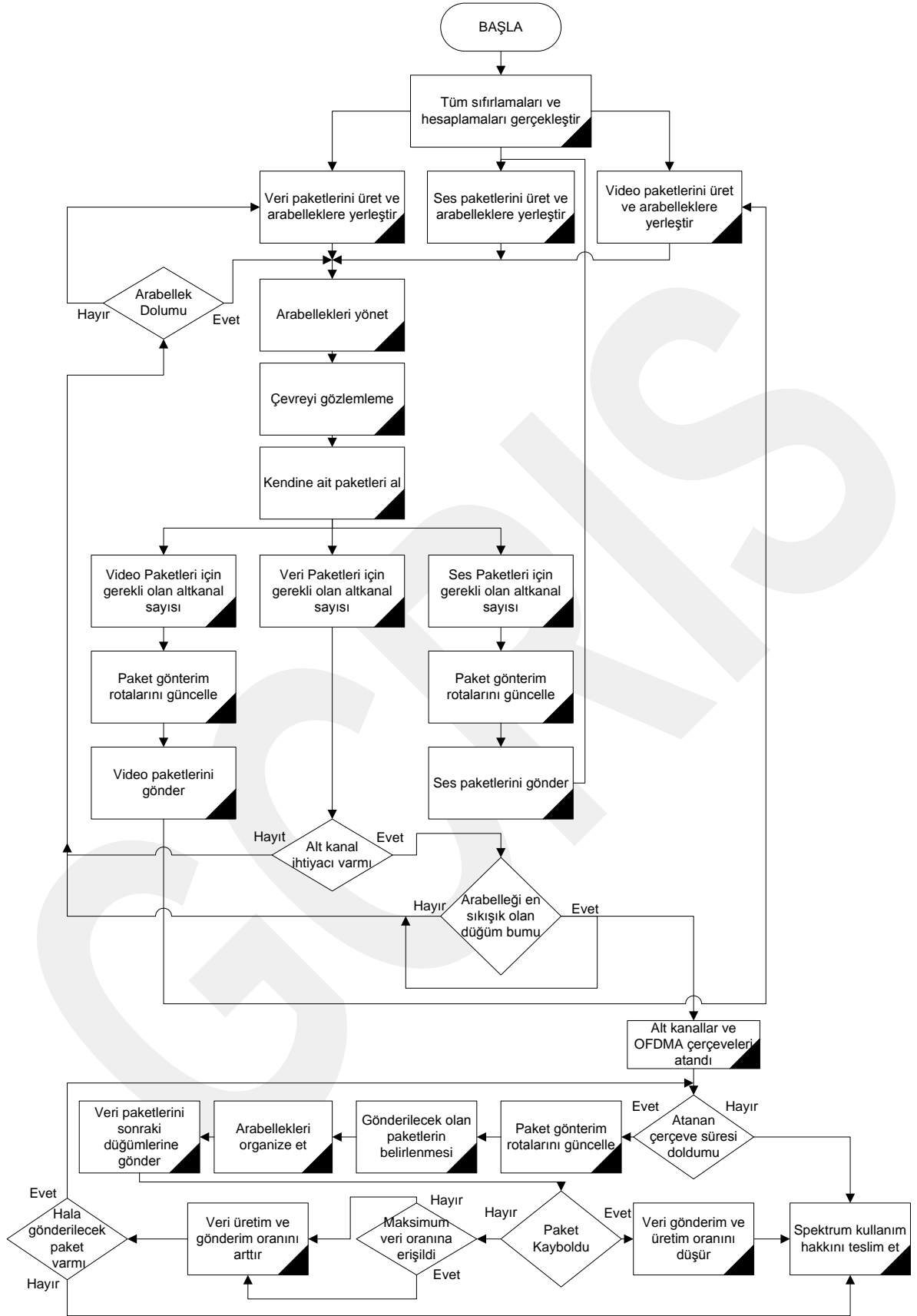
Ayrıca, simülasyon sisteminde düğümlerdeki veri paketi kuyruklarında sınırsız veri paketi üretimi yapılmaktadır ve paket üretim oranı ağına göre adapte olacak şekilde değişmektedir. Şekil 2'de verilmiş olan akış seması simülasyon esnasında sistemde bulunan tüm düğümler tarafından kullanılmakta, çevreyi gözleme, adaptif veri üretimi (AR), spektrum erişimi, paket üretimi, veri aktarımı, rotalama, Arabellek Yönetimi (BM) ve Spektrumsal Yardımlaşma (SA) bu akış semasına göre yapılmaktadır. Akış semasından da takip edilebileceği gibi;

MCAF: Düğümlerden hangisinin arabelleğinin en dolu olduğunu, yani hangi düğümün paketlerini kaybetmemek için arabelleğini bir an önce boşaltması gerektiğini saptayarak, spektrum erişim hakkını o çerçeve süresi boyunca en dolu arabelleğe sahip olan bu düğüme atamaktan, bu çerçeve süresi sonunda da, yeniden, spektrum kullanımını alacak olan yeni en sıkışık düğümün belirlenmesinden sorumludur.

AR: Arabellek doluluk durumuna ve paket kayıp oranına göre, paket üretim ve gönderim oranını ayarlamaktan ve sistemdeki diğer düğümleri durumdan haberdar etmekten,

BM: Düğümlerin arabelleklerinde bulunan paketlerin organizasyonlarını sağlamaktan ve bu paketlerden, öncelikle, arabelleği sıkışıklık yaşamayan ve paket alımına müsait olan düğümlere ait paketlerin gönderimini sağlamaktan,

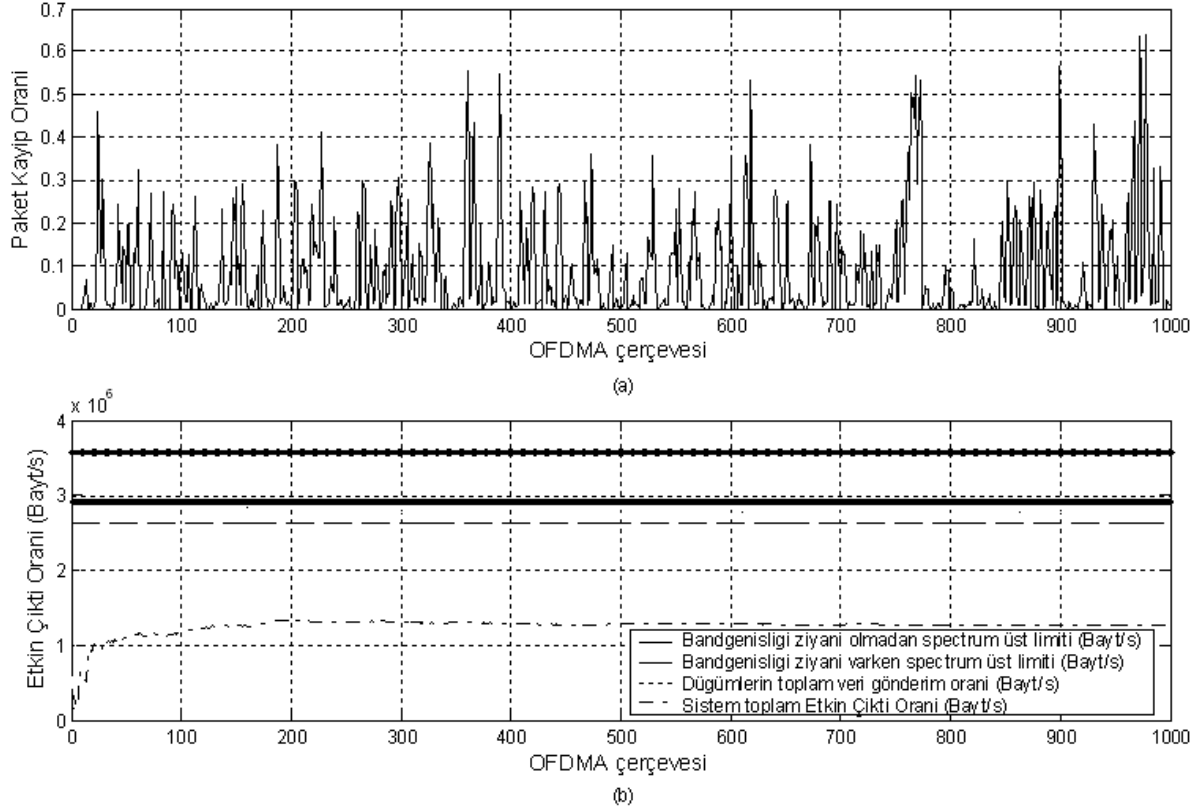
SA: Kendi gönderebileceği bir paketi olmadığında (ya da uygun bir paketi olmadığında) spektrum erişim sırasının bir an önce teslim edilmesini ve çerçeve süresinin en etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktan sorumludur.



**Şekil 2:**  
Her bir düğüm tarafından kullanılan yeni metotların algoritması.

### 3.1 Etkin Çıktı Oranı Artırımı Simülasyonu sonuçları

Sistem simülasyonu, her bir bilişsel yöntemin aktif hale getirilmesi ya da getirilmemesi durumları için ayrı ayrı gerçekleştirilerek; bu yeni metotlarla; spektrum etkin kullanımı, veri paketi kayıp oranı ve etkin çıktı oranı üzerinde sağlanan iyileştirmeler gösterilmiştir.



**Şekil 3:**

*Yalın (hiçbir yeni algoritma kullanılmazken) ağın OFDMA çerçeve sayısına karşın ,  
(a) tüm ağın son periyottaki ortalama paket kaybı,  
(b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı.*

Sistemde kullanılan parametre değerleri, standartlara uygun olarak, Preveze ve Şafak (2010a, 2010b, 2010c, 2011)'ın yapmış oldukları çalışmadaki gibi Koruma Bandı (GR) = 1/8, Örnekleme Koruma Bandı (TSG) = 11.4  $\mu$ s, Çerçeve Boyutu (FL) = 5 ms, Frekans Boşluğu (FS) = 10.94 MHz, Çerçeve Başına Veri Sembol Sayısı (DSPF) = 44, Bant genişliği (B) = 10 MHz, Örnekleme Periyodu (TS) = 1/FS = 91.4  $\mu$ s, Toplam Sembol Süresi (TST) = 102.8  $\mu$ s, Kullanılan Toplam Frekans (FT) = 1/TST = 9.718 kHz, Örnekleme Faktörü (OSF) = 8/7, İleri Yönlü Düzeltme oranı (FEC) = 3/4, Alt kanal Kapasitesi (SCC) = 0.95 Mbps, Alt kanal Sayısı (NOS) = 30, Alt taşıyıcı Sayısı (FFT) = 1024 şeklinde alınmıştır (Gray, 2006) (Kumar, 2008). Paket boyutları ise Preveze ve Şafak (2010a, 2010b, 2011)'ın belirttiği şekilde; ses için 10 Bayt, video için 594 Byte ve veri için 198 Byte olarak alınmıştır.

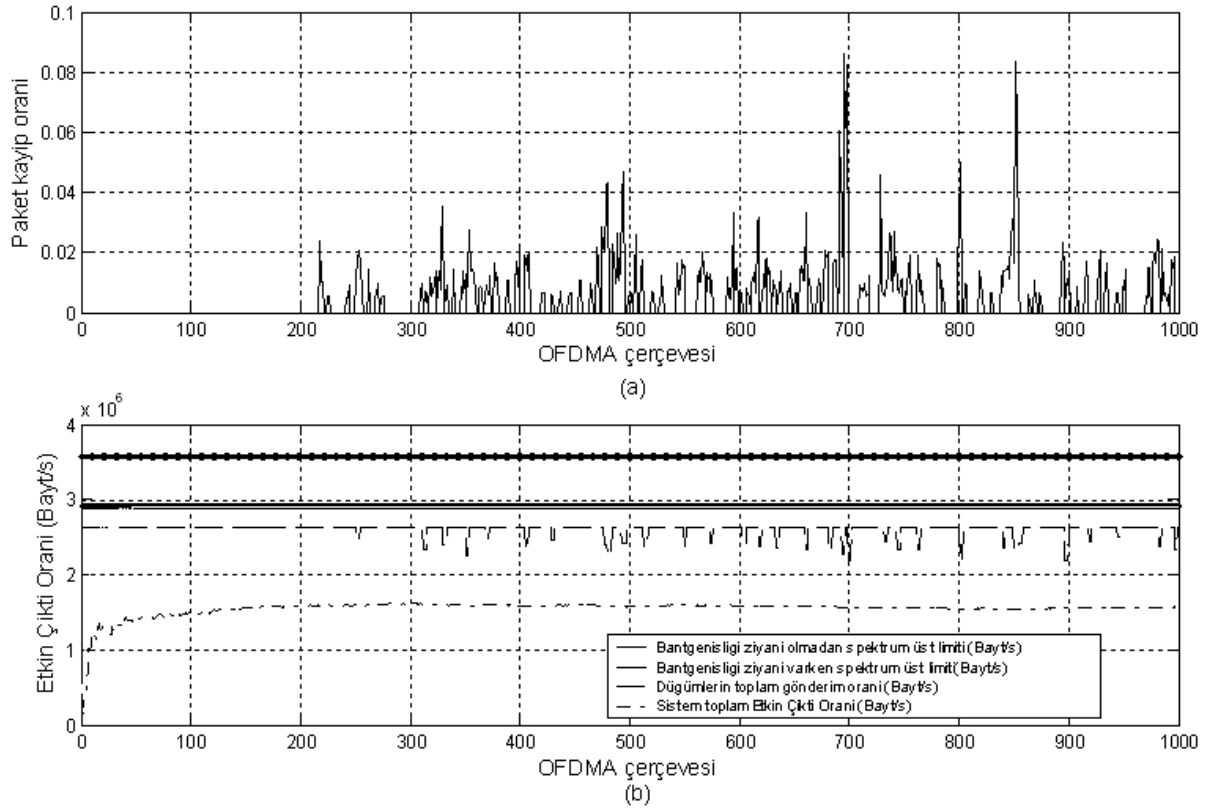
Önerilmiş olan her bir metot için, o metodun sisteme dâhil edilmediği durumda, tüm metodların aynı anda uygulandığı duruma göre sistem başarımındaki düşüş gözlenerek, o metodun sisteme katkısı belirlenmiştir. 6 Dügüm (N=6) için, tüm simülasyonlardan elde edilmiş başarıyla gönderilen ve kayıp olan paket sayıları, etkin spektrum kullanım oranı ve etkin çıktı oranına dair sayısal değerler Tablo 1 ve Tablo 2' de verilmiştir. N=6 için, hiçbir yeni metodun uygulanmadığı durumda yalın sistem için elde edilen simülasyon çıktısı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Bu durumda sistem mevcut OFDMA sistemi gibi çalışmaktadır. Önerilen yeni metodların uygulandığı farklı durumlarda elde edilen simülasyon çıktıları ise Şekil 4 - Şekil 6 arasında verilmiştir. Eğer daha büyük arabellek boyutu kullanılacak olsaydı paket kayıp oranının düşmesi ve dolayısıyla etkin çıktı oranının artması beklenirdi. Şekil 4'te, büyük arabellek kullanımı ile en uygun arabellek

boyutu kullanımına göre daha düşük paket kayıp oranı elde edildiği görülmektedir. Ancak Şekil 4b ve Tablo 2’de verilen simülasyon sonuçlarından, sistem etkin çıktı oranının, yaklaşık 2 kat büyük arabellek kullanımına rağmen yükselmediği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, büyük arabellek kullanımıyla, ara belleklere belli bir noktadan sonra daha fazla paketin depolanarak paketlerin büyük arabelleklerde daha fazla beklemelerine yol açılmış olmasıdır.

**Tablo 1. Algoritmaların simülasyondan elde edilen paket gönderim değerleri**

Simülasyon Çıktı Sonuçları (N=6)	Video paket sayısı		Ses paket sayısı		Veri paket Sayısı		Paket kayıp oranı	
	Başarılı Gönderim	Kayıp	Başarılı Gönderim	Kayıp	Başarılı Gönderim	Kayıp	Video Ve Ses	Veri
Hiçbir metot kullanılmadığında	494	0	2389	0	29344	4456	0.00%	13.18%
Tüm –AR	507	0	2576	0	35953	653	0.00%	1.78%
Tüm + daha büyük arabellek ile (LB)	515	0	2532	0	36691	58	0.00%	0.16%
Tüm – BM	517	0	2582	0	33978	654	0.00%	1.89%
Tüm – SA	502	0	2575	0	31419	786	0.00%	2.44%
Tüm+Hesaplanan Arabellek boyutu ile	515	0	2544	0	37631	182	0.00%	0.48%



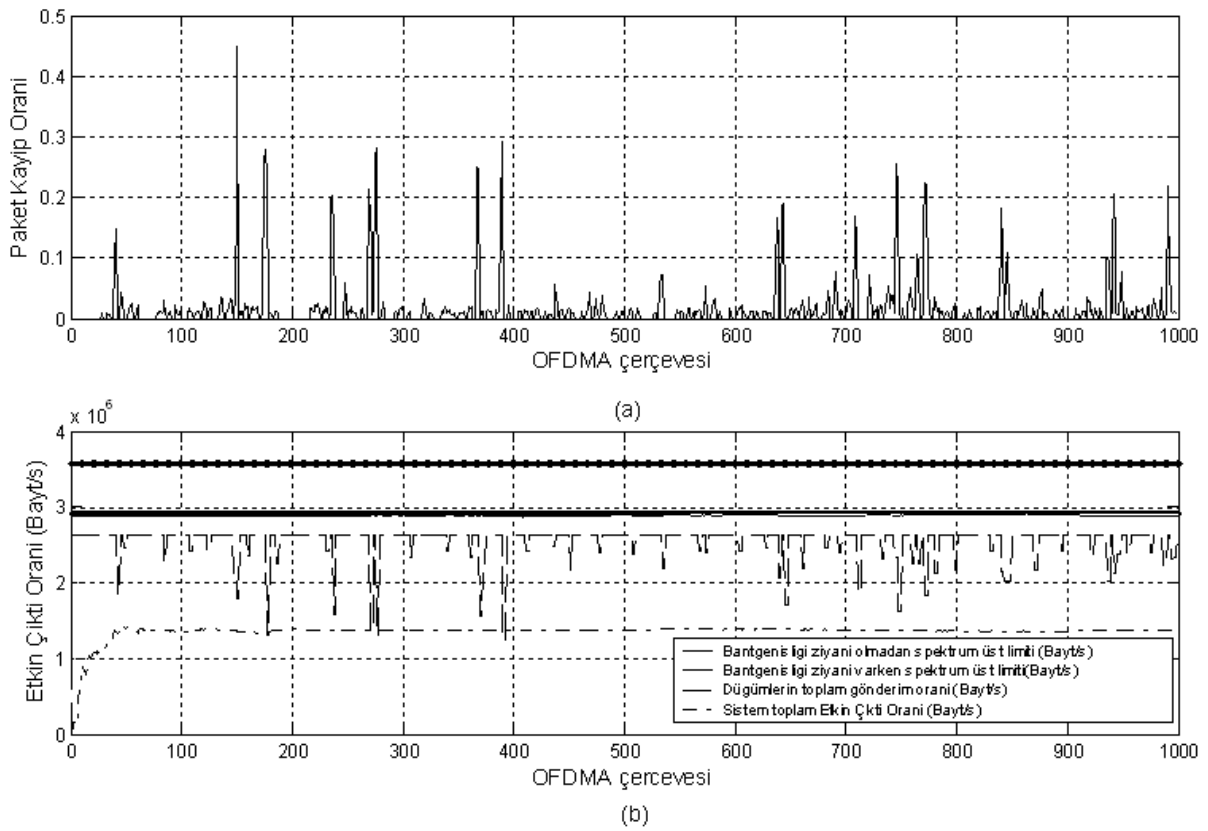
**Şekil 4:**

*Ağın daha büyük arabellek kullanımı ve tüm yeni algoritmaların etkin olduğu durumu için OFDMA çerçeve sayısına karşın, (a) tüm ağın son 3 çerçevedeki ortalama paket kaybı, (b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı.*

AR metodu aktif edildiğinde, tüm düğümlerin toplam veri iletim oranı, ağın o anki durumuna ve son periyottaki paket kayıp oranına göre güncellenerek yükseltilmekte ya da düşürülmektedir (Iannone ve Fdida, 2006). Bu değişim, AR metodunun aktif olduğu simülasyon grafiklerinden, (Şekil 4b, Şekil 5b ve Şekil 6b’de üstteki kesikli çizgilerin sırasıyla Şekil 4a, Şekil 5a ve Şekil 6a’daki paket kayıp oranlarına olan simetriklerinin gözlemlenmesiyle takip edilebilmektedir. Ağın, yalnızca SA metodunun etkin olmadığı durum için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 5’te, hesaplanan arabellek kullanımı ve tüm yeni metotların etkin olduğu durumu için elde edilen sonuçlar ise Şekil 6’da verilmiştir.

**Tablo 2. Algoritmaların simülasyondan elde edilen performans sonuçları**

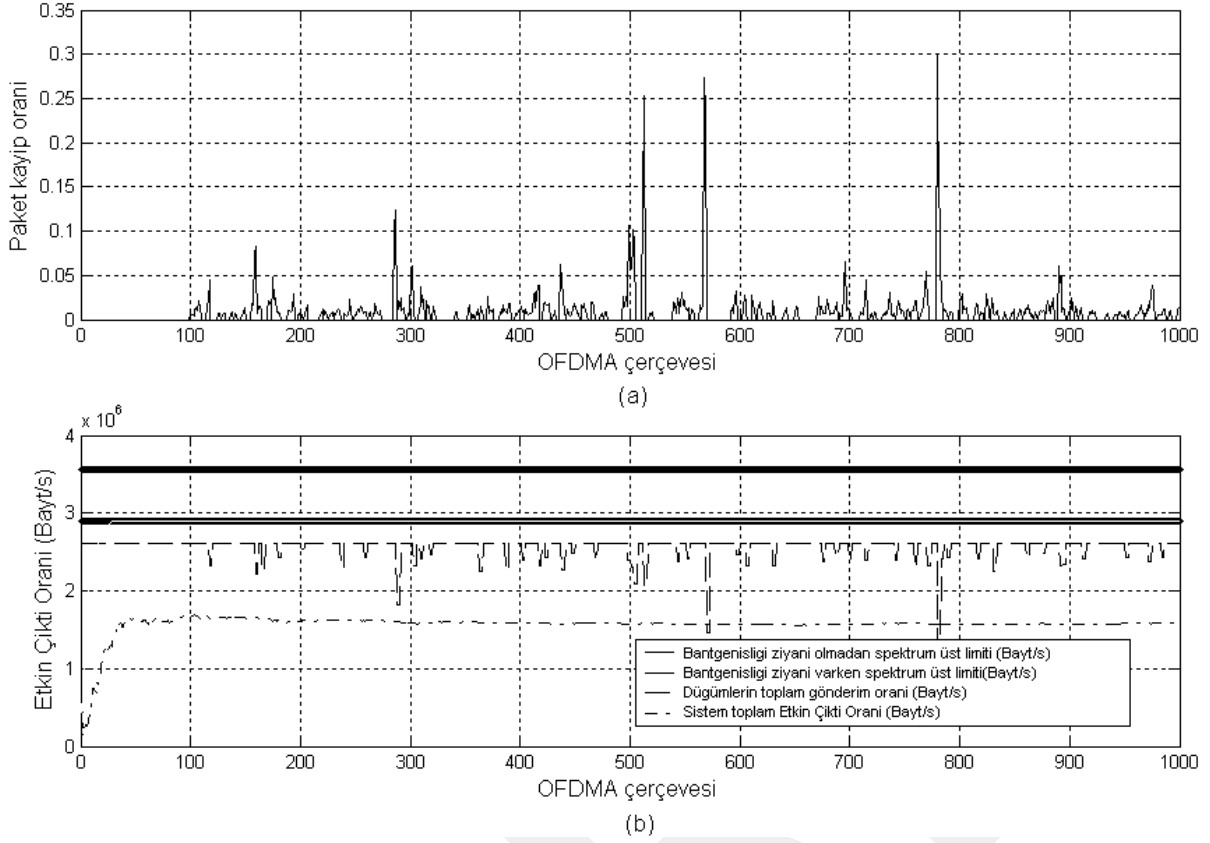
Simülasyon Çıktı Sonuçları (N=6)	Veri paketleri ortalama kayıp Oranı	2913300 Bayt/sn için Ortalama etkim spektrum kullanımı (Bayt/s)	2913300 Bayt/sn için Ortalama etkim spektrum kullanımı Oranı (Bayt/s)	Sağlanan ortalama etkin çıktı oranı (Bayt/s)	Etkin Çıktı oranı ortalama Geliştirme yüzdesi
Hiçbir metod kullanılmadığında	13.18 %	2642358	%90	1225488	%0
Tüm – AR	1.78 %	2790893	%95	1489122	%22
Tüm – SA	2.44 %	2782438	%95	1308980	%7
Tüm – BM	1.89 %	2751435	%94	1412112	%15
Tüm +daha büyük arabellek ile (LB)	0.16%	2808181	%96	1519210	%24
Tüm +Hesaplanan Arabellek boyutu ile	0.48 %	2801605	%96	1556458	%27

**Şekil 5:**

Ağın yalnızca SA algoritması etkin olmayıp diğer tüm algoritmaların etkin olduğu durumu için, OFDMA çerçeve sayısına karşın, (a) tüm ağın son 3 çerçevedeki ortalama paket kaybı, (b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı, sistem etkin çıktı oranı.

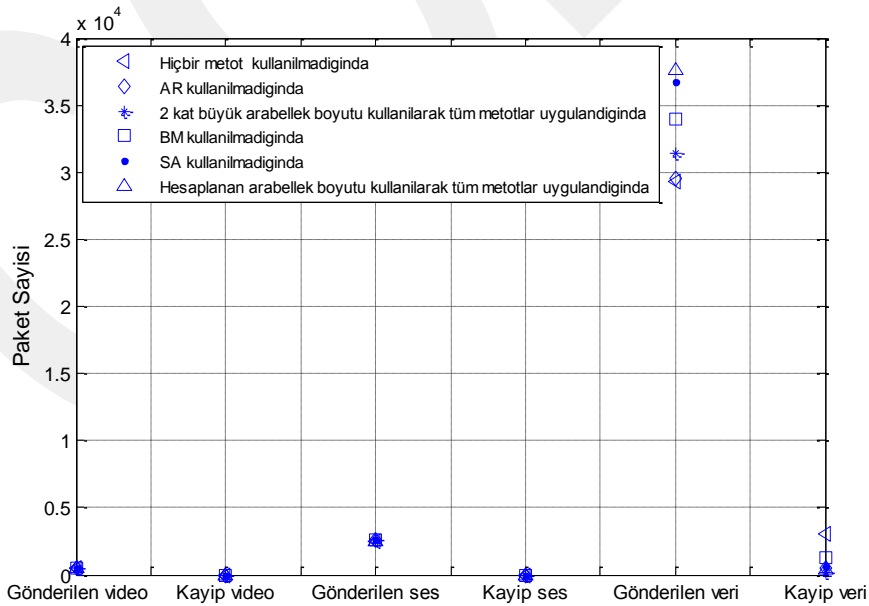
BM algoritması devreden çıkarıldığında ise, arabelleklerde daha fazla sıkışıklık oluşmasına meydan verileceğinden, daha fazla veri paketi kaybı oluşacaktır. Şekil 7'de gözlemlendiği üzere, 1000 OFDMA çerçevesi süresinde başarıyla gönderilen paket sayıları ve kayıp paket sayıları, ses ve video gibi gerçek zamanlı paketler için her durumda yaklaşık aynı değerlerde seyrederken, bu değerler gerçek zamanlı olmayan veri paketleri için kullanılan metotlara göre değişkenlik göstermektedir.

Bunun nedeni, gerçek zamanlı paketlere ayrı ayrı alt kanal ataması yapılmasıdır. Sistem toplam etkin çıktı oranını belirleyen ana faktör, Şekil 7'de her algoritma için farklılık gösterdiği görülen, veri paketi başarılı gönderim ve kayıp sayılarıdır.



**Şekil 6:**

*Ağın hesaplanan arabellek kullanımı ve tüm yeni algoritmaların etkin olduğu durumu için OFDMA çerçeve sayısına karşın, (a) tüm ağın son 3 çerçevedeki ortalama paket kaybı, (b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı*



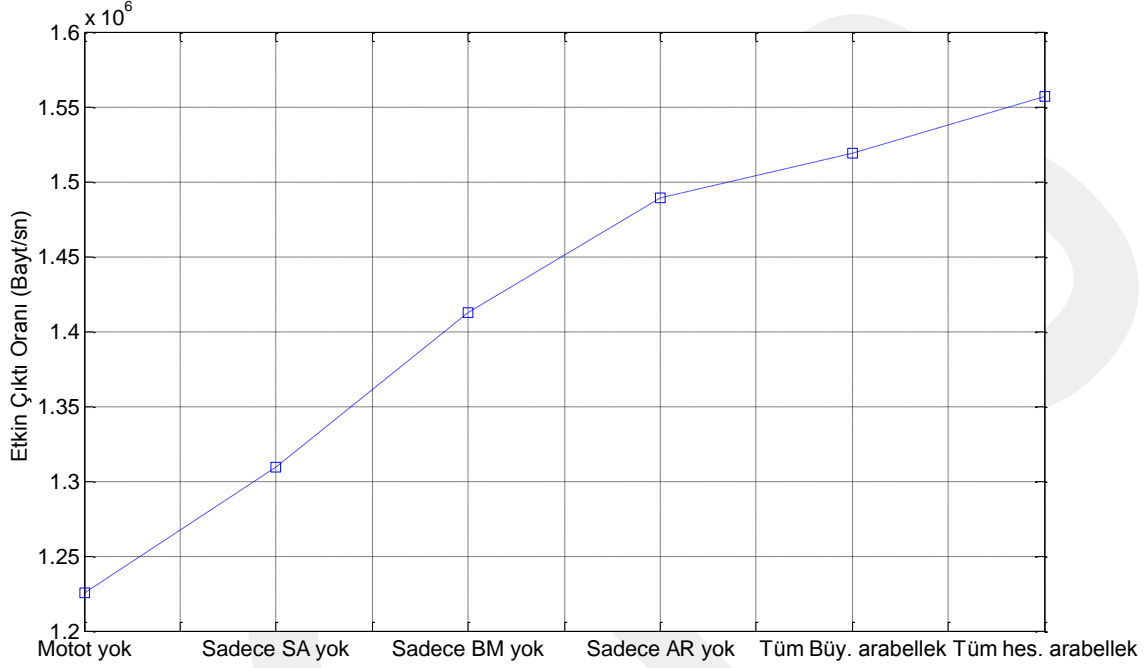
**Şekil 7:**

*Önerilen metotların ağı uygulanması ya da uygulanmaması durumlarında tüm metotlarla birlikte rotalama için "En Hızlı Yol algoritması" kullanılarak 1000 OFDMA çerçevesi boyunca başlıca şekilde gönderilen video, ses ve veri paketleri sayıları.*

Şekil 8’de, simülasyondan elde edilen etkin çıktı oranları ve etkin çıktı oranının en çok tüm metotların devreye sokulduğu durumda arttırıldığı görülmektedir.

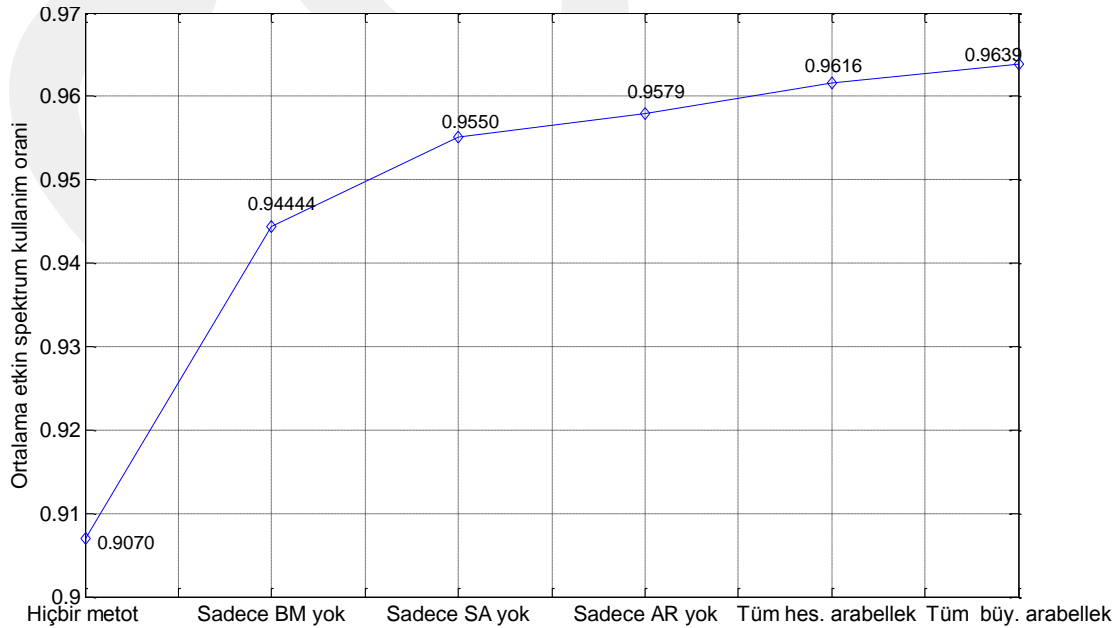
Sistem etkin çıktı oranı başarımını etkileyen en önemli kıstaslardan biri de spektrumun etkin kullanımudur. Yani kaybolacağı tahmin edilen bir paketi göndermektense onun yerine hedefine ulaşabilecek paketlerin yola çıkarılması daha akıllıca bir yöntemdir. Bu sayede paket kayıp oranı azaltılarak etkin çıktı oranında artırım sağlanabilecektir.

Bir sonraki düğüme başarılı bir şekilde iletilen paketlerin spektrum kullanım oranları Şekil 9’da verilmiştir. En büyük etkin spektrum kullanım oranı ise yine tüm metotların devrede olduğu ve hesaplanan arabellek boyutunun kullanıldığı durumda sağlanmıştır.



**Şekil 8:**

*Yeni metotların uygulanması /uygulanmaması durumlarında etkin çıktı oranında sağlanan artış miktarları.*



**Şekil 9:**

*Yeni bilişsel yöntemler ile sistemdeki etkin spektrum kullanımı.*

### 3.2 Paket Kayıp Oranlarının Teorik Analizi

MCAF kullanımı ile ağdaki toplam paket sayısının düğümlere, bekleme süreleriyle orantılı olarak dağıldığı düşünülürse, Preveze ve Şafak (2010a, 2010c, 2011)'in 6 düğüm için elde etmiş olduğu gibi toplam 264 paket için paketlerin düğümlere dağılımı;

$$\begin{aligned} \text{Düğüm}_1 &\rightarrow (12 \text{ paket}), \text{Düğüm}_2 \rightarrow (25 \text{ paket}), \text{Düğüm}_3 \rightarrow (38 \text{ paket}), \\ \text{Düğüm}_4 &\rightarrow (50 \text{ paket}), \text{Düğüm}_5 \rightarrow (64 \text{ paket}), \text{Düğüm}_6 \rightarrow (75 \text{ paket}), \\ \text{Toplam} &\rightarrow 264 \text{ paket} \end{aligned}$$

şeklinde modelleneyecektir. Burada, Düğüm<sub>1</sub> paketlerini henüz göndermiş ve en boş arabelleğe sahip olan düğüm, Düğüm<sub>N</sub> ise en dolu arabelleğe sahip şu anki gönderici olan düğümdür.

$$\begin{aligned} P_{\text{kayıp}}(n) &= \frac{\frac{\text{Düğüm}_n \text{ 'in paket dağılım oranı}}{\text{Paket dağılım toplamı}} \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{\text{Arabellek Boyutu}} \\ &= \frac{\frac{\binom{n}{N \times (N+1)}}{2} \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{\text{Arabellek Boyutu}} \quad (4) \\ &= \frac{2 \times (n) \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{\text{Arabellek Boyutu} \times N \times (N+1)} \end{aligned}$$

Paketin diğer N-1 düğümden birinde kaybolma olasılığı (4) ve (5)'te verildiği şekilde hesaplanabilecektir.

Bir paketin (4) kullanılarak n. düğümden kaybolma olasılığı hesaplandıktan sonra, paketin rota üzerindeki düğümlerden herhangi birinde kaybolma olasılığı (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Burada, paketin kayıp olasılığı; bu paketin her bir düğüme gönderilme olasılığı (1/ (N-1)) ve o düğümden kaybolma olasılıklarının çarpımlarının toplamı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} P_{\text{kaybolma}} &= \frac{1}{N-1} \times P_{\text{kayıp}}(1) + \frac{1}{N-1} \times P_{\text{kayıp}}(2) + \dots + \frac{1}{N-1} \times P_{\text{kayıp}}(N-1) \quad (5) \\ &= \frac{1}{(N-1)} \left( \sum_{n=1}^{N-1} P_{\text{kayıp}}(n) \right) \end{aligned}$$

(5) kullanılarak; N=6, ağdaki toplam paket sayısı 264 ve bu nedenle Preveze ve Şafak (2010a ve 2010c)'in belirttiği gibi arabellekteki bölme sayısı 264 olduğu durum için paketin kaybolma olasılığı,

$$\begin{aligned}
P_{kaybolma} &= \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \times P_{kayıp}(n) \\
&= \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{N-1} \times \frac{2 \times (n) \times \text{Toplam paket sayısı}}{\text{Arabellek boyutu} \times N \times (N+1)} \\
&= \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{6-1} \times \frac{2 \times (n) \times 264}{264 \times 6 \times (6+1)} \\
&= \frac{1}{5} \times \left[ \frac{1}{21} + \frac{2}{21} + \frac{3}{21} + \frac{4}{21} + \frac{5}{21} \right] \\
&= 0.142 = \% 14.2
\end{aligned} \tag{6}$$

olarak elde edilir. (5) ve (6)'da kullanılmış olan  $P_{kayıp}(n)$  değeri paketin n. düğümde kaybolma olasılığıdır ve (4)'de verildiği gibidir.  $P_{kaybolma}$  ise paketin rota üzerindeki herhangi bir düğümde kaybolma olasılığıdır. Kullanılan sistemde, ancak gönderici düğümün arabelleğindeki tüm paketlerin bir sonraki düğüm arabellekleri dolu ise paket kaybı oluşacaktır.

Önerilen BM metodu aktifleştirildiğinde paket kayıp oranı (7)'de verilen şekilde, paketin sahip olabileceği tüm "bir sonraki düğüm kombinasyonlarını seçme olasılıkları" ve "paketin burada kaybolma olasılıklarının" çarpımının toplamıyla bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
P_{kaybolma\_BM} &= \frac{\binom{N-1}{1} P_{kayıp}^1 + \binom{N-1}{2} P_{kayıp}^2 + \binom{N-1}{3} P_{kayıp}^3 + \dots + \binom{N-1}{N-1} P_{kayıp}^{N-1}}{\sum_{n=1}^{N-1} \binom{N-1}{n}} \\
&= \frac{\sum_{n=1}^{N-1} \left\{ \binom{N-1}{n} \times P_{kayıp}^n \right\}}{\sum_{n=1}^{N-1} \binom{N-1}{n}}
\end{aligned} \tag{7}$$

Bu durumda  $N = 6$  ve  $P=0.142$  için

$$\begin{aligned}
P_{kaybolma\_BM} &= \frac{\binom{5}{1} p^1 + \binom{5}{2} p^2 + \binom{5}{3} p^3 + \binom{5}{4} p^4 + \binom{5}{5} p^5}{\binom{5}{1} + \binom{5}{2} + \binom{5}{3} + \binom{5}{4} + \binom{5}{5}} \\
&= \frac{5p^1 + 10p^2 + 10p^3 + 5p^4 + p^5}{5 + 10 + 10 + 5 + 1} \\
&= 0.03 = 3.00\%
\end{aligned} \tag{8}$$

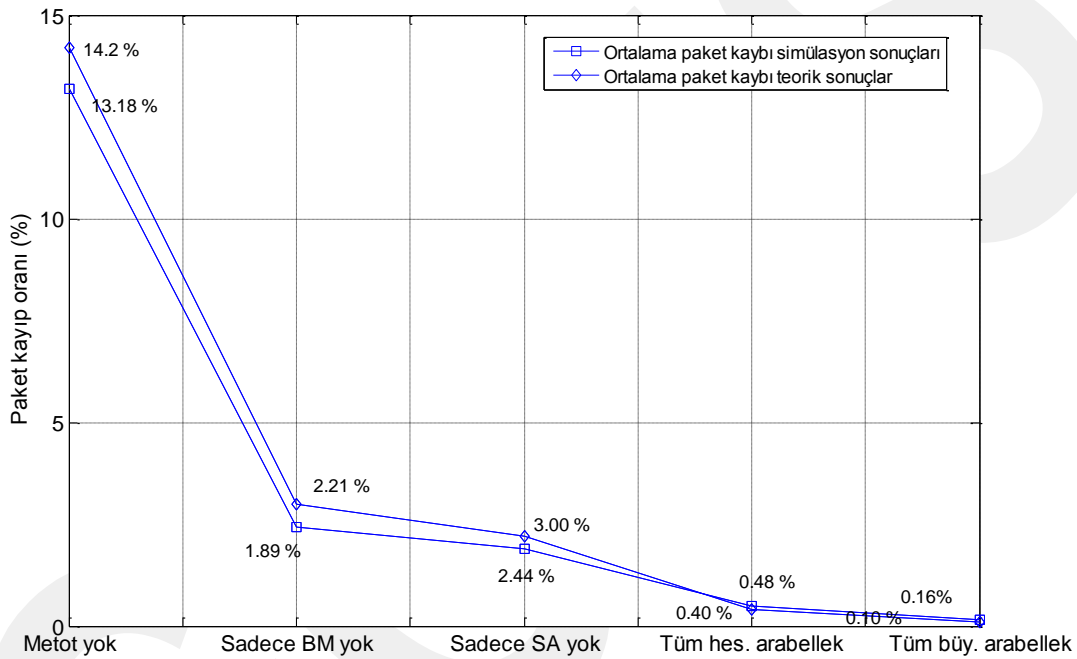
elde edilir. Bu değer, Tablo 1'de Tüm-SA için verilmiş olan, veri paketi kayıp oranı simülasyon sonuçlarına oldukça yakın bir değerdir.

SA aktifken ve BM olmadan, N-1 düğümün arabellek durumu kombinasyonları hesaba katılarak yapılan paket kaybı hesaplama sonuçları  $P_{kaybolma\_SA}$  ile verilmiştir.  $P_{kaybolma\_SA}$ , "sadece göndericinin arabelleğinin dolu olması durumunda dolu arabellekli düğüm seçme olasılığı ( $p = 0$ )", "2 düğümün arabelleğinin dolu olması ve N-2 düğümün dolu olmayan arabelleği olması durumunda dolu arabellekli düğüm seçme olasılığı", "3 düğümün arabelleğinin dolu olması ve N-3 düğümün dolu olmayan arabelleği olması durumunda dolu arabellekli düğüm seçme olasılığı" ... toplamı şeklinde (9)'da verildiği şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 P_{kaybolma\_SA} &= \left( p_{kayıp}^1 \times (1 - p_{kayıp})^{(N-1)-1} \times \frac{1}{N-1} \right) + \left( p_{kayıp}^2 \times (1 - p_{kayıp})^{(N-1)-2} \times \frac{2}{N-1} \right) + \dots \\
 &+ \left( p_{kayıp}^n \times (1 - p_{kayıp})^{(N-1)-(n)} \times \frac{n}{N-1} \right) \\
 &= \sum_{n=1}^{N-1} p_{kayıp}^n \times (1 - p_{kayıp})^{((N-1)-n)} \times \frac{n}{N-1}
 \end{aligned} \tag{9}$$

N = 6 ve  $P_{kayıp} = \%14.2$  (Bkz. (6)) için (9) kullanılarak  $P_{kaybolma\_SA} = \%2.21$  olarak elde edilir. Bu sonuç ta yine Tablo I’de karşılık gelen (Tüm-BM) veri paketi kayıp oranı simülasyon sonucuyla yaklaşık olarak aynıdır.

BM ve SA algoritmalarının ikisinin birden aynı anda devreye sokulması durumunda (7) ve (9)’un birleştirilmesiyle, (10) elde edilir. (5) – (11)’de kullanılan  $P_{kayıp}$  değeri, yine (4)’te hesaplandığı şekilde kullanılmıştır. (10)’da kullanılan  $P_{kayıp\_BM\_SA}$ ’nın hesaplanması ise (11)’de verilmiştir.



**Şekil 10:**  
Metotların teorik ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması.

$$P_{kaybolma\_TÜM} = \sum_{n=1}^{N-1} \left( \frac{\binom{N-1}{n} \times (P_{kayıp\_BM\_SA})^n}{\sum_{r=1}^{N-1} \binom{N-1}{r}} \times (1 - P_{kayıp\_BM\_SA})^{((N-1)-n)} \times \frac{n}{N-1} \right) \tag{10}$$

$$P_{P_{kayıp\_BM\_SA}} = \frac{\left( \sum_{n=1}^N P_{kayıp}(n) \right) - \frac{2 \times (N-1) \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{N \times (N+1)}}{(N-1)} \tag{11}$$

Preveze ve Şafak (2010a, 2010c, 2011)’in hesapladığı arabellek boyutuna göre N = 6 ve 264 arabellek bölmesi için (10)’dan  $P_{kaybolma\_TÜM} = \%0.40$  olarak bulunur 500 bölmeli daha büyük arabellek boyutu kullanıldığında ise  $\%0.10$  paket kaybı teorik sonucuna ulaşılır. Bu sonuçlar da yine Tablo I’de karşılık gelen veri paketi kayıp oranı simülasyon sonuçları için, sırasıyla  $\%0.48$  ve  $\%0.16$  değerleriyle örtüşür niteliktedir. Paket kayıp oranlarının farklı metotların kullanılması durumlarında teorik hesaplama ve simülasyon sonuçlarının kıyaslanması Şekil 10’da verilmiştir.

Her bir metodun sistemden çıkarılması durumunda simülasyon sonuçlarından elde edilmiş olan kayıp oranları, bu durumlarda oluşabilecek paket kayıp oranlarının teorik hesaplanma sonuçları ile kıyaslanarak doğrulanmıştır. Şekil 10'den görüldüğü gibi, bu hesaplardan elde edilen sonuçlar, simülasyondan elde edilen ve Tablo 1'de verilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir (Preveze ve Şafak, 2010a ve 2011).

### 3.3 Etkin Çıktı Oranı Artırım Teorik Analizi

Sistemde veri gönderimlerinin yapılması esnasında, bir alt kanalın kapasitesi veri paketinin tam katı değil ise, son paket kanala sığmayacak ve kullanılmayan bu bant genişliği ziyan olacaktır. Bu nedenle sistemde kullanılan video ve veri paket boyutları, tam katları alt kanala tam sığacak şekilde ayarlanarak bu veri tiplerinin oluşturacağı bant genişliği zıyanının önüne geçilmiştir. Ancak ses paketleri için Kumar (2008)'in belirttiği gibi tipik olarak küçük paket boyutları kullanıldığından ses paketleri tarafından tam doldurulamayan alt kanallar nedeniyle bir bant genişliği zıyanı oluşacaktır.

Paket iletimi esnasında, diğer düğümlerden gelip ara bellekte beklemekte olan başka ses paketleri de diğer ses paketleri ile aynı alt kanaldan gönderilebilirler. Ancak alt kanalda yinede boş kısım kalırsa, kullanılmayan bu kısım ziyan olacaktır. N düğümlü bir ağda maksimum sekme sayısı teorik olarak N-1 adet olabileceğinden, her bir çerçevede tüm düğümler tarafından toplam N yeni üretilmiş ses paketi ile son N-1 çerçevede N düğüm tarafından üretilmiş 1'er ses paketi toplam  $N + (N-1) \times N$  ses paketi gönderilecektir.

Kullanılan standartlar ve aynı parametre değerleri için elde edilen maksimum spektrum kullanımı 28.512 Mbps olarak bulunmuştur (Gray, 2006) (Preveze ve Şafak, 2010a ve 2010c). Sistemde her bir çerçevede her düğümün ses paketleri için ayrı bir alt kanal atanacak ve her bir çerçevede maksimum  $N + (N-1) \times N$  ses paketi gönderilecektir. Bu, her çerçevede düğümler tarafından ( $N \times \text{SCDRFWF}$ )-(VCPS  $\times N + (N-1) \times N$  Ses paketi) Bayt kullanılmadan ziyan olacak anlamına gelmektedir. Ses paketleri tarafından saniyede ziyan edilecek bant genişliği (WVCPIS) ;

$$WVCPIS = (N \times \text{SCDRFWF}) - (\text{VCPS} \times (N + (N-1) \times N)) \times \frac{1}{FL} \quad (12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada SCDFWF, ileri yönlü düzeltme (FEC) kullanımı ile çerçeve başına alt kanal veri oranını, VCPS ise ses paketi boyutunu ifade etmektedir. Video paket boyutu, maksimum kaliteyi sağlayan SCDFWF değerine eşit seçildiğinde video paketleri tarafından bant genişliği zıyanı olmayacaktır (Preveze ve Şafak, 2010a, 2010b, 2011). Sonuçta verilen parametre değerleri ve içinde bulunulan şartlar için mümkün olan maksimum başarılı bant genişliği kullanımı (MPSBU), (13)'deki gibi mümkün olan maksimum bant genişliği kullanımından (MSU), ses paketi toplam bant genişliği zıyanının (WVCPIS) çıkarılmasıyla elde edilecektir.

$$MPSBU = MSU - WVCPIS \quad (13)$$

Simülasyon esnasında farklı N değerleri ve farklı sistem şartları için parametre değerleri otomatik olarak ve daima yeniden hesaplanmaktadır.

Sistemin, OFDMA kullanıldığı ve önerilen MCAF metotları kullanıldığı durumlarda sağladığı paket kaybı oranlarının teorik hesaplamaları sırasıyla (14) ve (15)'te verilmiştir.

$$P_{OFDMA_{ort}} = \frac{\text{Toplam paket sayısı}}{N \times \text{Arabellek Boyutu}} \quad (14)$$

$$P_{MCAF_{ort}} = \frac{\left( \sum_{n=1}^{N-1} (n) \times \frac{2 \times \text{Toplam Paket sayısı}}{N \times (N+1)} \right)}{(N-1) \times \text{Arabellek Boyutu}} \quad (15)$$

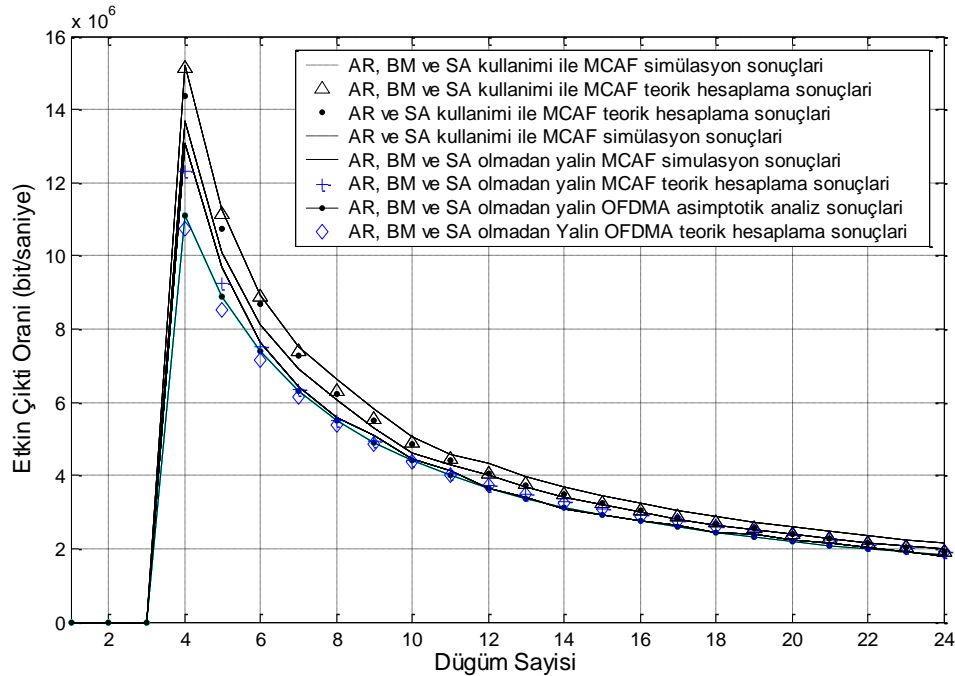
$$THR_{Band\_genişliği\_ziyanı\_ile}(N) = \frac{\frac{AHC}{AHC_N} \times \left[ \frac{N}{N_{sim}} \times (SVD P_{N_{sim}} \times VDPS + SVCP_{N_{sim}} \times VCPS) + (SDTP_{N_{sim}} + LDTP_{N_{sim}}) \right]}{Süre_{sim}(sn.)} \times \frac{NOS - N - N \times VPSR}{NOS - N_{sim} - N_{sim} \times VPSR} \times (1 - P_{ort}(N)) \times DTPS \quad (16)$$

(16)'da kullanılan  $P_{ort}$  değeri için, hesaplamanın  $THR_{OFDMA}$  yada  $THR_{MCAF}$  etkin çıktı oranlarından hangisi için yapıldığına göre, sırasıyla (14) ya da (15) kullanılır.

(16)'da  $(S/L)(VD/VC/DT)/P_{N_{sim}}$ , (Gönderilen/Kaybolan) (Video/Ses/Veri) Paket sayıları ifadelerinin kısaltması olarak kullanılmıştır. Teorik hesaplamaların sonucunda elde edilen etkin çıktı oranı değerleri, elde edilen simülasyon sonuçlarıyla kıyaslamalı olarak Şekil 11'deki grafikte gösterilmiştir.

$$THR = AHC \times 8 \times \left[ 200 \times N \times (SCC - VCPS \times (N - 1)) + THR_{MCAF_{Band\ genişliği\ ziyanı\ ile}}(N) \right] \quad (17)$$

Sistemimizde 30 alt kanal kullanılmaktadır ( $NOS=30$ ) ve video, ses, veri paketi gönderimleri için spektrumu paylaşan  $N$  adet düğüm bulunur. 5ms çerçeve süresi kullanılan sistemde video paketleri için her 200 çerçevede 50 alt kanal kullanıldığından (Video paketi gönderim oranı ( $VPSR$ ) =  $1/4$  için), her düğümün ses paketi için ayrı bir alt kanal ataması yapılarak,  $N$  adet düğümün her biri tarafından  $[NOS - (N + N/4)]/N$  adet alt kanal kullanılacaktır. Ayrıca geriye kalan alt kanal sayısı negatif olamayacağından  $N$  değeri,  $[NOS - (N + N/4)]/N \geq 0$  ve buradan,  $NOS=30$  için  $N \leq 24$  şeklinde olmak durumundadır. Çalışmada geliştirilen simülasyonda  $N$  değerinin 24'e kadar yükseltilmesinin nedeni budur. 4- 24 arasındaki bu aralıkta simülasyon sonuçları, "Hiç bir metodun aktif edilmemesi", "yalnız AR'nin aktif edilmesi", "aynı anda AR+ SA'nın aktif edilmeleri" ve "AR+BM+SA'nın aynı anda aktif edilmeleri" durumları için ayrı ayrı elde edilmiş, bu algoritmaların sistem etkin çıktı oranında sağladığı iyileştirme Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11:

"En Hızlı Yol algoritması" kullanılarak, bant genişliği ziyarı dahil edilmeden elde edilen OFDMA ve MCAF simülasyon sonuçları ile teorik sonuçların, aynı parametre değerleri kullanımıyla kaynaklardaki geleneksel sonuçlar ile kıyaslanması.

Şekil 11’de görüldüğü üzere; MCAF ile yalın (AR, SA ve BM olmadan) sistem için teorik olarak hesaplanmış olan sonuçlar, yalın MCAF kullanımı için simülasyondan elde edilen sonuçlar ile bire bir örtüşmektedir. Girici (2009) ile Song ve Li (2006)’nin yapmış oldukları çalışmaların, bu çalışmada kullanılan parametre değerleri ile uygulanmasıyla elde edilen (Bkz. Şekil 1e) ve “AR, BM, SA olmadan yalın OFDMA asimptotik analiz sonuçları” etiketiyle Şekil 11’e taşınan sonuçlar, yalın OFDMA için elde edilen teorik sonuçlar ve yalın MCAF için elde edilen teorik ve simülasyon sonuçları ile örtüşmektedir.

Sisteme SA ve BM metotlarının dahil edildiği durumlar için elde edilen teorik sonuçlar da yine karşılık gelen simülasyon sonuçlarıyla örtüşmektedir. Ayrıca MCAF’ın; AR, BM ve SA olmadan uygulanması durumunda dahi, yalnız OFDMA kullanımına kıyasla düşük düğüm sayıları için, daha yüksek etkin çıktı oranı başarımı sağladığı, BM ve SA algoritmaları uygulandığında ise etkin çıktı oranı başarımını daha da yüksek seviyelere yükselttiği gösterilmiştir.

Önerilen metotların kullanımıyla, tüm yeni bilişsel yöntemlerin uygulandığı durumda sağlanan maksimum etkin çıktı oranı, N=6 için elde edilen simülasyon sonuçlarına göre bant genişliği ziyanı dahil edildiğinde 1556458 Bayt seviyesine, dahil edilmediğinde ise 1630438 Bayt seviyesine kadar çıkarılmıştır. Elde edilen bu değerler Şekil 11’de verilen bant genişliği ziyanı devreye sokulmadan elde edilen simülasyon sonuç grafiğinden de gözlenebilir. Bu sonuç, bant genişliği ziyanı dâhil edilerek hesaplanmış olan etkin çıktı oranına geçerli N değeri için hesaplanan bant genişliği ziyanı miktarları eklenmesi ve simülasyonda o an için geçerli olan AHC ile çarpılıp sonucun bit’e çevrilmesiyle elde edilir. Bant genişliği ziyanının hesaba katılmadığı etkin çıktı oranı (18) deki gibi hesaplanmaktadır.

$$THR_{Band\_genişliği\_ziyanı\_olmadan}(bit) = \frac{((THR_{Bant\_genişliği\_ziyanı\_ile}(Byte) + ziyan\_miktarı(Byte)) \times 8 \times AHC)}{N} \quad (18)$$

Burada THR, elde edilen etkin çıktı oranını ifade etmektedir. N=6 için basit bir tutarlılık kontrolü yapılacak olursa; sistem etkin çıktı oranı Tablo II’de 1225488 Bayt olarak görülmektedir ve N=6 için En Hızlı Yol bulma algoritması kullanılarak simülasyondan elde edilen AHC =3 değeri kullanılarak, (12) ile hesaplanan ziyanı yok kabul edildiğinde, etkin çıktı oranı (19)’daki gibi hesaplanır.

$$THR_{Band\_genişliği\_ziyanı\_olmadan(6)} = \frac{(1225488 + 640800) \times 8 \times 3}{6} = 7465152 \text{ bit} \quad (19)$$

Burada 1225488 Bayt değeri Tablo II’den (hiçbir metot kullanılmadığı durum için elde edilen etkin çıktı oranı) alınmış, 640800 ise (12)’den hesaplanmıştır. Bu değer AR, BM ve SA metotları uygulanmadan elde edilen Şekil 11’deki yalın MCAF simülasyon sonuçlarından N=6 için okunan 7638500 bit değerine oldukça yakındır ve Şekil 11’den, etkin çıktı oranı hesaplama sonuçlarının, simülasyon sonuçları ile örtüştüğü gözlemlenmektedir.

#### 4. YENİ ROTALAMA ALGORİTMALARININ 802.16j AĞI ETKİN ÇIKTI ORANI ARTIRIMINA ETKİSİ

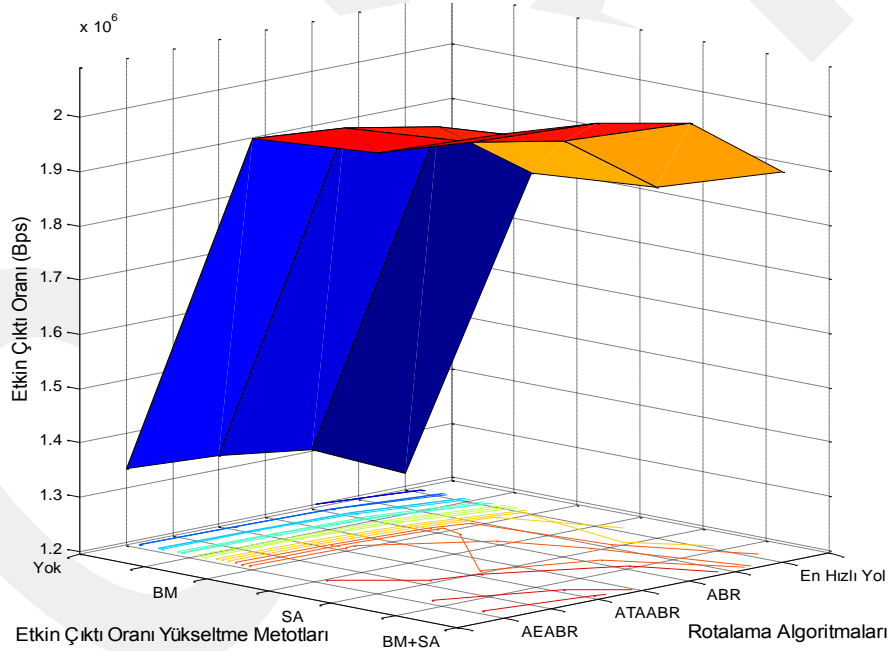
Toh (1997)’un geliştirmiş olduğu ve iyi bir erişilebilirlik tabanlı rotalama algoritması olarak bilinen ABR (Erişilebilirlik tabanlı rotalama) algoritması, Preveze ve Şafak (2009a ve 2009b)’ın geliştirmiş oldukları AEABR (ABR’nin Alternatif Geliştirimi) ve ATAABR (Erişilebilirlik Tik Ortalamalı ABR) rotalama algoritmaları ve Yi ve Wayne (2008)’nin geliştirmiş oldukları düğümler arası uzaklıklara göre çalışan “En Hızlı Yol bulma algoritması simülatör’e dâhil edilerek, kaynaktan hedefe giden değişik rotalar belirlendiğinde her bir algoritma ile elde edilen paket kaybı ve etkin çıktı oranı sonuçları Tablo III’te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Rotalama Algoritmalarının N=6 için göstermiş oldukları etkin çıktı oranı simülasyon sonuçları

Rotalama Algoritması		Elde Edilen Ortalama Simülasyon Sonuçları			
En Hızlı Yol Bulma	Sekme Sayısı	3.16			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM,SA
		1.22	1.32	1.30	1.33
ABR	Sekme Sayısı	2.12			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM, SA
		1.82	1.97	1.94	1.98
ATAABR	Sekme Sayısı	2.10			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM, SA
		1.84	1.99	1.96	2.00
AEABR	Sekme Sayısı	2.02			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM, SA
		1.91	2.07	2.03	2.08

Tablo 3 ve Şekil 12’de verilen simülasyon ortalama sonuçlarına göre, “ABR” kullanıldığında; Karınca Kolonisinden daha iyi etkin çıktı oranı sonuçları verdiği Preveze ve Şafak (2010b) tarafından gösterilmiş olan En Hızlı Yol Bulma algoritmasından da iyi etkin çıktı oranı sonuçları vermiştir.

Bu çalışmada 25-40 km/h hız aralığındaki hareketli düğümler için tüm rotalama algoritmalarının simülasyonlarının gerçekleştirilerek sisteme uygulanmasıyla, etkin çıktı oranının en çok, önerilen “AEABR” algoritması ile artırıldığı, daha sonra en iyi sonuçların ise yine yeni önerilen “ATAABR” algoritması ile elde edildiği saptanmıştır.

**Şekil 12:**

*Önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotlarının, farklı rotalama algoritmaları ile birlikte kullanımıyla elde edilen sistem etkin çıktı oranları.*

Şekil 12’de, yeni geliştirilmiş olan erişilebilirlik tabanlı uzun ömürlü rotalama algoritmaları AEABR ve ATAABR’nin Preveze ve Şafak (2010d)’in gösterdiği gibi ABR’den daha uzun ömürlü ve daha az kopukluk oluşturan rotalar sağlamanın yanı sıra, sistem etkin çıktı oranının geliştirilmesinde de önemli rol oynadığı gösterilmiştir. Kıyaslama sonuçlarından gözlenmiştir ki; rota ömrü, sekme sayısı, gecikme miktarı ve etkin çıktı oranı yönünden en iyi başarımlı sonuçları, önerilen AEABR algoritması ile elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, simülasyon programları geliştirilmiş, IEEE 802.16j ağlarında etkin çıktı oranının artırımı için önerilen yeni bilişsel metotlar ile, düğümlerde çevreyi gözlemleme, Adaptif Veri üretimi (AR), spektrum erişimi, veri aktarımı, rotalama, Arabellek Yönetimi (BM) ve Spektrumsal Yardımlaşma (SA) verilen akış şemasına göre gerçekleştirilerek, farklı paket tipleri içeren IEEE 802.16j ağındaki sıkışıklıklar giderilmiş ve paket kayıpları azaltılmıştır. Önerilen metotlardan; MCAF ile, düğümlerden hangisinin arabelleğinin en dolu olduğu ve hangi düğümün paketlerini kaybetmemek için arabelleğini bir an önce boşaltması gerektiği saptanarak, o çerçeve süresi boyunca spektrum erişim hakkı en dolu ara belleğe sahip olan düğüme atanmıştır. AR ile, arabellek doluluk durumuna ve paket kayıp oranına göre paket üretim ve gönderim oranı ayarlanmakla, BM ile düğümlerin arabelleklerinde bulunan paketlerin organizasyonları sağlanarak bu paketlerden, öncelikle, arabelleği sıkışıklık yaşamayan ve paket alımına müsait olan düğümlere ait paketlerin gönderimi yapılmaktadır. SA ise, bir düğümün gönderebileceği uygun bir paketi olmadığında spektrum erişim sırasının bir an önce teslim edilmesini ve çerçeve süresinin en etkin şekilde kullanılmasını sağlamakla yükümlüdür. Bu metotların uygulanmasıyla, mevcut IEEE 802.16j ağında, paket kayıp oranının düşürüldüğü ve etkin çıktı oranının %36'ya varan oranlarda artırıldığı gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen paket kaybı ve etkin çıktı oranı simülasyon sonuçları, teorik olarak elde edilen sonuçlarla tamamen örtüşür niteliktedir. Ayrıca, önerilen yeni metotların etkin olmadığı durumdaki yalın sistem için elde edilen teorik sonuçlar ve simülasyon sonuçları da, literatürde elde edilmiş olan sonuçlarla örtüşmektedir.

Çalışmada son olarak, önerilmiş olan AEABR ve ATAABR uzun ömürlü rotalama algoritmalarının simülasyonları gerçekleştirilerek, etkin çıktı oranı yükseltimi için önerilen metotlar üzerinde sağladıkları etkiler, ABR ve En Hızlı Yol Bulma algoritması gibi bilinen diğer rotalama algoritmalarının etkileri ile aynı şartlar altında kıyaslanmıştır.

Önerilen yeni rotalama algoritmalarının, etkin çıktı oranının yükseltimi için önerilen, MCAF, SA ve BM metotları ile birlikte kullanıldıklarında, etkin çıktı oranında; ABR ve En Hızlı Yol Bulma rotalama algoritmalarına göre çok daha fazla artırım sağladığı gösterilmiştir.

İleriki çalışmalarda, hareket halindeki düğümlerin arabelleklerinde sahip oldukları paketlerden, hedefine daha az sekme sayısı ile ulaşabilecek olanların gönderimlerine öncelik verilmesiyle, birim zamanda daha çok paketi hedefine ulaştırarak, daha yüksek etkin çıktı oranı sağlanması üzerine çalışılabilir.

Öte yandan, bu metotlara eklenecek yeni bilişsel özelliklerle, herhangi bir anda paket alımı ya da gönderimi yapmayan boştaki düğümlerin, bu süreçlerini etkin bir şekilde kullanmak amacıyla düğümler arası ekstra bir yardımlaşma ve işbirliği önerilip, bu işbirliğinin etkin çıktı oranı ve güç tüketimine etkileri incelenebilir.

Sistemde düğümlere spektrum kullanım hakkı atanırken, düğümlerin sadece arabellek doluluk durumlarına değil, aynı zamanda pozisyonlarına, güç seviyelerine ya da hızlarına da bakılarak, metotların bu yeni durumlarda verdiği sonuçlar incelenebilir. MCAF metodu geliştirilerek, bir düğümün arabelleğinde az miktarda ancak önemli ya da daha acil veri paketleri bulunması durumunda, bu düğümün, spektrum kullanımını alabilmesi için, arabelleğinin dolarak en sıkışık düğüm durumuna gelmesini beklemek yerine, özel durumu nedeniyle sıkışık olmadığı halde spektrum kullanım hakkını alabilmesi sağlanabilir. Ancak bu durumda acil paketlerinden dolayı spektrum kullanımını alan bu düğümün, belli bir eşik seviyesinin altında acilliği olan paketleri de göndermesinin önüne geçilmelidir.

Ayrıca tüm bu iyileştirmelerin öncesinde ve sonrasında, düğümlerin daha yüksek hız aralıklarında hareket ettirilmesi durumunda, geliştirilen etkin çıktı oranı yükseltim metotlarının ve Rotalama algoritmalarının birlikte kullanımıyla elde edilecek olan sonuçlar incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. Girici, T., (2009) Asymptotic throughput analysis of multicast transmission schemes, *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 63(10), 901-905.
2. Gowrishankar, S., Basavaraju, T. G. and Sarkar, S.K., (2007) Effect of random mobility models pattern in mobile ad hoc networks, *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(6), 160-164.

3. Gray, D., (2006) Mobile WIMAX-part I: A technical overview and performance evaluation, WIMAX Forum. Link : [http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile\\_WiMAX\\_Part1\\_Overview\\_and\\_Performance.pdf](http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf)
4. Iannone, L. and Fdida, S., (2006) Can multi\_rate radios reduce end to end delay in mesh network? A simulation case study, *International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, ACM, Florence, 15-22.
5. KUMAR, A., (2008) *Mobile broadcasting with WIMAX*, Elsevier Inc., USA.
6. Mach, P. and Bestak, R., (2008) WiMAX throughput evaluation of conventional relaying, *Telecommunication Systems Journal*, 38(1-2), 11-17.
7. Mitola III, J., (2000) Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio, Ph.D. Thesis, *KTH Royal Institute of Technology*, Kista, Sweden, 304p.
8. Preveze, B. and Şafak, A., (2009a) Alternative enhancement of associativity based routing (AEABR) for mobile networks, *ICST Conference on Mobile Networks and Management*, Springer, Athens, 67-77.
9. Preveze, B. and Şafak, A., (2009b) Associativity tick averaged associativity based routing (ATAABR) for real time mobile networks, *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, IEEE, Bursa, p.II-208- II-212.
10. Preveze, B. and Şafak, A., (2010a) Throughput improvement of mobile multi-hop wireless networks, *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 2(3), 120-140.
11. Preveze, B. and Şafak, A., (2010b) Effects of ant colony and fastest path routing algorithms on performance improvement of novel cognitive methods, *International Conference on Wireless and Mobile Communications*, IEEE, Valencia, 478-483.
12. Preveze, B. and Şafak, A., (2010c) Throughput maximization of different signal shapes working on 802.16e mobile multi-hop network using novel cognitive methods, *International Conference on Wireless and Mobile Networks*, Springer, Ankara, 71-86.
13. Preveze, B. and Şafak, A., (2010d) Comparative analysis of novel long life routing methods in mobile networks, *International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, IEEE, İstanbul, 1596-1602.
14. Preveze, B. and Safak, A., (2011) Effects of routing algorithms on novel throughput improvement of mobile ad-hoc networks, *Turkish Journal of Electronics and Computer Science*, (Accepted on 11<sup>th</sup> of January 2011).
15. Song, G. and Li, Y., (2006) Asymptotic throughput analysis for channel-aware scheduling, *IEEE Trans. Commun.*, 54(10), 1827-1834.
16. Toh, C., (1997) Associativity based routing for ad hoc mobile networks, *Wireless Personal Communications*, 4(2), 103-139.
17. Yi, X. and Wanye, W., (2008) Finding the fastest path in wireless networks, *International Conference on Communications*, IEEE, Beijing, China, 3188-3192.

Makale 11.04.2011 tarihinde alınmış, 23.04.2011 tarihinde düzeltilmiş, 28.04.2011 tarihinde kabul edilmiştir.  
İletişim Yazarı: B.Preveze (b.preveze@cankaya.edu.tr).

