

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇOKLU ORTAM İLETİŞİMİNDE BİLİŞSEL YÖNTEMLER

BARBAROS PREVEZE

DOKTORA TEZİ

2011

ÇOKLU ORTAM İLETİŞİMİNDE BİLİŞSEL YÖNTEMLER

**COGNITIVE METHODS IN MULTIMEDIA
COMMUNICATIONS**

BARBAROS PREVEZE

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.
2011

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İsmail Avcıbaş

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Aysel Şafak

Üye : Doç. Dr. Murat Erten

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan

Üye : Yrd. Doç. Dr. Umut Sezen

ONAY

Bu tez 28.02.2011 tarihinde, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../03/2011

Prof. Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŞEKKÜR

Yazar, karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için tez danışmanı Sayın Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞAFAK'a ve tez çalışmasının sonuca ulaştırılmasında emeği geçen herkese teşekkür eder.

ÖZ

ÇOKLU ORTAM İLETİŞİMİNDE BİLİŞSEL YÖNTEMLER

Barbaros PREVEZE

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada; çoklu ortam verileri içeren kablosuz, gezgin ağlarda bilişsel yöntemler kullanılarak sistemdeki rota ömrü, bağlantı kesinti miktarı, ortalama sekme sayısı, paket kaybı gibi performans parametrelerinin iyileştirilmesiyle IEEE 802.16j ağ yapısının etkin çıktı oranının artırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen simülasyonlar ile, ilk olarak temel anahtarlama algoritmaları kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda, AEABR (Erişebilirlik Tabanlı Rotalama Alternatif Geliştirimi) ve ATAABR (Erişilebilirlik tik ortalamalı Erişebilirlik Tabanlı Rotalama) isimli yeni uzun ömürlü rotalama algoritmaları önerilmiştir. Kablosuz ağlarda kullanılmakta olan mevcut anahtar seçim ve rotalama algoritmaları, önerilmiş olan yeni rotalama algoritmaları ile tamamen aynı şartlar altında kıyaslamaya alınarak rota ömrü ve bağlantı kesintisi bakımından sağlanan iyileştirmeler gösterilmiştir. Diğer bir yandan, 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 sağlandığı gösterilmiştir. Önerilen bu etkin çıktı oranı artırımı metotlarının, yeni geliştirilen AEABR ve ATAABR rotalama algoritmalarıyla birlikte uygulanmasıyla, sağlanan etkin çıktı oranının diğer rotalama algoritmalarına göre, farklı düğüm sayıları ve araç hızları için, daha da fazla arttırıldığı gösterilmiştir. Önerilen yeni metotlar, dağınık ağ yapılarının, gezgin düğümler tarafından, anlık plansız sinyalleşme ile yönetimine dayanarak çalışmaktadır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Bilişsel ağlar, 802.16j, rotalama, etkin çıktı oranı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞAFAK, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

COGNITIVE METHODS IN MULTIMEDIA COMMUNICATIONS

Barbaros PREVEZE

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Electrical and Electronics Engineering

In this thesis; it is aimed to improve the multimedia throughput of IEEE 802.16j network 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, first the base relaying strategies are compared by simulations and the evaluated results are used to develop the novel proposed AEABR (Alternative Enhancement of Associativity Based Routing) and ATAABR (Associativity Tick Averaged Associativity Based Routing) routing algorithms which are the extensions of ABR (ABR Associativity Based Routing) algorithm. It is shown that the proposed routing algorithms provide longer route life and less number of disconnected time than ABR and the relaying strategies. On the other hand, 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 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 that, more throughput improvement is provided when the proposed MCAF, BM and SA methods are used together with AEABR and ATAABR algorithms even for different vehicular velocities and different number of nodes. The novel proposed methods work with an ad-hoc signaling channel that can be sustained by the mobile nodes for distributed network management.

Key words: Cognitive Networks, 802.16j, routing, throughput

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Aysel ŞAFAK, Başkent University, Electrical and Electronics Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
1 GİRİŞ.....	1
2 BİLİŞSEL AĞLAR.....	5
2.1 Bilişsel Ağların Özellikleri	5
2.2 Kablosuz İletişim Sistemlerinde İşbirlikçi Davranış	6
2.2.1 İşbirlikçi davranışın sınıflandırılması	7
2.3 Kablosuz Ağlarda İşbirlikçi Davranış, Rekabet ve Bilişsellik.....	8
2.4 İşbirlikçi Radyo	8
2.5 Topoloji Kontrolü.....	10
2.5.1 Bilişsel radyolarda kanal seçimi açısından topoloji	11
2.5.2 Bilişsel radyolarda topoloji güç kontrolü.....	11
2.5.3 Bilişsel radyolarda bilişsel işlem açısından topoloji.....	12
2.5.4 Bilişsel radyolarda güç stratejisi açısından topoloji.....	12
3 SERVİS KALİTESİ	13
3.1 IEEE 802.16 Sisteminde Etkin Çıktı Oranı Başarımı	13
3.1.1 Fiziksel katman.....	14
3.1.2 Etkin çıktı oranlarının saptanması.....	18
3.1.2.1 <u>Saniyedeki sembol sayısı</u>	18
3.1.2.2 <u>İndirme ve yükleme alt taşıyıcıları</u>	19
3.1.2.3 <u>Baud başına bit sayısı</u>	20
3.1.2.4 <u>Sürelerin hesaplanması</u>	20

3.1.3	WIMAX sisteminde etkin çıktı oranı başarıımı	21
3.1.3.1	<u>Alt kanal sayısının farklı kod oranları için etkin çıktı oranına etkisi</u>	21
3.1.3.2	<u>QAM seviye sayısının etkin çıktı oranına etkisi</u>	22
3.2	IEEE 802.16 Üzerinden Ses İletiminde Gecikme Faktörlerinin Analizi	23
3.2.1	Gecikme faktörleri.....	24
3.2.1.1	<u>Ön bakış gecikmesi</u>	26
3.2.1.2	<u>Kod çözme ve sıkıştırma gecikmesi</u>	26
3.2.1.3	<u>Paketleme gecikmesi</u>	26
3.2.1.4	<u>Serileme gecikmesi (SD)</u>	27
3.2.1.5	<u>Anahtarlama gecikmesi</u>	27
3.2.1.6	<u>Yayılm gecikmesi (PD)</u>	27
3.2.1.7	<u>Veri kuyruk gecikmesi (DQD)</u>	28
3.2.1.8	<u>Ses / veri sıkışıklık gecikmesi (VDCD)</u>	29
3.2.1.9	<u>Ses / ses sıkışıklık gecikmesi (VVCD)</u>	29
3.2.1.10	<u>Ses çözüm gecikmesi</u>	29
3.2.2	IEEE 802.16 gecikme analizleri simülasyon sonuçları.....	30
3.2.2.1	<u>Paket boyutunun gecikmeye etkisi</u>	31
3.2.2.2	<u>Servis sağlayıcı hat hızının gecikmeye etkisi</u>	31
3.2.2.3	<u>Çekirdek ağ hızı açısından gecikme analizi</u>	32
3.2.2.4	<u>Kablosuz ağ hat hızı açısından gecikme analizi</u>	33
3.2.2.5	<u>Baz istasyonu menziline göre gecikme analizi</u>	34
3.2.2.6	<u>MTU gecikme analizi</u>	35
3.2.2.7	<u>Kablosuz ağ uzaklığının gecikme açısından analizi</u>	35

3.2.2.8	<u>Baz istasyonu paket işleme gecikmesi</u>	36
4	HAREKETLİ KABLOSUZ BİLİŞSEL AĞLARDA ANAHTAR SEÇİMİ	38
4.1	Anahtar Seçim Algoritmaları.....	41
4.1.1	En kısa yola göre anahtar seçimi.....	41
4.1.2	MinMaks uzaklık rotası	42
4.1.3	Kaynağa en yakın anahtar seçimi.....	43
4.1.4	Güç eşiğine göre anahtar seçimi	43
4.1.5	Yol kaybına göre anahtar seçimi	44
4.2	Anahtar Seçim Algoritmalarının Kıyaslanması	45
5	HAREKETLİ KABLOSUZ BİLİŞSEL AĞLARDA ÇOK SEKMELİ ROTA SEÇİM ALGORİTMALARI	48
5.1	Kaynaktan Hedefe Giden En Hızlı Yolun Saptanması.....	48
5.1.1	En hızlı yol bulma algoritması için güç ve hız açısından en iyi düğüm yoğunluğu.....	54
5.2	Hareketli Ağlarda Karınca Kolonisi Algoritması	58
5.2.1	Geçiş kuralı.....	59
5.2.2	Feromon güncellemesi	60
5.2.2.1	<u>Lokal feromon güncellemesi</u>	61
5.2.2.2	<u>Global feromon güncellemesi</u>	61
5.2.3	Parametreler.....	62
5.3	Hareketli Ağlarda Erişilebilirlik Tabanlı Uzun Ömürlü Rotalama.....	63
5.3.1	ABR ve EABR rotalama algoritmaları	64
5.3.2	AEABR rotalama algoritması	66
5.3.3	ATAABR rotalama algoritması.....	71
5.3.4	Uzun ömürlü rota algoritmalarının kıyaslanması.....	72
5.3.5	AEABR ve ABR rotalama algoritmalarının mesajlaşma	

	ek yükü	74
	5.3.6 Döğümler arası başlanabilirlik için SNR eşik değeri	77
6	IEEE 802.16j ÇOKLU ORTAM AĞINDA YENİ BİLİŞSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK FARKLI PAKET TİPLERİ İÇİN ETKİN ÇIKTI ORANININ ARTTIRILMASI.....	82
6.1	Çok Sekmeli Gezgin WIMAX Ağının Teorik Analizi.....	83
6.2	Etkin Çıktı Oranı Yükseltimi Simülasyon Programı.....	84
6.2.1	Çok sekmeli gezgin ağlarda paket taşıma	87
6.2.1.1	<u>Gerçek zamanlı çoklu ortam paketi taşınması</u>	87
6.2.1.2	<u>Gerçek zamanlı olmayan çoklu ortam paketi taşınması</u>	87
6.2.2	Maksimum bant genişliği kullanım limiti	88
6.2.3	Etkin çıktı oranı yükseltme metotları	90
6.2.3.1	<u>Adaptif veri oranı (AR)</u>	90
6.2.3.2	<u>MCAF metodu</u>	91
6.2.3.3	<u>Arabelleğin sürekli kontrolü</u>	92
6.2.3.4	<u>Arabellek yönetimi (BM)</u>	92
6.2.3.5	<u>Arabellek boyutunun hesaplanması</u>	93
6.2.3.6	<u>Dinamik spektrumsal yardımlaşma (SA)</u>	97
6.2.3.7	<u>Rota güncelleme algoritması</u>	98
6.2.4	Simülasyonda kullanılan IEEE 802.16 frekans planlaması	98
6.3	Tek Yönlü Gönderim İçin Asimptotik Etkin Çıktı Oranı Analizi.....	101
6.3.1	Etkin çıktı oranı sonuçlarının karşılaştırılması	102
6.4	Sabit Döğüm Sayılı Ağlarda Etkin Çıktı Oranı Artırım Analizi	105
6.5	Farklı Döğüm Sayıları İçin Paket Kayıp Oranlarının Teorik Analizi...	111
6.6	Değişken Döğüm Sayılı Ağlarda Etkin Çıktı Oranı Arttırım Analizi....	115
6.7	Rotalama Algoritmalarının Yeni Bilişsel Yöntemler	

Üzerindeki Etkileri	120
6.7.1 Karınca kolonisi ve en hızlı yol algoritmalarının başarıma etkileri	121
6.7.2 Erişilebilirlik tabanlı rota bulma algoritmaların başarıma etkileri	127
6.8 Etkin Çıktı Oranı Yükseltme Metotlarının Düğüm Başına Veri Oranı .	128
6.8.1 Protokoller ve simülasyon programları.....	129
6.8.1.1 <u>IEEE 802.16j sistemleri</u>	129
6.8.1.2 <u>IEEE 802.11 sistemleri</u>	130
6.8.1.3 <u>MCAF ile düğüm başına veri oranı dağılımının UFB ile kıyaslanması</u>	134
7. SONUÇ	138
KAYNAKLAR LİSTESİ	142
EKLER LİSTESİ	147

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Gözlemler, yönet karar ver, yap (OODA) döngüsü	6
Şekil 2.2 Kablosuz ağlarda işbirlikçilik	7
Şekil 2.3 Rekabetçi davranış, Bilişsel davranış, İşbirlikçi davranış	9
Şekil 2.4 Bilişsel radyo mimarisi.....	10
Şekil 2.5 Düğümler arası sağlanan bağlantı şekilleri	10
Şekil 2.6 Düğümlerin bağımlılık durumları	11
Şekil 2.7 Uzak düğüm bağlantısı sağlanmadan önceki ve sonraki durumlar	12
Şekil 3.1 OFDM sistem çalışma ilkesi	14
Şekil 3.2 Döngü eklemi.....	15
Şekil 3.3 DL PUSC için alt kanal yapısı	15
Şekil 3.4 UL PUSC için alt kanal yapısı	16
Şekil 3.5 Alt kanal sayısının değişik kod oranları için UL ve DL etkin çıktı oranına etkisi	22
Şekil 3.6 Farklı QAM seviye sayısının, değişik kod oranları için UL ve DL etkin çıktı oranına etkisi	23
Şekil 3.7 Simülasyon programında kullanılan ağ yapısı	25
Şekil 3.8 Paket boyutuna göre gecikme analizi	31
Şekil 3.9 Servis sağlayıcı hat hızına göre gecikme analizi	32
Şekil 3.10 Çekirdek ağ hızına göre gecikme analizi	32
Şekil 3.11 Kablosuz ağ hat hızı açısından gecikme analizi	33
Şekil 3.12 Baz istasyonu menziline göre gecikmeye etkisinin analizi	34
Şekil 3.13 Ağ MTU değerinin gecikme üzerindeki etkisinin analizi	35
Şekil 3.14 Kablosuz ağ uzaklığının gecikme açısından analizi.....	36
Şekil 3.15 Baz istasyonu paket işleme gecikmesi	36

Şekil 4.1	En kısa uzaklık rotası.....	41
Şekil 4.2	MinMaks uzaklık	42
Şekil 4.3	Kaynağa en yakın anahtar.....	43
Şekil 4.4	Anahtar seçim algoritmalarının ve ABR'nin yeniden rota yapılandırma sayıları	45
Şekil 4.5	Anahtar seçim algoritmalarının yol kaybına göre yapılan seçimle aynı seçimi yapma sayıları	46
Şekil 5.1	En Hızlı Yol algoritması ile kaynaktan hedefe doğru izlenebilecek örnek bir yol	50
Şekil 5.2	Ağ üzerinde altı (6), elli (50) ve yüz (100) düğüm için verilen anlık konum durumlarında, en hızlı yol tüketimi diyagramı ve köprü kanal kapasiteleri	53
Şekil 5.3	Simülasyonun 1 kez çalıştırılmasıyla a) En Hızlı Yol üzerindeki linklerden en çok güç tüketen düğümün harcadığı güç miktarı (mW) b) En Hızlı Yolun tüm linklerinde harcanan ortalama güç miktarı (mW) c) belirtilen aralıkta farklı düğüm sayıları için yol hızlarının bit/saniye türünden değeri (bps)	56
Şekil 5.4	Simülasyonun 100 kez çalıştırılmasıyla a) En Hızlı Yol üzerindeki linklerden en çok güç tüketen düğümün harcadığı güç miktarı (mW) b) En Hızlı Yolun tüm linklerinde harcanan ortalama güç miktarı (mW) , c) belirtilen aralıkta farklı düğüm sayıları için yol hızlarının bit/saniye türünden değeri (bps) d) düğüm sayısı 6'dan 150'ye kadar arttırıldığında simülasyon sonucunda her düğüm sayısı için düğümler arası oluşan	

	maksimum uzaklıkların (metre) ortalaması	57
Şekil 5.5	Karıncaların yol izleme aşamaları.....	59
Şekil 5.6	T_x ten R_x 'e çizilebilecek tüm rota kombinasyonları.....	70
Şekil 5.7	ABR ile minimum sekme sayısında birden çok rota seçildiği durum.....	71
Şekil 5.8	ABR, AEABR ve ATAABR için YRY sayısı	72
Şekil.5.9	T_x ve R_x in birbiriyle bağlantı dışı kalma miktarları	73
Şekil 5.10	Farklı toplam düğüm sayıları ve komşu düğüm sayıları için ABR (ve ATAABR) ile AEABR için gönderilmesi gereken paket sayıları analizi	76
Şekil.5.11	Farklı gönderim gücü ve uzaklıklar için alıcı SNR eşik değerleri	79
Şekil.5.12	Eşit dağılımlı N adet düğüm ile elde edilen düğümler arası maksimum uzaklık	79
Şekil.5.13	Alıcı SNR eşik değeri ile sağlanan düğümler arası uzaklıklar için ve farklı düğüm sayıları ile düğümlerin birbirleriyle bağlantı kurabilecekleri bölgenin maksimum alan grafiği.....	80
Şekil 6.1	Veri oranına (Bayt) karşı (a) Bant genişliği (b) FEC oranı (c) QAM modu	84
Şekil 6.2	Her bir düğüm tarafından kullanılan yeni metotların algoritması	86
Şekil 6.3	Etkin çıktı oranının artırılması için kullanılan rotalama algoritmaları ve bilişsel yöntemlerin oluşturduğu etkiler.....	91
Şekil 6.4	Farklı ortalama sekme sayıları ile spektrum paylaşımı yapan farklı sayıda düğümler için arabellekte kullanılması gereken en uygun hafıza boyutları (Bayt) ve bölme sayıları	95

Şekil 6.5	Farklı AHC ile spektrum paylaşımı yapan farklı sayıda düğümler için gerekli veri, video ve ses toplam arabellek hafızası gösterimi.....	96
Şekil 6.6	GSM hücresel sistemlerde frekans yeniden kullanımı	99
Şekil 6.7	Frekans yeniden kullanımı 1 olduğu durumda hücre başına tek ve 3 sektör kullanımı	100
Şekil 6.8	Farklı frekanslarda, bağımsız kanallar şeklinde çalışma.....	101
Şekil 6.9	Alt taşıyıcılar ile frekans yeniden kullanım planlaması.....	101
Şekil 6.10	Etkin çıktı oranı sonuçları karşılaştırma grafikleri	104
Şekil 6.11	Yalın 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	106
Şekil 6.12	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	107
Şekil 6.13	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 ve sistem etkin çıktı oranı.	108
Şekil 6.14	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.	109
Şekil 6.15	Önerilen metotların ağa uygulanması ya da uygulanmaması durumlarında tüm metotlarla birlikte rotalama için “En Hızlı Yol algoritması” kullanılarak 1000 OFDMA çerçevesi boyunca başarılı şekilde gönderilen video, ses ve veri paketleri sayıları.	110
Şekil 6.16	Yeni metotların uygulanması /uygulanmaması durumlarında etkin çıktı oranında sağlanan artış miktarları.	110
Şekil 6.17	Yeni bilişsel yöntemler ile sistemdeki etkin spektrum kullanımı	111
Şekil 6.18	Metotların teorik ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması.	115
Şekil 6.19	“En Hızlı Yol algoritması” kullanılarak, bant genişliği ziyarı dahil edilmeden elde edilen OFDMA ve MCAF simülasyon sonuçları ile teorik sonuçlarının aynı parametre değerleri kullanımıyla kaynaklardaki geleneksel sonuçlar ile kıyaslanması. ..	117
Şekil 6.20	AR ve yeni bilişsel yöntemlerin (BM ve SA) uygulanma durumlarında güç tüketimi miktarlarında sağlanan düşüş.....	119
Şekil 6.21	Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmalarının simülasyon ağına 4-24 arasındaki düğüm sayılarıyla aynı düğüm pozisyonları için ve aynı şartlar altında 10’ar kez uygulandıklarında elde edilmiş olan ortalama düğüm başına güç tüketimi, sekme sayısı, yayılım ve paket işleme gecikmeleri.	122
Şekil 6.22	Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmaları ile bulunan yolların a) ortalama sekme sayıları ve ortalama yayılım gecikme miktarları b) işleme gecikmesi, yayılım gecikmesi ve toplam gecikme miktarları (ms) grafiksel karşılaştırmaları	124
Şekil 6.23	Her bir rotanın ortalama güç tüketimi (mW), grafiksel karşılaştırmaları.....	125

Şekil 6.24	Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmalarının, 4-24 arasındaki düğüm sayıları için simülasyon ağına uygulandıklarında, yalnız OFDMA, yalnız MCAF ve MCAF ile BM, SA ya da aynı anda hem BM hem de SA uygulanması sonucunda simülasyondan elde edilen sonuçlar.....	126
Şekil 6.25	Önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotlarının, farklı rotalama algoritmaları ile birlikte kullanımıyla ve farklı araç hızları için elde edilen sistem etkin çıktı oranları	128
Şekil 6.26	Rasgele olmayan sokak senaryosu (R= 1 km)	130
Şekil 6.27	Düğüm başına düşen veri oranı için a) simülasyon sonuçları b) ölçüm sonuçları	133
Şekil 6.28	4-24 arası farklı düğüm sayıları için elde edilen düğüm başına adil dağılımlı veri oranı miktarı.....	137

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 OFDMA parametreleri	17
Çizelge 3.2 PUSC alt kanallı mobile WIMAX'in fiziksel veri oranları.....	17
Çizelge 3.3 Simülasyonda kullanılan varsayılan değerler	21
Çizelge 3.4 Simülasyonda kullanılan parametre değerleri.....	25
Çizelge 5.1 ABR rota seçim algoritması	65
Çizelge 5.2 Anahtar 1 ABR tablosu	67
Çizelge 5.3 Anahtar 2 ABR tablosu	67
Çizelge 5.4 Anahtar 3 ABR tablosu	67
Çizelge 5.5 Anahtar 4 ABR tablosu	68
Çizelge 5.6 Alıcı (R _x) ABR tablosu	68
Çizelge 5.7 Verici (T _x) ABR tablosu	68
Çizelge 5.8 Anahtar 4 için AEABR tablosu.....	69
Çizelge 5.9 Rotalama algoritmalarının, sistem tipine göre mesajlaşma yükleri ...	75
Çizelge 5.10 PUSC alt kanal ile Gezgin WIMAX (802.16) veri oranları	77
Çizelge 6.1 6 aktif düğüm ile düğüm 1 için arabellek yönetimi	93
Çizelge 6.2 6 aktif düğüm ile düğüm 1 için spektrumsal yardımlaşma	97
Çizelge 6.3 Algoritmaların simülasyondan elde edilen paket gönderim değerleri	105
Çizelge 6.4 Algoritmaların simülasyondan elde edilen performans sonuçları....	106
Çizelge 6.5 Rotalama algoritmalarının 25-40 km/h, 60-80 km/h ve 100-120 km/h hızları arasında ve N=6 için göstermiş oldukları etkin çıktı oranı simülasyon sonuçları	127
Çizelge 6.6 Rasgele olmayan senaryo örneğinde UFB algoritması kullanılmadan elde edilen veri oranları.....	131

Çizelge 6.7 Simülasyonda kullanılan trafik parametreleri	132
Çizelge 6.8 UFB ile rasgele olmayan model için düğümlere dağılan veri oranları simülasyon sonuçları	134
Çizelge 6.9 MCAF ile düğümlere dağılan veri oranı sonuçları	137

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

β	BER'e bağlı katsayı
$\delta(i,j)$	i ve j noktaları arası mesafe
$\eta(i,j)$	i ve j noktaları arası mesafenin tersi
λ	sinyal dalga boyu (metre)
ρ	feromon buharlaşma parametresi
σ	varyans
$\tau(i,j)$	i ve j arası yoldaki feromon miktarı
Γ_{eff}	sinyal gürültü oranı etkin değeri
$\Delta \tau_{ij}^k(t+1)$	t. iterasyondaki feromon düzeyi
$a_{s,d}[n]$	sinyal sönümlenme katsayısı
α	yol kaybı üssü
AAF	Yükselt ve İlet (Amplify and Forward)
ABR	Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (Associativity Based Routing)
ACO	Karınca Kolonisi algoritması (Ant Colony algorithm)
AEABR	Erişebilirlik Tabanlı Rotalama Alternatif Geliştirimi (Alternative Enhancement for Associativity Based Routing)
AHC	Ortalama Sekme Sayısı (Average Hop Count)
AODV	Plansız İsteğe Bağlı Uzaklık Vektör (Ad-hoc on demand Distance Vector routing)
API	Uygulama Programı Ara yüzü (Application Program Interface)
APL	Ortalama Paket Boyutu (Average Packet Length)
AR	Adaptif Oran (Adaptive Rate)
ASA	Anahtar Seçim Algoritması
AT	Erişebilirlik Tiki (Associativity Tick)
$AT_{\text{eşik}}$	Erişebilirlik Tiki Eşiği
$AT(T_x, R_s)$	T_x 'te bulunan R_s 'e ait erişebilirlik tik sayısı
ATAABR	Erişebilirlik Tiki Ortalamalı Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (Associativity Tick Averaged Associativity Based Routing)
B	bant genişliği
BER	Bit Hata Oranı (Bit Error Rate)
BM	Arabellek Yönetimi (Buffer Management)

BPS	Sembol başına bit sayısı (Bits Per Symbol)
BPSWF	FEC kullanımı ile sembol başına bit miktarı (Bits per Symbol With FEC)
C	ışık hızı (3×10^8 metre / saniye), Kanal Kapasitesi
CP	Döngü Ekleme (Cycling Prefix)
CSMA	Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim (Carrier Sence Multiple Access)
CRC	Döngü Tekrar Kontrolü (Cycling Redundancy Check)
CTC	Katlanmalı Turbo Kod (Convolutional Turbo Code)
CTS	kanal gönderim için temiz sinyali (Clear To Send)
$d(T_x, R_x)$	gönderici alıcı arası uzaklık (metre)
$d_s, d[n]$	genlik yol kaybı
D	alıcı (Destinaton)
DAF	Çözümle ve İlet (Decode and Forward)
d_c	hücre çapı (diameter of cell)
DIA	Delta Yükseltim Algoritması (Delta Improvement Algorithm)
DL	indirme (Downlink)
DQD	Veri Kuyruk Gecikmesi (Data Queuing Delay)
DR_{wifi}	WI-FI kullanımı ile veri oranı (Data Rate with WI-FI)
DSPF	OFDMA Çerçevesi başına veri sembolü (Data Symbols per Frame)
DT	İndirme Etkin çıktı oranı (Downlink Throughput)
DTPS	Veri Paketi Boyutu (Data Packet Size)
$DTPS_{ref}$	Veri Paketi referans Boyutu
$E[]$	beklenen değer (Expected value)
EABR	Geliştirilmiş Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (Enhanced Associativity Based Routing)
ERC	Eşit Oranlı Birleştirme (Equal Ratio Combining)
ESNRC	Geliştirilmiş SNR oranına göre Birleştirme (Enhnced Signal To Noise Ratio Combinig)
FEC	İleri Yönlü Düzeltme (Forward Error Correction)
FFT	Hızlı Fourier Çevrimi (Fast Fourier Transform)
FL	OFDMA Çerçeve Boyutu (Frame Length)
FPS	Saniyedeki OFDMA Çerçevesi sayısı(Frames per Second)

FRC	Sabit Oranlı Birleştirme (Fixed Ratio Combinig)
FSPL	Serbest Uzay Yol Kaybı (Free Space Path Loss)
FUSC	Tam Kullanımlı Alt Taşıyıcı (Fully used sub carrier)
$h_{s,d}[n]$	sinyaldeki tüm azalma
hc_s	s. rotadaki sekme sayısı
HG	Harcanan Güç
ID	Kimlik
IP	İnternet Protokolü
ISI	Sembol Karışımı (Inter Symbol Interference)
ISP	İnternet Servis Sağlayıcı (İnternet Service Provider)
IEEE	Institue of Electrical and Electronics Engineering (Elektrik-Elektronik mühendisliği Enstitüsü)
ITU-T	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standartlaştırma Birimi, (International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector)
$J_k(i)$	i noktasındaki karıncaların gidebileceği noktalar
K	kanal model sabiti
L_{best}	sağlanan en iyi karınca turu
LDTP	Kayıp Veri Paketi (Lost Data Packet)
LLRP	En Uzun Ömürlü Rotalama Protokolü (Longest Life Routing Protocol)
LOS	Görüş Çizgisi (Line of Sight)
LVCP	Kayıp Ses Paketleri (Lost Voice Packets)
LVDP	Kayıp Video Paketleri (Lost Video Packets)
MAU	Atanabilir Minimum Birim (Minimum Allocatable Unit)
MCAF	En Çok Sıkışan İlk Erişir (Most Congested Access First)
MDRPN	Düğüm Başına Maksimum Veri Oranı (Maximum Data Rate per Node)
MOS	Mean Opinion Score (Ortalama Fikir Derecesi)
MPSBU	Mümkün olan Maksimum Bant genişliği Kullanımı (Maximum Possible Bandwidth Usage)
MSU	Maksimum Spektrum kullanımı (Maksimum Spectral Usage)

MTU	Transfer edilebilir Maksimum Birim (Maksimum Transferrable Unit)
N	düğüm sayısı
N_0	kanal gürültüsü
NODS	Veri Alt taşıyıcısı Sayısı (Number of Data Subcarrier)
NOS	Alt kanal Sayısı (Number of Subchannels)
NP	Güncel Güç seviyesi (New Power)
NSC	Boş Alt taşıyıcı sayısı (Null Subcarrier)
ODBS	En iyi veri arabellek boyutu (Optimum Data Buffer Size)
OFDM	Dik Frekans Bölmeli Çoklama (Orthogonal Frequency division Multiplexing)
OFDMA	Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
ONSDT	Veri için en iyi bölme sayısı (Optimum Number of Slots for Data)
OODA	Gözlemler, Yönet, Karar ver, Yap (Observe, Orient, Decide, Act) döngüsü
OP	Önceki Güç seviyesi (Old Power)
P	Güç seviyesi
PCM	Darbe Kodu Modülasyonu (Pulse Code Modulation)
PD	Yayımlama Gecikmesi (Propagation Delay)
P_{kaybolma}	paketin rota üzerinde herhangi bir düğümde kaybolma olasılığı
$P_{\text{kayıp}}(n)$	paketin n. düğümde kaybolma olasılığı
$P_{\text{MCAFor}}(n)$	MCAF kullanılırken, paketin n. düğümde kaybolma olasılığı
$P_{\text{OFDMAort}}(n)$	OFDMA kullanılırken, paketin n. düğümde kaybolma olasılığı
$\text{Power}_{\text{eşik}}$	güç eşiği
P_r	alınan sinyal gücü (watt)
P_t	gönderilen sinyal gücü (watt)
PUSC	Kısmi Kullanımlı Alt Taşıyıcı (Partially Used Subcarriers)
Güç (T_x, R_x)	alıcı ve verici arası güç seviyesi
QAM	Dörtlü Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation)
QoS	Servis Kalitesi (Quality of Service)
QPSK	Dörtlü Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation)

R	Anahtar (Relay), iletişim Menzili (Range)
R_OFDM(RS)	gerek duyulan OFDM sembol sayısı
R _{cs}	CSMA menzili (CSMA range)
R _s ⁿ	s. rotada n. düğüm
R1 _{eşik}	1. anahtarın eşik olarak kabul ettiği AT sayısı
Rcs	CSMA menzili
R _n	simülasyondaki n. anahtar
RTP	Gerçek Zaman Protokolü (Real Time Protokol)
RTS	Gönderim İsteğinde bulunma (Request to send)
R _x	Alıcı (Receiver)
S-OFDMA	Ölçeklenebilir OFDMA (Scalable OFDMA)
S	Gönderici (Sender), çizilebilecek rota sayısı, sinyal gücü
SA	Spectrumsal Yardımlaşma (Spectral Aids)
SesPB	Ses Paket Boyutu
SCC	Alt Taşıyıcı Kapasitesi (Subchannel Capacity)
SCDRFWF	FEC kullanımı durumunda bir Çerçeve'deki Alt Kanal Veri Oranı (Subchannel Data Rate in a Frame With FEC)
SD	Serileme Gecikmesi (Serialisation Delay)
SDTP	Gönderilen Veri Paketi (Sent Data Packet)
Smb.	Sembol
SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
SNRC	Sinyal Gürültü Oranına göre Birleştirme (Signal to Noise Ratio Combining)
SRPS	Saniyedeki Sembol Oranı (Symbol Rate per Second)
SSG	kendi modülasyon tipini kullanan düğüm sayısı
SUA	Spektrum Kullanım Miktarı (Spectral Usage Amount)
SVCP	Gönderilen Ses Paketi (Sent Voice Packet)
SVDP	Gönderilen Video Paketi (Sent Video Packet)
T ₀ (t)	t. İterasyona kadar biriken feromon düzeyi
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
THR	Etkin Çıktı Oranı (Throughput)
TSFDT	Veri paketleri için ayrılmış Toplam Alt kanal sayısı (Total Sub Channels for Data)

TSFVC	Ses paketleri için ayrılmış Toplam Alt kanal sayısı (Total Sub Channels for Voice)
TSFVD	Video paketleri için ayrılmış Toplam Alt kanal sayısı (Total Sub Channels for Video)
T_x	Gönderici (Transmitter)
UDP	Kullanıcı Veri bloğu Protokolü (User Datagram Protocol)
UFB	Adil Olanak Dağılımı (Utility Fair Bradcating)
UL	yükleme (Uplink)
UT	Yükleme Etkin çıktı oranı (Uplink Throughput)
VANET	Plansız araçsal ağlar (Vehicular Ad-Hoc Networks)
VCPS	Ses Paketi Boyutu (Voice Packet Size)
VDPS	Video Paketi Boyutu (Video Packet Size)
$VDPS_{ref}$	Video Paketi referans Boyutu (Reference Video Packet Size)
VDQD	Ses ve veri paketlerinin Sıkışıklık Gecikmesi (Voice Data Contention Delay)
VeriPB	Veri Paket Boyutu
VoIP	Internet Protokolü üzerinden Ses gönderimi (Voice Over IP)
VoWIMAX	WIMAX üzerinden Ses gönderimi (Voice Over WIMAX)
VVCD	Ses paketlerinin diğer Ses paketleri ile Sıkışıklık Gecikmesi (Voice/Voice Contention Delay)
WBDT	Veri paketlerinin neden olduğu Bant genişliği Ziyanı (Wasted Bandwidth by Data packets)
WiFi	Kablosuz Bağlılık (802.11 protokolü) (Wireless Fidelity)
WIMAX	Mikrodalga Erişimi için Küresel Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
WVPIS	Ses Paketlerinin Saniyede neden olduğu Bant genişliği Ziyanı miktarı (Wastage by Voice packets in a second)
$X_s[n]$	gönderici tarafından gönderilen sinyal
$y_d[n]$	alıcı tarafından alınan sinyal
YRY	Yeniden Rota Yapılandırma
$Z_{s,d}[n]$	Termal gürültü

1. GİRİŞ

Mühendislikte birçok ürün doğadan esinlenilerek ortaya çıkarılmıştır. Bunlara, uçakların süzülmesinin kuşlardan, dış yüzey tasarımının köpek balığından, burun yapılarının yunuslardan alınmasını örnek gösterebiliriz. Bilişsellik ve işbirlikçilik de, doğada çok kullanılan yöntemlerdir. Örneğin yarasalar kan bulduklarında buldukları kanı bulamayanlarla paylaşarak, bilişsellik ve işbirlikçilik ile yaşam sürelerini uzatmış olurlar. Paylaşmayanlar kana ihtiyaç duyduklarında ise onlarla paylaşımında bulunulmaz ve yaşam süreleri uzamaz.

Klasik iletişim sistemleri, kurulma aşamasından sonra statik bir yapıya sahip olduklarından, kablosuz kanallarda zaman, frekans ve uzay boyutundaki değişimlerin yanı sıra kullanıcı trafiği ve ağda oluşabilecek değişimlere ayak uydurabilecek yeteneğe sahip değildirler. Bu nedenle, artan veri hızı talepleri ve servis kalitesi ihtiyaçlarını karşılayabilmekten çok uzaktırlar. Benzer şekilde karmaşık yapıları klasik bilgisayar ağlarında ve ağ düğümlerinde ideal ağ durumu için ayarlama yapmak oldukça zordur. Bu tür klasik ağların başarımlarının artırılması için bilişsel ağ yapılandırılması ile düğümlerin bilişsel ve işbirlikçi olarak çalışmasına büyük ihtiyaç duyulmaktadır.

Bilişsel radyonun öğrenme özelliği sayesinde, herhangi bir bölgede ve zaman diliminde çeşitli sistemlerin birbirleri ile iletişim yapmaksızın aynı frekans bandını paylaşarak iletişim yapabilmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışmada geleneksel radyo sistemlerinden farklı olarak, bilişsel radyonun radyo ortamını izleyerek ve öğrenme özelliğini kullanarak kendi çalışmasını düzenlemesi ve olası sorunların çözümü için plan yapması, bu planları uygulayarak mevcut yapının sağladığı etkin çıktı oranı başarımlarını geliştirmesi planlanmıştır. Bilişsel radyo sayesinde iletişim sistemlerinin akıllı yaklaşımlarla olası sorunlara karşı hazırlıklı olması ve hemen tepki gösterebilmeleri mümkün olacaktır.

Bilişsel radyo fikri ilk olarak 1998'de KTH Teknoloji Enstitüsü'ndeki bir seminerde Joseph Mitola III tarafından ortaya atılmıştır. Bir yıl sonrada Mitola ve Gerald Q. Maguire, Jr. tarafından bu konuda bir makale yayınlanmıştır [1]. Bu araştırmada

yazarlar “radyo yazılımı dili” ile özelleştirilecek olan protokol dizilerinin daha iyi yönetilebileceğini savunmuşlardır. Ancak o dönemde böyle bir dil için bilinen bir yol yoktu. Daha sonra yazılımcılar tarafından kullanılmak üzere böyle bir dil geliştirilerek, büyük ölçüde ön bilgiye sahip olan bilişsellik kavramı ortaya çıkmıştır. Mitola bu çalışmayı ilginç bir potansiyel araştırma konusunun ilk adımı olarak adlandırmıştır [1]. Daha sonra bilişselliği; “*Kullanıcının iletişim ihtiyaçlarını tespit etmek, kullanmak, radyo kaynakları ve ihtiyaçlarını en uygun şekilde sağlamak için, kablosuz kullanıcılara ait sayısal donanımlarla (PDA) ve ilgili ağların radyo kaynakları ile bilgisayardan bilgisayara akıllıca iletişim yapmaları*” şeklinde tanımlamıştır [2,s.1]. Bilişsellik kavramının ortaya çıkmasıyla, kaynak atama ve anahtarlama tabanlı WIMAX sistem tasarımları için yeni olanaklar doğmuştur. Kaynaklardaki çalışmaların çoğu [3; 4], birincil (lisanslı) ve ikincil (lisanssız) kullanıcının anahtarlama yapmadan etkin kaynak paylaşımının sağlanması ile sistem etkin çıktı oranını arttırmaya yöneliktir. Bununla birlikte, kaynaklarda anahtarlama tabanlı çok sekmeli WIMAX ağlarının tasarımı ile etkin çıktı oranının artırılması konusunda çok az çalışma bulunmaktadır [5].

Kaynak [3]’te yazarlar, ikincil kullanıcılar ile birincil kullanıcılar arasında esnek kanal işbirliği sağlayarak, ikincil kullanıcıların verilerinin de birincil kullanıcıların verileriyle birlikte gönderilmesini ve etkin çıktı oranının artırılmasını amaçlamışlardır. Kaynak [4]’te, fırsatçı iletişim temel alınarak, bilişsel iletişimin etkin çıktı oranı araştırılmış ve çeşitli kapsama metotları ile etkin çıktı oranının yükseltilmesi önerilmiştir. Yazarlar, ikincil kullanıcıların farklı iletim güçleri için etkin çıktı oranı potansiyelinin ve en uygun lisanslama miktarının belirlenmesi üzerine odaklanmışlardır. Bununla birlikte, bu çalışmalarda WIMAX anahtar tabanlı sistem tasarımı ve etkin çıktı oranı artırımına değinilmemiştir.

Kaynak [5]’te, geçirgen modlu anahtarlama tabanlı IEEE 802.16j sistemlerinin başarımı tanımlanmış ve tasarlanmıştır. Belirtilen çalışmada sinyalleşme yükünün iki katına çıkarılmasına rağmen sadece %5 etkin çıktı oranı artışı sağlanabilmiştir. Kaynak [5]’teki çalışmada yazarlar, 802.16 standardını [6] kullanan ağların etkin çıktı oranının artırılması için başka yolların denenmesi gerektiği hususunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında, etkin çıktı oranı, %36 seviyesinde artırılmıştır. Kaynak [7]’de, yazarlar bilişsel radyo iletişimde her bilişsel radyoya bir gönderici/alıcı atayarak, aynı anda yapılan bilişsel radyo gönderim ve alım sayısını

spektrum ataması yapılmasına göre maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Belirtilen çalışmada çok sekmeli kullanımlar için sadece %20'lik iyileştirme sağlanabilmiştir.

Tanımlanan standartlar [6, 8, 9, 10, 11, 12] kullanılarak kaynak [13]'te sabit düğüm sayısı (N=6) için elde edilen sonuçlar, kaynak [14]'te farklı düğüm sayıları için genişletilmiş ve sonuçların kaynak [15]'teki çalışmanın sonuçları ile örtüştüğü gösterilmiştir. Kaynak [14]'te ayrıca paket kaybı ve etkin çıktı oranı için teorik sonuçlar elde edilmiş ve simülasyon (benzetim) sonuçlarının teorik sonuçlar ile de örtüştüğü gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında; Bölüm 2'de, iletişim ağlarında bilişsellik ve işbirlikçi davranışın tanımlaması ve sınıflandırılmaları yapılmıştır.

Bölüm 3'te, IEEE 802.16 standardını [6] kullanan ağlardaki servis kalitesini incelemek için çeşitli sistem parametrelerinin etkin çıktı oranı ve uçtan uca gecikme üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bölüm 4'te hareketli, çok sekmeli, kablosuz, anlık-plansız bilişsel ağlarda kaynaktan hedefe rotanın belirlenmesi için kullanılan anahtar seçim algoritmaları gerçekleştirilen simülasyon programı ile rota ömrü, bağlantı dışı kalma süresi ve sahip olunan yol kaybı açısından incelenmiş ve en iyi sonuç veren anahtar seçim algoritması saptanmıştır.

Bölüm 5'te, yeni uzun ömürlü rotalama algoritmaları geliştirilmiştir. Simülasyonlarla geliştirilen bu yeni algoritmalar, kaynaklarda kullanılmakta olan, En Hızlı Yol bulma algoritması, Karınca Kolonisi algoritması ve uzun ömürlü rotalama algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma mesajlaşma ek yükü, rota ömrü ve bağlantı dışı kalma süreleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda, yeni geliştirilen rotalama algoritmalarının küçük bir mesajlaşma ek yüküne karşılık, rota ömrü ve bağlantı dışı kalma süreleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bölüm 6'da, geliştirilmiş olan sistemde, önerilen En Sıkışık İlk Erişir (MCAF) erişim metodu; Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) ve Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) metotlarının bir birleşimi niteliğindedir [8; 9; 10]. MCAF'ın, yeni

önerilen Spektrumsal Yardımlaşma (SA) ve Arabellek Yönetimi (BM) metotları ile birlikte kullanılmasıyla, sistemin paket kayıp oranının düşürülmesi ve etkin çıktı oranının yükseltilmesi sağlanmıştır. Çalışmada MATLAB kullanılarak geliştirilen simülasyon sisteminde, yalın ağda (hiçbir yeni metodun aktif olmadığı geleneksel ağ) elde edilen sonuçlar, kaynaklarda yapılmış olan diğer çalışmalardan elde edilen [15; 16; 17] sonuçlar ile farklı düğüm sayıları için kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Anlık-plansız ağlarda ağ yönetimi, gezgin düğümler tarafından yapılan, anlık plansız sinyalleşmeye dayanır [2]. Anlık-plansız ağ yapısına sahip olan bu tez çalışmasında 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 değişimler hesaplanmıştır. Yalın ağ için bulunmuş olan sonuçlar, her bir N değeri ve her bir metodun aktif olma durumu için elde edilerek, kaynaklardaki sonuçlarla kıyaslanmış ve doğrulanmıştır.

Son olarak, Karınca Kolonisi (ACO) [18], En Hızlı Yol Bulma [19], Erişilebilirlik Tabanlı Rotalama (ABR) [20] ve Bölüm 5'te yeni geliştirilen Erişilebilirlik Tabanlı Rotalamanın Alternatif Gelişimi (AEABR) [21] ile Erişilebilirlik Tik Ortalamalı Erişilebilirlik Tabanlı Alternatif Rotalama (ATAABR) [22] algoritmalarının, önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu algoritmalarla sistemin gecikme, rotalama ömrü, ortalama sekme sayısı ve paket kaybı gibi başarımlar parametreleri iyileştirilerek mevcut etkin çıktı oranının artırılması sağlanmıştır. Etkin çıktı oranının, önerilen metotlar ile, her durum ve araç hızında en çok, aynı zamanda en uzun rota ömrünü sağlayan, AEABR ile yükseltildiği gösterilmiştir.

2. BİLİŞSEL AĞLAR

2.1. Bilişsel Ağların Özellikleri

Bir bilişsel ağ; öğrenme, karar verme, yerine getirme, sonuçlandırma ve değişen ağ şartlarına uyum sağlama özelliklerine sahip elemanlardan oluşur [23]. Bu sayede uçtan uca iletişimin başarımı maksimum yapılabilir. Bu yapıda, düğümler kendi başarımlarını gereksinimleri üzerine değil, tüm ağın başarımlarını gereksinimleri üzerine odaklanır. Uçtan uca uygulamalara aşağıdakiler örnek gösterilebilir [23]:

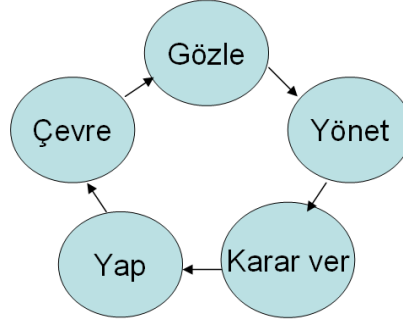
- Servis kalitesi (QoS) parametreleri (gecikme, bit hata oranı, etkin çıktı oranı),
- Düğüm bağlantısı, çeşitleri ve yöntemi
- Kaynak yönetimi,
- Ağ ve düğüm yaşam süresi.

Bu uçtan uca bağlantısının kurulması ve devamlılığının sağlanmasında en önemli özellik düğümler arasında işbirliği yapılması ve bu görevlerin en düşük seviyede tutulmasıdır. Uçtan uca yapılacak işlemler, bilişsellik tanımlama dili kullanarak bilişsel amaçlara çevrilir. Uçtan uca yapılacak işlemlerde bilişsel işlemler, merkezi de olsa dağınık yapıda da olsa, sisteme uyum ve çoğu yerde geri besleme kullanılarak karar verme mekanizması gerektirir. Bilişsel sistemler, içerisinde yapılandırılabilir uygulama program ara yüzünü (API), ağ elemanlarını ve ağ durum algılayıcılarını içerir [23].

Basit bir modelleme ile bilişsel işlemler Şekil 2.1'de gösterildiği gibi gözleme yönetme, karar verme, yerine getirme döngüsünden oluşur. Gelecekteki kararlar bir önceki gözlemden çıkarılır [23].

Bilişsel ağlarda uçtan uca yapılacak işlemler; kullanıcılarla, düğümlerle yada farklı uygulamalarla ilgili olabilir. Bilişsel tanımlama dili, yapılacak işlemleri işbirlikçi eleman amaçlarına çevirir [2]. Bilişsel düğümler, birden çok döngü kullanarak uyum ve öğrenim işlemi yaparlar. OODA (Gözleme, Yönet, Karar ver , Yap) döngüsü, ağ başarımını gözlemleyerek daha sonraki kararların verilmesini sağlar. API ise, ayarlanabilir ağ elemanları üzerinde kontrolün sağlanması içindir [23].

Gözleme işlemlerinin yapılmasında ve ağın o anki durumunun algılanmasında, ağ durum algılayıcıları kullanılır [23]. Bilişsel ağın tasarımı çok önemlidir.



Şekil 2.1 Gözleme, yönet, karar ver, yap (OODA) döngüsü [23].

Günümüz bilgisayar ağ teknolojileri, artan bant genişliği, veri çeşitliliği ve kullanıcı sayısının yoğunluğundan kaynaklanan karmaşık problemleri çözemeyecek durumda olmasına rağmen bilişsel ağ yapısı, ağ akıllı yöntemleri kullanarak ağ ile ilgili problemleri çözme potansiyeline sahiptir. Ayrıca günümüz veri iletişim teknolojileri, ağda oluşan durum değişkenlerine karşı akıllı ve hızlı uyum sağlama yeteneğine sahiptir.

Günümüz veri iletim teknolojisinde ağ durum bilgisinin iletişimi katmanlı protokol mimarisinden dolayı bastırılmıştır ve bir düğümde oluşan durum diğer düğümler tarafından bilinmediğinden hiçbir tepkime alınmaz [23]. Bilişsel ağlarda gözleme, öğrenme ve yapma yetenekleriyle ağ başarımı optimize edilip bu sınırlamalar büyük ölçüde kaldırılmıştır. Öğrenme, karar verme, yerine getirme, sonuçlandırma ve değişen ağ şartlarına göre uyum sağlama özelliklerine sahip elemanlardan oluşan bir bilişsel ağın, uçtan uca iletişim başarımını maksimum yapabilir. Bu yapıda düğümler kendi başarımlarını gereksinimleri üzerinde değil, tüm ağın başarımlarını gereksinimleri üzerinde odaklanır.

2.2. Kablosuz İletişim Sistemlerinde İşbirlikçi Davranış

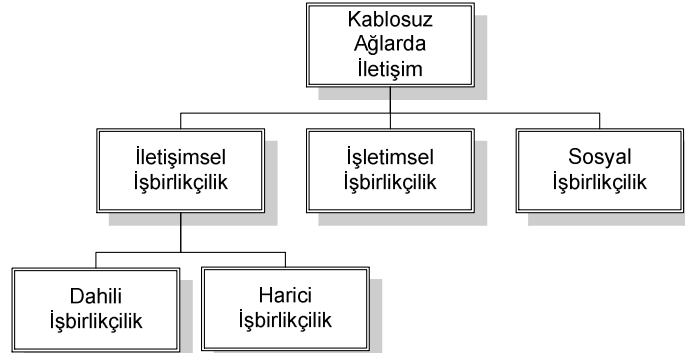
Ağ protokolleri, işbirlikçi çatı altında tanımlanabilir. Ancak bunun için, ortak kuralları, tüm iletişim grubunun kabul etmesi gerekir. İşbirlikçi davranış ve adillik, dağıtılmış sistemlerde temel prensipken, merkezi sistemlerde daha az görülür. İşbirlikçi davranış ile amaç, daha az güç harcayarak, iletişim yeteneklerini

arttırmaktır [23]. Kaynak [24]'te anahtar düğümde kullanılan AAF (yükselt ve gönder) ve DAF (çöz ve gönder) işbirlikçi gönderim protokolleri, işbirlikçi davranışa örnek gösterilebilir.

2.2.1. İşbirlikçi davranışın sınıflandırılması

İşbirlikçi davranış farklı açılardan yaklaşılarak incelenebilir. İşbirlikçi davranış, bu çalışmada, kablosuz iletişim açısından ele alınıp incelenecektir. İletişimde en önemli unsur işbirlikçi davranıştır. Sistemdeki tüm elemanlar (sinyaller, fonksiyonlar, algoritmalar, işlem elemanları...) birlikte ortak olarak çalışırlar. Bu şekilde, kaynaklar daha verimli kullanılmış olur [23]. İletişimsel işbirlikçi davranış kablosuz sisteme gömülmüş olmasına rağmen, kullanıcı tarafından hissedilmez. İşbirlikçi davranışlar, dâhili ve harici olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır [23].

Dâhili işbirlikçi davranış yapısında, verilen kaynakların eşit paylaşılmasından başka hiçbir aktif işbirliği yoktur. Harici işbirlikçi davranış yapısında ise, işbirlikçi davranış tasarım tarafından doğrudan sağlanır. Kablosuz ağlarda işbirlikçilik Şekil 2.2'deki gibi sınıflandırılır [23].



Şekil 2.2 Kablosuz ağlarda işbirlikçilik.

Bu çalışmada kullanılan işbirlikçilik, harici işbirlikçi davranış sınıfına girmektedir. Bu sınıf ise mikro ve makro işbirlikçi davranış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [23]. Harici makro işbirlikçi davranış, karşılıklı tarafların birbirine bağlanmalarını sağlar. Çalışmada kullanılan işbirlikçi davranış, harici makro işbirlikçi davranış sınıfına girmektedir.

Harici mikro işbirlikçi davranış ise, kablosuz makro elemanların (kablosuz terminal, sanal erişim noktaları, kablosuz yönlendiriciler ...) içinde bulunan; işlem üniteleri, fonksiyonel parçalar, algoritmalar (mikro ya da fonksiyonel), piller ve antenler arası işbirlikçi davranıştır [23].

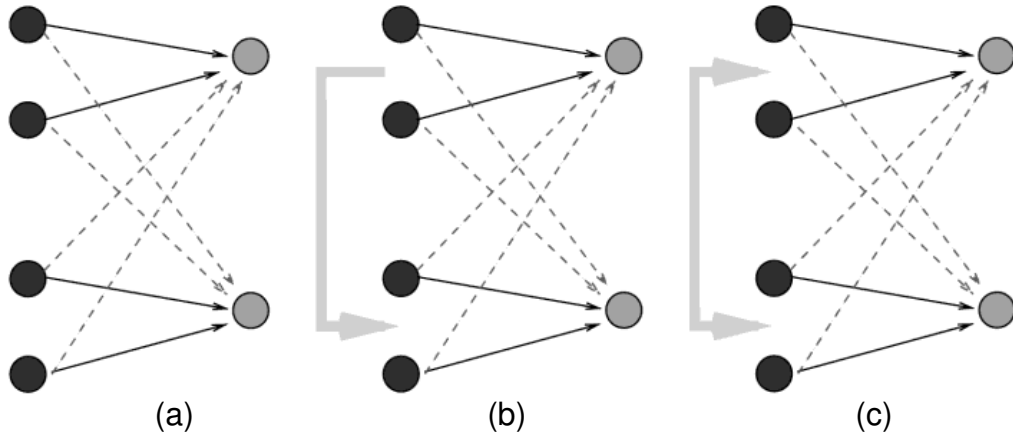
2.3. Kablosuz Ağlarda İşbirlikçi Davranış, Rekabet ve Bilişsellik

Kablosuz bir ağda düğümler ve aynı frekansta çalışan kümeler üç farklı şekilde çalışabilir. Bu çalışma şekilleri; işbirlikçi davranış, rekabet ve bilişselliktir. İşbirlikçi davranış, sessiz düğümlerin diğer düğümlerin mesajlarını açarak yardımda bulunmasıdır. Rekabet hakkındaki bilgiler, kanal karışım yapılarından sezim ve kestirim yöntemleriyle elde edilir. Bilişsel radyo sisteminde ise; tüm düğümler, diğer göndericilerin mesajlarını açarlar ve bu bilgiyi, aldıkları sinyallerin kendi ürettiği sinyallerle karışmasını önlemek için kullanırlar. Kaynaklarda; rekabet ve işbirlikçi davranışla ilgili epeyce yayın olmasına rağmen, bilişsel radyo ile ilgili sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır [23].

2.4. İşbirlikçi Radyo

İşbirlikçi radyo sistemlerinde, Yazılım Tabanlı Radyo (SDR) ile Dik Frekans Bölmeli Çokluma (OFDM) tabanlı erişim teknikleri kullanılır [8]. Bu sistemde N adet gönderici ve i. gönderici ile 1. 2. 3. ... (i-1)'inci göndericilerin mesajlarının taşıdığı, M adet alıcı frekans girişimi kanalı bulunur [8]. Bu senaryoda, bir kullanıcı diğer kullanıcının gönderdiği veri bilgisine de sahiptir. Böylece, bilişsel radyo aynı kanaldan aynı anda gönderim yapabilir ve boşta bekleyen kanal için beklenmemiş olur [8].

Tüm ağlar gibi, kablosuz ağlar da kümelere bölünebilir. Bu kümelereki düğümler, aralarında rekabete girebilirler, tümüyle işbirliğinde bulunabilirler ya da kısmen işbirlikçi davranabilirler [23]. Bu davranış şekilleri Şekil 2.3'te görülmektedir [23].

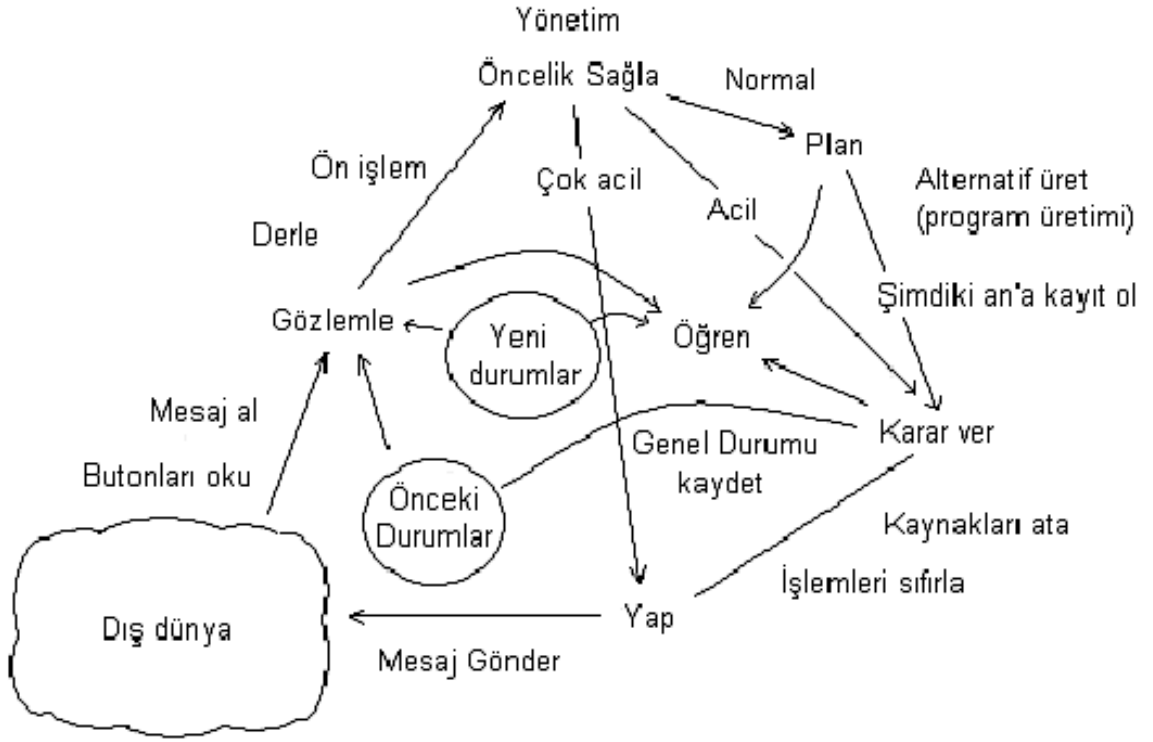


Şekil 2.3 (a) Rekabetçi davranış (bütün mesajlar bağımsız), (b) Bilişsel davranış (ikinci küme birinci kümenin gönderdiği mesajı biliyor), (c) İşbirlikçi davranış (her iki küme birbirinin gönderdiği mesajı biliyor) [23].

Bilişsel radyo sistemi, aşağıdaki işlemleri gerçekleştirebilen, akıllı, çok kullanıcılı kablosuz iletişim sistemidir [23]:

- Sürekli olarak dış dünyayı ve çevreyi algılayıp dinlemek,
- Gelen radyo frekansına göre her alıcıyı, etrafı öğrenip uyum sağlamaya yönlendirmek,
- Kullanıcılar arasında iletişim sağlamak amacıyla organizasyon sağlamak,
- Kaynakların rakip kullanıcılar tarafından yönetimini sağlamak.

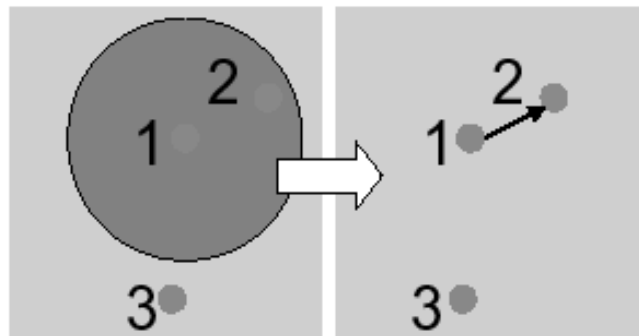
İşbirlikçi radyo mimarisinde elemanlar, bilişsel radyoya ani olarak girer ve cevap için bilişsel döngüye gönderilirler. Bu şekildeki bir bilişsel radyo sürekli olarak çevreyi algılayarak kendi kendini yönetir, planlar yapar, karar verir ve bu kararı yerine getirir. Bilişsel radyo yardımıyla ağ içindeki düğümler çevreye fırsatçı bir şekilde uyum sağlar ve mevcut frekans spektrumunu en iyi şekilde kullanılır [23]. Bilişsel radyo mimarisi Şekil 2.4'te verilmiştir. Bilişsel radyo sisteminde ilk Standard IEEE 802.22 standardıdır [25].



Şekil 2.4 Bilişsel radyo mimarisi [1].

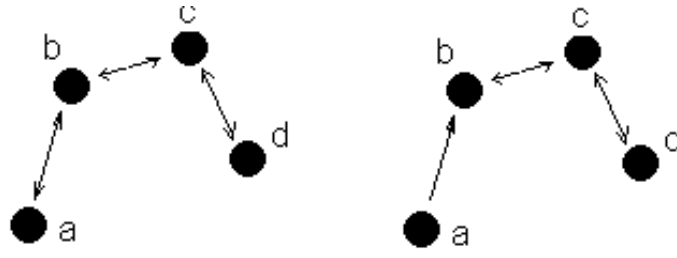
2.5. Topoloji Kontrolü

Topoloji kontrolündeki amaç, topolojideki gönderim gücünü ve kullanılan toplam spektrum miktarını minimum tutmaktır. Burada en önemli kısıtlama, karışimsız kanal seçimidir. Alınan sinyalin gücü her zaman termal gürültüden büyük olmalıdır. Şekil 2.5'te örnek bir bağlantı gösterilmiştir [25].



Şekil 2.5 Düğümler arası sağlanan bağlantı şekilleri.

Bilişsel radyo yapısında Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, bağlantılı ağ durumu için tüm diğer düğümlere çift yönlü yol vardır [25].



(a) Düğüm "a", ağa bağlı (b) Düğüm "a", ağa bağlı değil

Şekil 2.6 Dğümlerin bağıllık durumları.

2.5.1. Bilişsel radyolarda kanal seçimi açısından topoloji

Bilişsel radyolar aralarında kanal karışması olan radyolarla aynı kanalda olamazlar. Bu nedenle, kullanıcılara karışma olmayan kanal indeksi atamak gerekir. Bu atama sırasında (2.1) kullanılarak başka radyoların kullandığı spektrum dışındaki frekanslar seçilir [25].

$$U(ch) = \begin{cases} 1, & \text{ancak ve ancak } ch_i \notin \{ch_j \mid j \in N_i\}; \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.1)$$

Burada ch kanalı, $U(ch)$ seçilecek olan kanalı, ch_i kullanım ve çakışma durumu kontrol edilmekte olan kanalı, ch_j başka düğümler tarafından zaten kullanılmakta olan kanalları, N ise toplam kanal sayısını belirtmektedir. Sonuç olarak, tüm bilişsel radyoların kullandıkları frekansların toplamı bilişsel ağ için kullanılan toplam spektrumu verir. Bu şekilde istenilen denge sağlanıncaya kadar tüm düğümlere kanal çakışması olmayan kanal ataması yapılır. Bu işlem aşağıdaki şekilde çalışır [25]:

- Bilişsel radyolar rastgele sıralanır,
- Bilişsel radyolar sırayla aralarında kanal çakışması olan radyo kanalları dışındaki en düşük kanal indeksini seçer,

Bu şekilde kullanılacak en düşük sayıda kanal kullanılmış olur.

2.5.2. Bilişsel radyolarda topoloji güç kontrolü

Bilişsel radyolarda topoloji güç kontrolü yapmaktaki amaç bağlantıları sağlarken gönderim gücünü de minimize etmektir. Bunun için Delta Yükseltim Algoritması (DIA) stratejisi kullanılır. DIA için: a b c d tam bağlı topoloji düşünülürse; $d(d,a)$, d

ve a arası uzaklığı göstermek üzere, Şekil 2.7 (a)'daki durumda $d(d,a) > d(d,c) > d(d,b) > d(a,b) > d(a,c) > d(b,c)$, a'dan b'ye gelene kadar tüm düğümler daha az güçle iletim yaparlar, bu durumda d düğümü yalnızca b düğümü ile bağlıdır.



Şekil 2.7 (a) Uzak düğüm bağlantısı sağlanmadan önceki durum, (b) Uzak düğüm bağlantısı sağlandıktan sonraki durum.

Bu noktadan sonra problem üç düğüm topolojisine dönüşür ve Şekil 2.7 (b) deki duruma gelir. Gönderim $d(a,b)$ için P_t gücüyle başlar ve $d(a,c)$ bağlantısı sağlandığı sürece δ aralıklarla azalır. Aksi takdirde a bağlantısı kopacağından, a ve c düğümleri güçlerini azaltmayı durdururlar. $P_t = d(a,c)$ ve $d(a,b) > d(a,c)$ olduğundan a-b hattı da en az güçle sağlanmış olur.

2.5.3. Bilişsel radyolarda bilişsel işlem açısından topoloji

OODA döngüsü üzerinde karar verme kısmında DIA ve Yerel-RS kullanılarak karar verilir, yerine getirme kısmında ise göndericinin kullanacağı kanal ve güç ayarlanır. Seçilebilecek karar ve güçler yönetim sisteminden izin alınarak belirlenir. Yönetim sistemi ise izinleri, kanal bağlantısı ve radyo sinyal çakışmaları gözlemlerine dayanarak verir.

2.5.4. Bilişsel radyolarda güç stratejisi açısından topoloji

Bu topolojide yine DIA kullanılır ve her radyo her bir döngüde gücünü belirli bir miktarda azaltır. Fakat bu güç düşürme miktarı asla birden çok düğümlerle bağlantıyı koparacak büyüklükte olmamalıdır. Bu şekilde döngüler sistem en iyi konumunu alana kadar devam eder ve gerekli bağlantılar sağlanmış olur [25].

3. SERVİS KALİTESİ

Ağ İletişimi servis kalitesi, ağ üzerindeki uygulamalara öncelik vererek, zaman kaybını azaltmayı, BER'i (Bir Hata Oranı) azaltmayı ve yüksek veri oranı sağlamayı hedefleyen bir kavramdır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda IEEE 802.16 ağları üzerine odaklanılmıştır. IEEE 802.16 kablosuz sistemlerinde iyi bir QoS sağlamak amacıyla, etkin çıktı oranı ve gecikme gibi başarımları belirleyici unsurların en iyi değerlerde olması için, parametrelerin iyi seçilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde yapılan çalışmada, hem yükleme (UL) hem de indirme (DL) için en az bant genişliği kullanımı ile en iyi etkin çıktı oranının elde edilebileceği parametre değerleri belirlenmiştir. En az gecikme ve en çok etkin çıktı oranı ile, QoS'in en iyi şekilde sağlanması için gerekli parametre değerleri, MATLAB ortamında geliştirilen ayrı simülasyon programları ile belirlenmiştir.

IEEE 802.16 protokolünde paket boyutu ve baz istasyonu özelliklerinin yanı sıra maksimum gönderilebilir birim (MTU), hat hızları gibi parametrelerin, simülasyon programlarıyla, en düşük gecikme değerleri için ve en doğru şekilde seçilmesi sağlanmıştır.

3.1. IEEE 802.16 Sisteminde Etkin Çıktı Oranı Başarımı

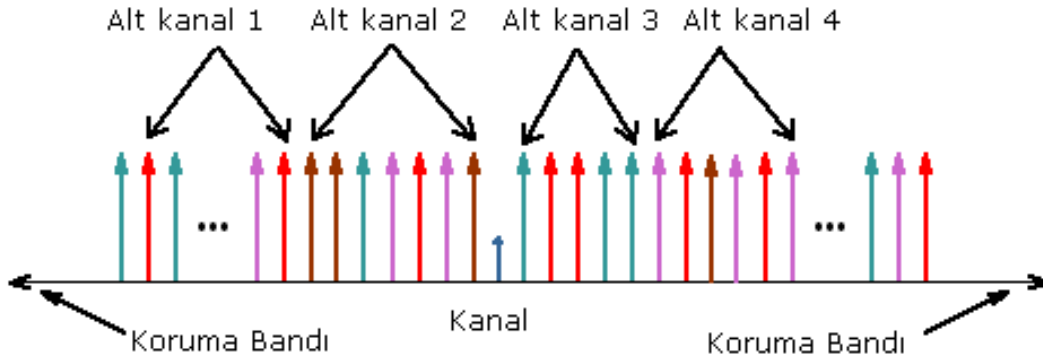
Bu bölümde bir WIMAX sisteminin yapılandırılması sağlanmış ve bu yapılandırmanın etkin çıktı oranı üzerindeki mevcut etkileri incelenmiştir [26]. Sistemdeki veri gönderim gecikmesi azaltıldığında etkin çıktı oranı yüksek değerlere ulaşacak ve dolayısıyla QoS artacaktır. Bu durum ise, akıcı video ve VoIP (IP üzerinden ses iletişimi) gibi geniş bant servislerini etkin kılacaktır. Yüksek etkin çıktı oranı başarımı ile WIMAX ve kablolu sistemler arası bağlantı güçlenecektir.

Öte yandan çoklama da yine daha iyi bir başarımları ile sağlanacaktır. Bu bölümde, hangi faktör ya da faktörlerin etkin çıktı oranını en çok etkilediğini gözlemleyebilmek için kod oranı, alt kanal sayısı ve QAM (Dörtlü Genlik Modülasyonu) seviye sayısının etkin çıktı oranına etkileri incelenmiştir.

Kablosuz veri transferi, kablolu sistemler kullanmaktan çok daha ucuz olduğundan WIMAX sistem yapısı günümüzde birçok ülkede deneme aşamasındadır. IEEE 802.16j ile WIMAX sistemlere çok sekmeli iletişim de katılmıştır [11] , bu, standart kablolu ve kablosuz sistemleri yakınsatmıştır. Gezgin WIMAX hava ara yüzü, alıcı ve verici birbirlerini doğrudan görmediği durumlarda (non-LOS (Görüş Çizgisi olmayan)) çok yollu başarımı için OFDM kullanır. Burada gezgin WIMAX ölçeklenebilir OFDM kullanır ve bu yolla 1.25 MHz – 20 MHz arası frekanslar desteklenir [8]. WIMAX, alt kanallar, çoklu anten teknikleri, yüksek seviyeli kodlama teknikleri ve farklı modülasyonlar kullandığından, yüksek etkin çıktı oranlı servis sağlar. Bu noktada en çok, fiziksel katman özelliklerine ve etkin çıktı oranı başarımına odaklanılmıştır.

3.1.1. Fiziksel katman

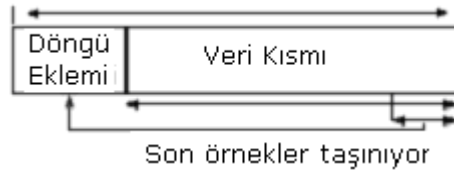
Mevcut WIMAX fiziksel katmanında OFDM tekniği kullanılır. Bu teknikte kullanılabilir frekans aralığı dik alt taşıyıcı aralıklarına bölünür ve girdi Şekil 3.1 de görüldüğü gibi alt parçalara bölünerek paralel bir şekilde gönderilir [8].



Şekil 3.1 OFDM sistem çalışma ilkesi.

Gezgin WIMAX ağlarında çoklu kullanıcı için yükleme ve indirme erişimlerinin ikisi de OFDM ile sağlanır.

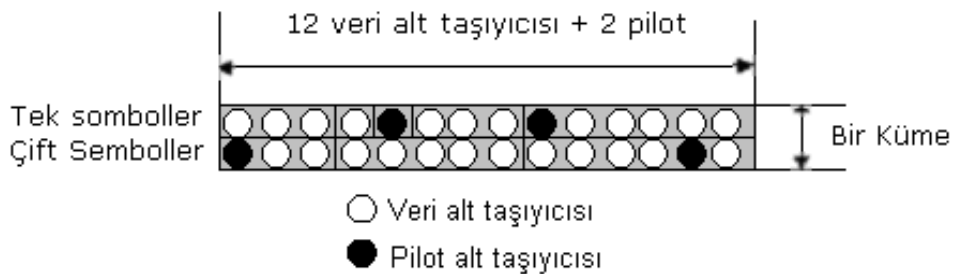
Sembol aralığındaki artış, gecikme yayılımı açısından bize daha iyi bir sistem sağlayacaktır. Bu noktada Şekil 3.2’de görüldüğü gibi veri kısmının son örneklerinin çerçevenin başına eklendiği Döngü Ekleme (CP) adlı bir kavramla tanışılmış olur.



Şekil 3.2 Döngü eklemi

OFDM, veri gönderimi için kullanılan veri alt taşıyıcısı, tahmin ve eşleme için kullanılan pilot alt taşıyıcıları ve koruma bandı olarak kullanılan boş alt taşıyıcılar olmak üzere 3 alt taşıyıcı tipi içerir. Veri ve pilot alt taşıyıcıları, aktif alt taşıyıcılar olarak bilinirler. Hem yükleme hem de indirme alt taşıyıcıları altında bir gruplandırma yapılır ve bu gruplar alt kanal olarak adlandırılırlar. Bu alt kanallama 48 eşit veri tonu bölmelerinden oluşur ve bu bölmelerden 44 tanesi veri gönderimi için kullanılacaktır [8; 9].

Alt kanal atama için 2 tip alt taşıyıcı çeşidi vardır. Bunlar çoklama taşıyıcıları ve sürekli taşıyıcılar olarak bilinirler. Çoklama çeşitlerinde alt taşıyıcılar rasgele yapılandırılmış ve alt kanal oluşturulmuştur. Çoklama çeşitliliği DL FUSC (tam kullanımlı indirme alt taşıyıcısı), DL PUSC (kısmi kullanımlı indirme alt taşıyıcısı) ve UL PUSC (kısmi kullanımlı yükleme alt taşıyıcısı) içerir. Çoklama alt taşıyıcı çeşitleri gezgin uygulamalarda sürekli alt taşıyıcılar ise sabit ya da az hareketli uygulamalarda daha iyi sonuçlar verir [8]. DL PUSC ile her OFDM sembol çifti için, erişilebilir ya da kullanılabilir alt taşıyıcılar sembol başına 14 sürekli alt taşıyıcıdan oluşan kümelere gruplanmıştır. Bu gruplama tek ve çift her sembol için her kümede pilot ve veri alt taşıyıcı atamaları yapılarak Şekil 3.3'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir [9].

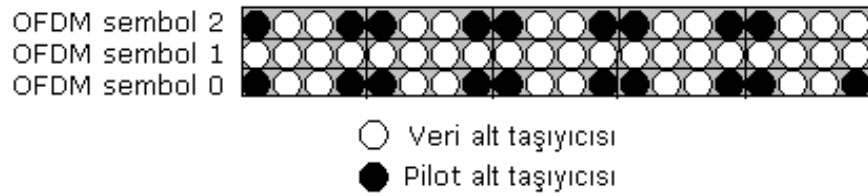


Şekil 3.3 DL PUSC için alt kanal yapısı.

Küme gruplarını biçimlendirmek için, yeni bir düzenleme şeması kullanılmıştır. Böylece her grup, alt taşıyıcı boşluğundan dağıtılan kümeden oluşmuştur. Bir grupta bulunan alt taşıyıcılar, her biri 48 veri alt taşıyıcısı ve 8 pilot alt taşıyıcısından oluşan 2 kümeden oluşur [9].

UL PUSC'ta, elde olan spektrumdan seçilen erişilebilir alt taşıyıcı boşluğu yeniden düzenleme planına göre altı parçaya bölünmüştür. Bölme (Slot) 3 OFDM sembolünde 48 veri alt taşıyıcısı ve 24 pilot alt taşıyıcısı içerir [9].

Bir blok sürekli alt taşıyıcı alt kanal oluşturulmak üzere gruplanır. UL PUSC için alt kanal yapısı Şekil 3.4'te verilmiştir [9].



Şekil 3.4 UL PUSC için alt kanal yapısı.

OFDMA farklı kullanıcılara farklı taşıyıcı kümeleri atanarak çalışmaktadır. Bu en kolay, X adet taşıyıcının Y alt kümeye bölünmesi ile her kümeye X/Y taşıyıcı ve her kullanıcıya bir alt küme atanarak yapılır. Böyle bir OFDMA sisteminde, baz istasyonundan aynı anda Y adet kullanıcı servis alabilecektir [27]. OFDMA çok kullanıcıli sistemlerde çakışmayı azaltır ve bir sektör içindeki çoklu kullanıcılara dik taşıyıcılar atar. Bu sistem alt kanallar sayesinde esnek frekans yeniden kullanım yapısına sahiptir [8].

S-OFDMA (Ölçeklenebilir OFDMA) parametreleri Çizelge 3.1'de listelenmiştir [9]. Planlanan tercihlerden ikisi için WIMAX Forum Teknik Çalışma Grubu tarafından geliştirilmekte olan sistem bant genişlikleri 5 MHz ve 10 MHz'dir.

Değişik modülasyon tekniklerinin ve kod oranlarının kombinasyonu ile PUSC alt kanallı 5 MHz ve 10 MHz kanallar için veri oranları Çizelge 3.2'de gösterildiği gibidir ve iyi bir kararlılık sağlar. Çerçeve süresi 5 ms'dir ve her çerçeve 48 OFDM sembolü içerir [9].

Çizelge 3.1 OFDMA parametreleri [9]

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 µs	
Koruma Süresi	11.4 µs	
OFDMA Sembol Süresi	102.9 µs	
OFDMA Sembol sayısı	48	

Bu noktada, etkin çıktı oranı başarımının; QAM seviye sayısı, kod oranı ve alt kanal sayısı gibi parametrelerin değişiminden nasıl etkileneceği incelenmiştir. Bu parametrelerin değişimine göre, etkin çıktı oranı değişiminin grafiksel olarak incelenebilmesi için, bu parametrelerin diğerlerinden hesaplanabileceği şekilde ayrı ayrı formülize edilmesi gerekir.

Çizelge 3.2 PUSC alt kanallı gezgin WIMAX'in fiziksel veri oranları [9]

Parametre	İndirme	Yükleme	İndirme	Yükleme	
Bant genişliği	5 MHz		10 MHz		
FFT Boyutu	512		1024		
Boş alt taşıyıcı	92	104	184	184	
Pilot alt taşıyıcı	60	136	120	280	
Veri alt taşıyıcı	360	272	720	560	
Alt kanallar	15	17	30	35	
Smb. (Sembol) Periyodu	102.9µs				
Çerçeve (ms)	5 ms				
OFDM smb./çerçeve	48				
Veri OFDM smb.	44				
MOD	Kod oranı	5 MHz Kanal		10 MHz Kanal	
		İndirme	Yükleme	İndirme	Yükleme

Çizelge 3.2 devam ediyor...

QPSK	½ CTC 6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	½ CTC 4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	½ CTC 2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	½ CTC 1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	¾ CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16 QAM	½ CTC	6.34	4.57	12.67	9.41
	¾ CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64 QAM	½ CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3CTC	12.67	9.14	25.34	18.82
	¾ CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6CTC	15.84	11.42	31.68	23.52

3.1.2. Etkin çıktı oranlarının saptanması

Geliştirilen uygulama programında asıl amaç yükleme etkin çıktı oranı (UT) ve indirme etkin çıktı oranı (DT) hesaplamalarını yapmaktır. Bu parametreler;

$$UT = \frac{\text{Saniyedeki sembol sayısı} \times \text{UL Veri alt taşıyıcıları} \times \text{baud başına bit} \times \text{kod oranı}}{10^6} \text{Mbits} \quad (3.1)$$

$$DT = \frac{\text{Saniyedeki sembol sayısı} \times \text{DL Veri alt taşıyıcıları} \times \text{baud başına bit} \times \text{kod oranı}}{10^6} \text{Mbits} \quad (3.2)$$

şeklinde açıkça formülize edilebilir. Fakat sonuçların elde edilebilmesi için eşitliklerin daha detaylı incelenerek, eşitliği oluşturan parametrelerin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

3.1.2.1. Saniyedeki sembol sayısı

Çizelge 3.2'den de görüldüğü gibi, çerçeve süresi (FL) gezgin WIMAX için 5 ms olarak seçilmiştir. Bu ise, bir çerçeve süresinin (1/200) saniye olacağı anlamına gelmektedir. O halde saniyedeki OFDMA sembol sayısı;

$$\text{Saniyedeki sembol sayısı} = 200 \text{ çerçeve / saniye} \times (44 / 48) \times \text{OFDMA sembol / çerçeve} \quad (3.3)$$

şeklinde, bir çerçeveye düşen sembol sayısı ise,

$$\begin{aligned} OFDMA \text{ smb} / \text{çerçeve} &= FLms \times \frac{48 \text{ OFDMA smb.}}{5 \text{ ms} / \text{çerçeve}} \\ &= FL \times 9,6 \text{ smb./çerçeve} \\ &= 9 \text{ smb./çerçeve} \end{aligned} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanabilir.

3.1.2.2. İndirme ve yükleme alt taşıyıcıları

Bir gruptaki alt kanal iki kümeden oluşur ve indirme PUSC için 48 veri alt taşıyıcısı ile 8 pilot alt taşıyıcısı içerir. Bu durum, veri alt taşıyıcılarının pilot alt taşıyıcılarına oranının $48/8=6$ olduğunu gösterir. Bu nedenle;

$$\text{Veri alt taşıyıcısı sayısı} = 6 \times \text{pilot alt taşıyıcı sayısı} \quad (3.5)$$

eşitliği elde edilir [26]. Burada pilot alt taşıyıcıları her kanal için 48'de 4 olarak ayarlanmıştır ve taşıyıcı sayısı;

$$\text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} = 4 \times \text{alt kanal sayısı} \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Kalan alt taşıyıcılar kullanılmayacak ve boş alt taşıyıcılar (NSC) olarak kalacaklardır. NCS sayısı ise;

$$NSC = FFT \text{ boyutu} - (\text{pilot alt taşıyıcıları} + \text{veri alt taşıyıcıları}) \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanacaktır [26].

Yükleme PUSC için, 48 veri alt taşıyıcısından oluşur ve her OFDM sembolünde 24 pilot alt taşıyıcısı içerir [26]. Bu şekilde, veri alt taşıyıcılarının pilot alt taşıyıcılarına oranı $48/24=2$ olur ve veri alt taşıyıcı sayısı;

$$\text{Veri alt taşıyıcısı sayısı} = 2 \times \text{pilot alt taşıyıcı sayısı} \quad (3.8)$$

olarak ifade edilir. DL PUSC de bir gruptaki bir alt kanal, 2 küme içerip, 48 veri alt taşıyıcısı ile 8 pilot alt taşıyıcısından oluştuğundan, pilot alt taşıyıcı sayısı;

$$\text{Pilot alt taşıyıcı sayısı} = 8 \times \text{alt kanal sayısı} \quad (3.9)$$

olarak gösterilir [26]. Kalan alt taşıyıcılar yine kullanılmayacak ve NSC olarak kalacaklardır. NSC sayısı yine (3.7) deki gibi hesaplanabilecektir [26]. Yükleme ve indirme alt taşıyıcıları için, FFT boyutu bize veri, pilot ve boş alt taşıyıcı sayılarının toplamını verecektir. FFT boyutu;

$$\text{FFT boyutu} = \text{Sistem Bant genişliği} \times 1024 / 10\text{Mhz} \quad (3.10)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

3.1.2.3. Baud başına bit sayısı

Baud bit sayısı QAM seviyelerini yönetebilmek için gerekli olan bit sayısıdır ve

$$\text{Baud başına bit sayısı} = \log_2 (\text{QAM seviye sayısı}) \quad (3.11)$$

olarak hesaplanabilir. Burada kullanılacak olan QAM seviye sayısı, tercihe göre değiştirilebilir bir parametre değeridir.

3.1.2.4. Sürelerin hesaplanması

Alt taşıyıcı frekans boşluğunu 10.94 kHz de sabitlenirken, kullanılabilir sembol süresi,

$$\text{kullanılabilir sembol süresi} = 1 / \text{alt taşıyıcı frekans boşluğu} \quad (3.12)$$

$$\text{koruma süresi} = \text{kullanılabilir sembol süresi} / 8 \quad (3.13)$$

$$\text{OFDM Sembolü süresi} = \text{koruma süresi} + \text{kullanılabilir sembol süresi} \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanır [9]. Bu noktaya kadar incelenmiş olan parametrelerin formülleri UL ve DL için etkin çıktı oranının hesaplanması için gereklidir. Bu

parametre ve eşitliklerin kullanımı ile her bir parametrenin etkin çıktı oranına etkisi simülasyon programı yardımıyla gözlemlenmiştir.

3.1.3. WIMAX sisteminde etkin çıktı oranı başarımı

Koruma süresi, kullanılabilir sembol süresi ve OFDM sembol süresi değerleri sadece sistem bant genişliğinden yola çıkılarak hesaplanır. MATLAB ortamında geliştirilen simülasyon programında, etkin çıktı oranı'nı etkileyen parametreler incelenirken varsayılan değerler olarak Çizelge 3.3'te belirtilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Simülasyonda kullanılan varsayılan değerler

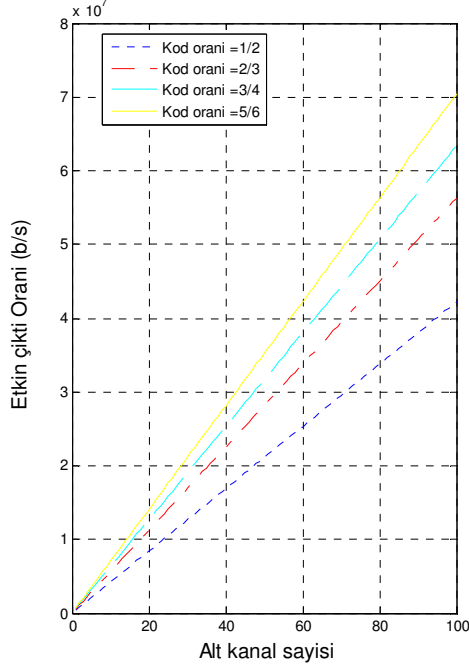
Parametre	Varsayılan değer
Kod oranı	1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Çerçeve Süresi	5 ms
QAM seviye sayısı	64
Alt kanal sayısı	15(UL), 17 (DL)
Alt taşıyıcı frekans boşluğu	10.94
Sistem Bant genişliği	5 Mhz

3.1.3.1. Alt kanal sayısının farklı kod oranları için etkin çıktı oranına etkisi

Çizelge 3.3'te verilmiş olan varsayılan parametre değerlerinin kullanımı ile bant genişliği artırılarak artan alt kanal sayısı 1 alt kanaldan 100 alt kanala kadar arttırarak değiştirildiğinde Şekil 3.5'teki alt kanal sayısının değişik kod oranları için UL ve DL etkin çıktı oranına etkisi grafiği elde edilmiştir. Yükleme ve indirme etkin çıktı oranı hesaplamalarında kendi alt taşıyıcı (veri ve pilot alt taşıyıcıları) sayı değerleri kullanılmıştır.

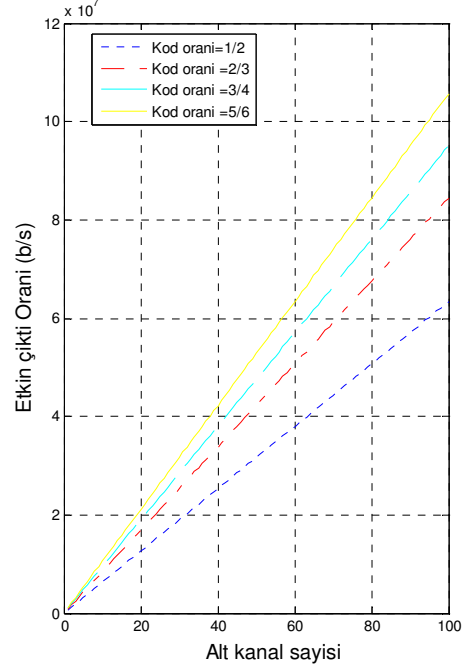
Simülasyondan çıkarılan sonuçlara göre, artırılan bant genişliği ile birlikte artacak olan alt kanal sayısı ile etkin çıktı oranı üzerinde oldukça önemli ölçüde bir artış olacağı ve bu parametrenin etkin çıktı oranı açısından oldukça önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Alt kanal sayısı ve kod oranının UL etkin çıktı oranına etkisi



(a)

Alt kanal sayısı ve kod oranının DL etkin çıktı oranına etkisi



(b)

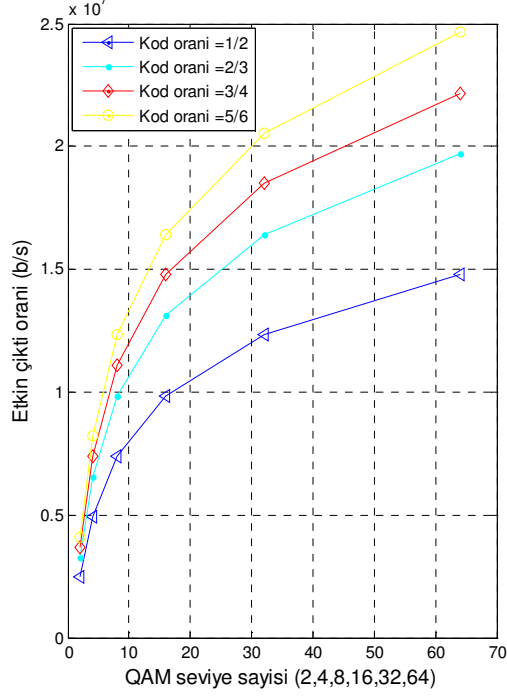
Şekil 3.5 Alt kanal sayısının değişik kod oranları için a) UL ve b) DL etkin çıktı oranına etkisi

3.1.3.2. QAM seviye sayısının etkin çıktı oranına etkisi

Çizelge 3.3'te verilmiş olan varsayılan parametre değerlerinin kullanımı ile, baud oranı 1 den 6'ya kadar, yani QAM seviye sayısı 2 den 64'e kadar, değiştirildiğinde farklı kod oranları (1/2, 2/3, 3/4, 5/6) ile yükleme ve indirme için elde edilen etkin çıktı oranı grafiği Şekil 3.6'da verilmiştir. Yükleme ve indirme etkin çıktı oranı hesaplamalarında yine kendi alt taşıyıcı (veri ve pilot alt taşıyıcıları) sayıları kullanılmıştır.

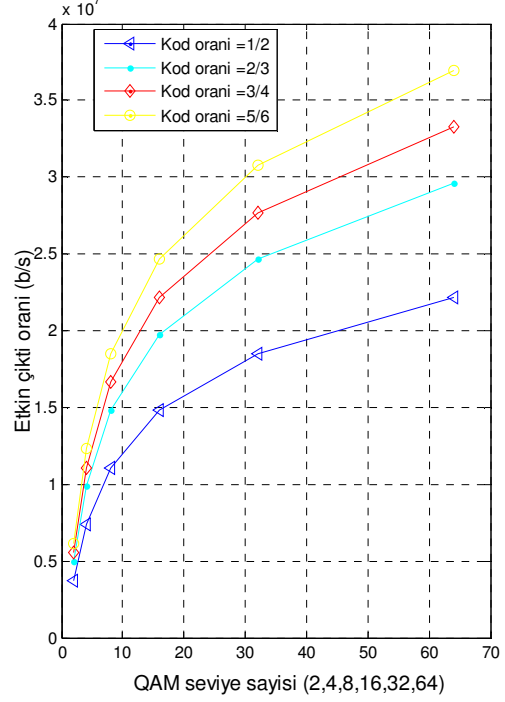
Elde edilen sonuçlara göre, ne kadar yüksek modülasyon seviye değerine sahip olunursa, sistemden o kadar yüksek etkin çıktı oranı alınacağı saptanmıştır. Ancak, Şekil 3.6'da de görülmüştür ki QAM seviyesinin arttırılmasıyla etkin çıktı oranında pozitif yönde oluşan artış, artan QAM seviye sayısı ile yine pozitif yönde olmakta, ancak bu pozitif etkisini azaltarak devam etmektedir. Bu nedenle gereksiz yere daha fazla bant genişliği harcamadan daha iyi başarımlar elde edebilmek için uygun bir baud oranı değeri ya da QAM seviye sayısı seçimi kullanışlı olacaktır.

Farklı QAM seviyeleri ve kod oranları için UL etkin çıktı oranı



(a)

Farklı QAM seviyeleri ve kod oranları için DL etkin çıktı oranı



(b)

Şekil 3.6 Farklı QAM seviye sayısının, değişik kod oranları için a) UL ve b) DL etkin çıktı oranına etkisi

3.2. IEEE 802.16 Üzerinden Ses İletiminde Gecikme Faktörlerinin Analizi

Paketlerin bir ağ üzerinde gönderimleri sırasında düğümlerde ya da yönlendiricilerde ani sıkışıklıklar meydana gelebilir. Paketler oluşan bu sıkışıklıklar nedeniyle kayıp olabilirler. Paketlerin, hem kayıp oranları hem de gecikme miktarları ses görüşmelerinin kalitesini yakından etkiler [28].

Bu bölümde ses paketlerinin uluslararası ağa açık olan IEEE 802.16 ağında uğradığı gecikmeler mercek altına alınmıştır [29]. Geliştirilen simülasyon programı yardımıyla paket boyutu, çekirdek ağ hat hızı, İnternet servis sağlayıcı hat hızı, kablosuz ağ iletim hızı, kablosuz uzaklık, baz istasyonu menzili ve İnternet Protokolü içerisinde paketleri gecikmeye maruz bırakacak parametreler incelenmiştir. Bu incelemeler sırasında tüm gecikme parametreleri varsayılan değerlerine sabitlenerek, mercek altına alınan her bir parametre değeri belirli bir aralıkta 100 eşit adımda değiştirilmiş, her bir iterasyon sonucunda elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Bu yolla, paket gecikmesinde etkisi en çok

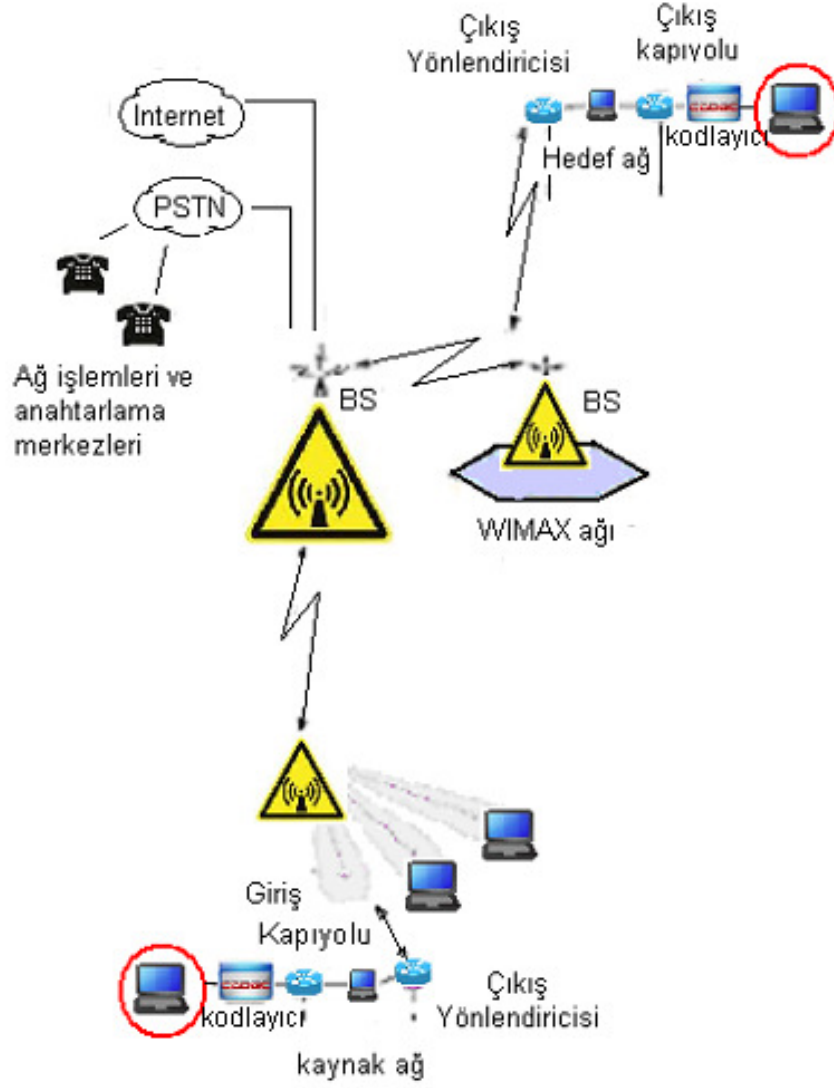
olan parametrelerin saptanması amaçlanmıştır. Gözleme sonucunda, her bir parametrenin değişik değerleri için oluşan gecikme miktarları belirlenerek grafiklerde verilen şartlar altında oluşabilecek sabit ve değişken gecikme miktarları minimum ve maksimum gecikme miktarları türünden belirtilmiştir. Burada sabit gecikme, sistemde verilen parametre değerlerine göre her halükarda oluşacak olan ve sistem yükünden bağımsız olan gecikme miktarını, değişken gecikme ise sabit gecikme ile, ağı yük durumuna göre değişkenlik gösterebilecek olan diğer gecikmelerin toplamını ifade etmektedir. Simülasyonda, ön bakış gecikmesi (sabit gecikme), kod çözme (sabit gecikme) ve sıkıştırma gecikmesi (sabit gecikme), paketleme gecikmesi (sabit gecikme), serileme gecikmesi (sabit gecikme), anahtarlama gecikmesi (sabit gecikme), yayılım gecikmesi (sabit gecikme), bekleme gecikmesi (değişken gecikme) ve sıkışıklık gecikmesi (değişken gecikme) gibi tüm sabit ve değişken parametreler üzerinde durulmuştur.

IEEE 802.16 teknolojisi geliştirmekte olan ülkelerdeki yerleşim yerlerinde, yüksek hızlı Internet sağlama amacıyla geliştirilmektedir [30]. Bu sistem, birden çok problemin çözümü ile geliştirilmiş QoS sağlamayı amaçlamaktadır. Servis kalitesi, minimum bant genişliği kullanımı konusunda, VoIP için de diğer IP (Internet Protokolü) servisleri kadar kritik bir kavramdır.

3.2.1. Gecikme faktörleri

Paket ağları, paket anahtarlama ilkeleri ile çalışırlar. Bu nedenle bir IP yada WIMAX ağındaki ses, hedefe her biri farklı yönlerden giden paketler halinde gönderilir ve her bir paket hedefe farklı gecikmelere maruz kalarak ulaşır. Bu bölümde geliştirilen bir simülasyon programı ile, ele alınan gecikme parametreleri tanımlanmıştır. Genel ağ yapısı Şekil 3.7'de, simülasyonda kullanılan varsayılan parametre değerleri ise Çizelge 3.4'te verildiği gibidir.

Ağ yapısı, tipik olarak, kaynak ağ, hedef ağ ve ağın içyapı kısmı olarak düşünülmektedir. Paylaşılan Internet ortamı ise çekirdek ağ olarak adlandırılmıştır. Kullanılan senaryoda varsayılan durum için paket akışı aşağıdan yukarıya doğrudur. Ters yöndeki akışlar için kaynak ve hedef ağların isimleri yer değiştirmiş olur. Aksi belirtilmediği takdirde, kaynak ve hedef ağlar gecikme analizi bakımından özdeş kabul edilmiştir.



Şekil 3.7 Simülasyon programında kullanılan ağ yapısı.

Çizelge 3.4 Simülasyonda kullanılan parametre değerleri

Parametre Adı	Varsayılan Değer	Minimum Değer	Maksimum Değer
Paket boyutu	64 Bayt [31]	64 Bayt [31]	1024 Bayt [32]
ISP (Internet servis sağlayıcı) hat hızı	15444 kbps [33]	128 kbps	20480 kbps
Çekirdek ağ hızı	15444 kbps [33]	128 kbps	15444 kbps
WIMAX kablosuz ağ hızı	70000 kbps [8]	10 kbps	70000 kbps
Baz istasyonu menzili	10000 metre [8]	1000 metre	50000 metre [8]
Ağ MTU değeri	1500 Bayt [34]	108 Bayt [8]	16384 (2^{14}) Bayt
Kablosuz alan uzaklığı	149000 metre	1000 metre [35]	1000000 metre
Baz istasyon gecikmesi	10 ms [36]	5 ms	100 ms

Kaynak ağ tarafında, analog ses sinyalleri ses kodlayıcıları ve Darbe Kodu Modülasyonu (PCM) kullanılarak sayısallaştırılırlar. Daha sonra PCM örnekleri sıkıştırılarak paket biçimine çevrilip gönderime hazır hale getirilirler.

Bazı ağ yapılandırmaları için, ara yönlendiriciler aynı zamanda kodlayıcı ve sıkıştırma işlevlerini de görebilirler. İlerleyen alt konularda, belirtilen değişik tiplerdeki gecikmeler, aksi belirtilmediği takdirde milisaniye (ms) türünden tanımlanmıştır.

3.2.1.1. Ön bakış gecikmesi

Farklı standartlar kullanan kodlayıcılar, normal olarak farklı boyutlarda ses blokları kullanabilirler. Örneğin G.729.A kodlayıcısı tarafından kullanılan blok boyutu 10 ms iken G.723.1 kodlayıcısı tarafından kullanılan blok boyutu 30 milisaniyedir [37]. Bir önceki paket sıkıştırılırken, işlenmekte olan paket kontrol edilir, fakat gönderimin en başındaki ilk paket için böyle bir işlem tabii ki imkânsızdır. Bu yolla “Ön bakış gecikmesi” adlı sabit ve 5 milisaniyelik bir gecikme meydana gelir [38].

3.2.1.2. Kod çözme ve sıkıştırma gecikmesi

VoIP uygulamalarında, genelde ortalama fikir derecesi (MOS) 4.2 olan G.729 A tipi kodlayıcılar kullanılır [39; 40; 41]. Böyle bir derece ile, kalite neredeyse tam olarak sağlanmaktadır. Bu tip kodlayıcılar 8 kbps modülasyon oranına sahiptir ve sadece 10 milisaniye paket kodlama gecikmesi oluştururlar [39; 40; 41].

3.2.1.3. Paketleme gecikmesi

Çözölmüş ve sıkıştırılmış bir veri paketinin paketlenmesi için geçen zamana paketleme gecikmesi denir. İyi bir iletişim kalitesinin sağlanması için paketleme gecikmesinin az olması gerekir. Paketleme işlemi ses verisinin bir arabelleğe yüklenmesi sonucunda olacaktır. Bu noktada arabellek zamanı 10 ms altında olduğu sürece, sıkıştırma ve arabellek süreçleri, paralel olarak gerçekleşecek ve arabellekte hiçbir ekstra gecikme oluşmayacaktır [38]. Aksi halde arabellek zamanı, sıkıştırma zamanını geçecek ve artan zaman periyodu arabellekte oluşmuş olan toplam gecikme miktarına eklenecektir.

3.2.1.4. Serileme gecikmesi (SD)

Veri ve ses paketlerin çekirdek ağa aktarılması kaynak ağın giriş kapıyolu noktasında gerçekleşir ve bu işlem, serileme gecikmesi adı verilen, ekstra bir gecikmenin oluşmasına neden olur [40]. Serileme Gecikmesi;

$$SD = \frac{(Paket\ boyutu + 48) \times 8}{Hat\ Hızı} \quad (3.15)$$

ile hesaplanır. Burada “Paket boyutu” yüklenen ortalama Bayt miktarını, 48 ise Gerçek Zaman Protokolü (RTP), Kullanıcı Veri bloğu Protokolü (UDP) ve IP’yi, içeren RTP/UDP/IP tarafından eklenen Bayt miktarını temsil etmektedir [40]. Bir Ethernet veri paketi, 14 Bayt (MAC Başlığı) + 46 Bayt (Veri) + 4 Bayt (CRC (Döngü Tekrar Kontrolü)) olmak üzere en az 64 Bayt olabilir [31]. Bir ağ üzerindeki IP paketi ağ üzerinde, aşağıda verilen gecikme miktarlarına maruz kalırlar. G729A tipi ses kodlayıcısı kullanılacağı durumda (8 kbps ile 10 ms gecikme) paket kodlayıcıya, veri bloğunun 10 Bayt’lık kısmına ses verisi yazılarak iletilir.

3.2.1.5. Anahtarlama gecikmesi

Paketler kaynak ağdaki her bir anahtarda ortalama 10 ms, çekirdek ağdaki her bir anahtarda ise 1 ms beklerler [38]. Sonuçta anahtarlama gecikmesi;

$$Anahtarlama\ gecikmesi = Kaynak\ ağdaki\ yönlendirici\ anahtar\ sayısı \times 10ms + Çekirdek\ ağdaki\ yönlendirici\ anahtar\ sayısı \times 1 \quad (3.16)$$

olarak hesaplanacaktır. (3.16)’da simülasyon senaryosunda olduğu gibi kaynak ve hedef ağlarında 1 sekme olduğu varsayılmıştır.

3.2.1.6. Yayılım gecikmesi (PD)

Bir elektromanyetik sinyalin ışık hızının yaklaşık üçte ikisi oranında bir hızla yol aldığı bilinmektedir. Bu nedenle (3.17)’deki gibi basit bir hesaplama ile her km de 5 mikro saniyelik ekstra bir gecikme oluşacağı söylenebilir.

$$PD = Uzaklık (km) \times 5\mu s \quad (3.17)$$

3.2.1.7. Veri kuyruk gecikmesi (DQD)

Paketler ağa seri bir şekilde sürülürler, bu nedenle tüm paketler düğümlerde sıraya girecek ve sırayla işleneceklerdir. Fakat paket boyutuna bağlı olarak, her paketin bekleme süresi de birbirinden farklı olacaktır. Bu bekleme süreleri gönderilen IP paket türü ve boyutu ile de yakından ilgilidir. Bu zorluklar nedeniyle, veri kuyruk gecikme süresi kolay formülize edilir bir parametre değildir. Simülasyonda, sadece veri ve ses paketleri gönderimi olduğu varsayıldığından, ağda video paketi bulunmayacak ve ses paketleri kuyruklara geldiklerinde öncelikleri sayesinde veri paketlerinin üzerinden atlayarak işlenmek için işleme alınacaklardır. Bu yolla bir ses paketi kuyrukta sadece işlenmekte olan paketin kalan kısmının da bitmesi için bekleyecektir. Bu varsayımla, kesin bir kuyruk gecikmesinin formülize edilmesi imkânsızdır. Ancak, işlenmesi beklenen paketin ortalama büyüklükte bir paket olduğu ve yarısının işlenmiş yarısının ise işlenmesinin beklenecek olduğu varsayılarak veri kuyruk gecikmesi;

$$\begin{aligned} DQD &= \frac{APL}{2} \times \frac{1000}{\left(\text{Hat hızı} \times \frac{1000}{8} \right)} \\ &= \frac{(APL \times 8000)}{2 \times 1000 \times \text{Hat hızı}} \end{aligned} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilebilir [40]. Burada APL ortalama paket uzunluğunu, DQD ise veri kuyruk bekleme süresini temsil etmektedir. Veri kuyruk gecikmesi, en kötü koşul varsayımıyla hesaplanacak olursa, paket boyutu APL/2 yerine (MTU+48) alınacak ve veri kuyruk gecikmesi;

$$DQD = \frac{(MTU + 48) \times 8}{\text{Hat Hızı}} \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanacaktır. Burada MTU, transfer edilebilir maksimum birim'i ifade etmektedir. Rota üzerinde kuyruğa girilecek olan her bir düğümden, en kötü ihtimalle bu gecikme miktarı oluşacaktır.

3.2.1.8. Ses / veri sıkışıklık gecikmesi (VDCD)

Ağ üzerinde sıkışıklık yaşanması durumunda, ses ve veri paketlerinin birbirleriyle mücadelede girmesi sonucunda meydana gelen ses/veri sıkışıklık gecikmesi;

$$VDCD = \left(\frac{(MTU + 48) \times 8}{\text{Hat Hızı}} \right) \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada ses paketi, veri paketlerine karşı sahip olduğu önceliğinden dolayı sıranın en önüne geçse dahi, işlenmeye başlanmış olan veri paketinin işlenmesini beklemek zorundadır. Bu eşitlikteki MTU, bir ses paketinin en kötü durumda, MTU kadar büyük bir veri paketin işlenmeye henüz başlanmış olması durumunu ifade etmek için kullanılmıştır.

3.2.1.9. Ses / ses sıkışıklık gecikmesi (VVCD)

Bir IP ağındaki ses paketleri, bant genişliği için sadece veri paketleri ile değil, aynı zamanda diğer ses paketleri ile de mücadele ederler. Paketlerin hatta verilme gecikmesi, paketlerin üzerlerinden geçeceği yönlendirici sayısı ve ses / veri paketlerinin hat kullanım oranlarının, tamamının bu trafik sıkışıklığı ile yaratılmış olan gecikmeye önemli etkisi vardır. Tüm bu etkilerin hesaba katıldığı eşitlik,

$$VVCD = \frac{(SD \times N \times (SesPB / (SesPB + VeriPB)))}{2 \times (1 - (SesPB / (SesPB + VeriPB)))} \quad (3.21)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N parametresi, paketin üzerinden geçecek olduğu yönlendirici sayısını, *SesPB* ağdaki ses paketlerinin boyutunu ve *VeriPB* ağdaki veri paketlerinin boyutunu temsil etmektedir.

3.2.1.10. Ses çözüm gecikmesi

Kodlanmış olan paketler, daha sonra alıcı tarafında tekrar çözülmelidirler. Çözüm süresi ve kodlama süreleri, kodlayıcı çalışma ilkesi gereği birbirine eşittir [40].

$$\text{Ses Çözüm Gecikmesi} = \text{Ses kodlama süresi} \quad (3.22)$$

G.729 A kodlayıcıları [39], her paket için 10 ms'lik kodlama süresi gerektirirler [40; 41], bu nedenle çalışmadaki simülasyonda da çözüm süresi bu şekilde hesaba katılacaktır.

3.2.2. IEEE 802.16 gecikme analizleri simülasyon sonuçları

IEEE 802.16 protokolü üzerinden ses iletiminde, gecikme faktörlerinin analizi için geliştirilen simülasyon programının yazımında ana amaç, her bir gecikme faktörü için kabul edilebilir parametre değeri aralığını saptamaktır. Fakat bu parametreler birbiriyle doğrudan ilintili olduğundan, tümünün aynı anda hesaba katılması gereklidir. Bu parametrelerin çok özel davranışlarını ayrı ayrı gözlemleyebilmek için simülasyonda diğer parametreler Çizelge 3.4'te verilen varsayılan değerlerine eşitlenirken, üzerinde durulan parametre değeri adım adım değiştirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu işlemlerin her bir parametre için ayrı ayrı tekrarlanmasıyla elde edilen bir seri grafikte, tüm faktörlerin kapsandığı bir analiz gerçekleştirilmiş olur. Her bir parametre için kullanılmış olan varsayılan değerler, minimum ve maksimum gözlem aralık değerleri ile birlikte, Çizelge 3.4'te verilmiştir. Simülasyon programında parametre adım boyutları ise,

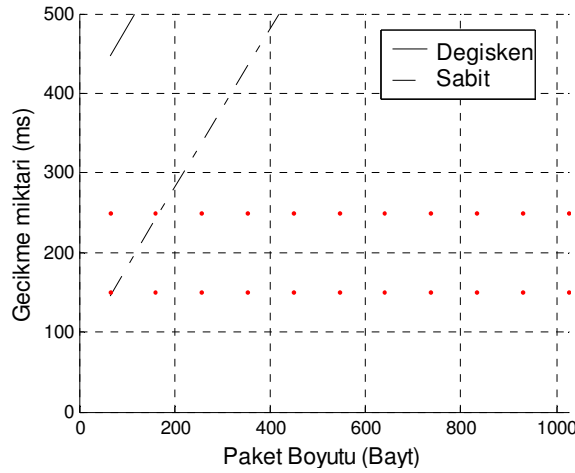
$$Adımboyutu = \frac{\text{Maksimum Değer} - \text{Minimum Değer}}{\text{Örnek sayısı}} \quad (3.23)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Simülasyonda, tüm durum ve parametreler için Örnek sayısı 100 olarak alınmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi, ses paketleri video paketlerine göre önceliğe sahip olacaklardır. Simülasyon programı Çizelge 3.4'te verilen varsayılan değerler kullanıldığında ve yine aynı çizelgede verilen gözleme aralıklarında çalıştırıldığında, bu parametrelerin kabul edilebilir değer aralıklarını içeren elde edilmiş grafikler Şekil 3.8 ve Şekil 3.15 arasındaki grafiklerde sunulmuştur. Bu grafiklerde bulunan x eksenine paralel iki yatay çizgi ITU-T (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standartlaştırma Birimi) tarafından tanımlanmış olan kabul edilebilir maksimum ve minimum eşik değerlerini göstermektedir. Bu değerler sırasıyla 150 ms ve 250 ms'dir [8; 38]. Burada, alttaki yatay çizginin altında kalan bölge gecikme açısından mükemmel kaliteyi, üstteki yatay çizginin üzerinde kalan bölge kabul edilemez bölgeyi ifade etmektedir. Arada kalan bölge ise kabul edilebilir bölge olarak adlandırılmıştır. Bu

grafiklerde, sabit gecikme miktarı kesikli çizgi ile değişken ve sabit gecikmelerin toplamı ise düz çizgi ile ifade edilmiştir. Değişken gecikmeler sistemdeki gecikmelerin farklı yollarla azaltılması ile düşürülebilecek olan gecikme miktarlarıdır.

3.2.2.1. Paket boyutunun gecikmeye etkisi

Simülasyon programında Çizelge 3.4'te verildiği gibi, varsayılan paket boyutu en düşük Ethernet paket boyutu olan 64 Bayt [31] olarak alınmıştır. Diğer tüm parametreler sabit tutulurken, paket boyutu 64 Bayt - 1024 Bayt arasında değiştirilerek paket boyutunun gecikmeye etkileri gözlemlenmiştir. Şekil 3.8'da görülen simülasyon sonuçlarına göre verilen diğer varsayılan parametre değerleri için 69 Bayt üzerindeki paket boyutlarında mükemmel kalite sınırından, kabul edilebilir kalite sınırına geçilmektedir. Öte yandan sabit gecikme için kabul edilen maksimum paket boyutunun ise 168 Bayt olduğu gözlemlenmektedir. Verilen parametre değerleri için, 168 Bayt'tan küçük paket boyutları ile kabul edilebilir bir gecikme oluşacaktır.

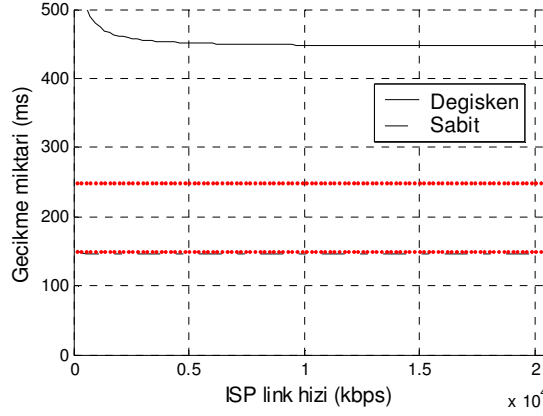


Şekil 3.8 Paket boyutuna göre gecikme analizi.

3.2.2.2. Servis sağlayıcı hat hızının gecikmeye etkisi

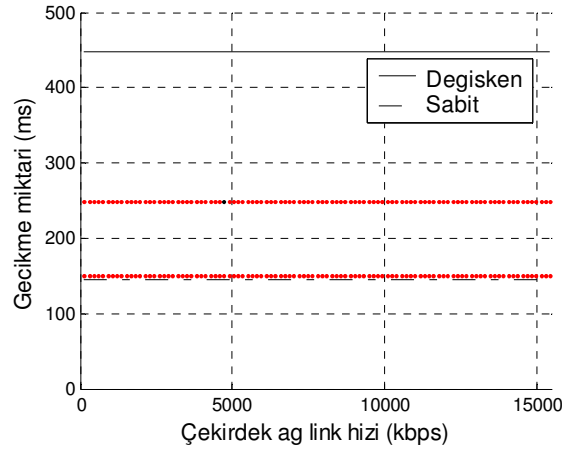
Simülasyon programında, ISP hat hızı için varsayılan değer SpeedTouch 608WL yönlendirici kullanımı ile 15444 kbps [33] olarak alınmıştır. Yine diğer tüm parametre değerleri varsayılan değerlerinde sabit tutulurken, bu değer 128 kbps den 20480 kbps'e kadar artırılarak sistem gecikmesi servis sağlayıcı hat hızına

göre incelenmiştir. Şekil 3.9'da verilmiş olan simülasyon sonuçlarına göre, sistem gecikme miktarının yaklaşık 3 Mbit/s seviyesinden sonra sabitlenerek, toplam gecikmenin 448 ms ile kabul edilemez aralıkta, sabit gecikmenin ise 145 ms ile mükemmel kalite aralığında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9 Servis sağlayıcı hat hızına göre gecikme analizi.

3.2.2.3. Çekirdek ağ hızı açısından gecikme analizi



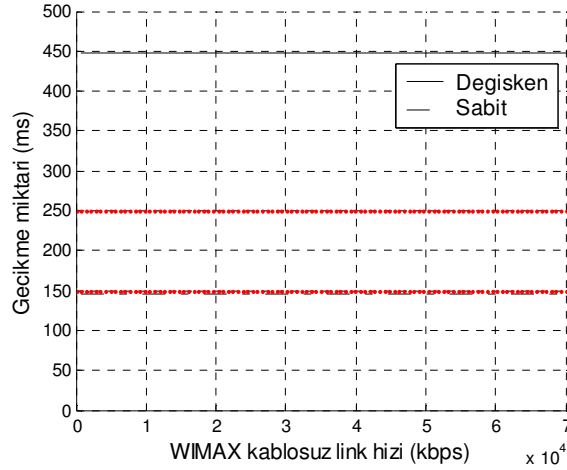
Şekil 3.10 Çekirdek ağ hızına göre gecikme analizi.

Simülasyon programında çekirdek ağ tarafından sağlanan tünelleme varsayılan değeri 15444 kbps [33] olarak alınmıştır. Bu parametrenin analizi sırasında, bu değer, 128 kbps dan, 15444 kbps'a çıkarılmıştır. Şekil 3.10'da verilmiş olan simülasyon sonuçlarına göre, verilen aralıklardaki tüm çekirdek ağ hız değerleri için sabit gecikme miktarı 145 ms'de toplam gecikme miktarı ise 447 ms'de seyretmektedir. Bu sonuca göre verilen parametre değerleri için ISP link hızının

arttırılmasının oluşan gecikme seviyesinde beklenen düzelmeyi sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Link hızının arttırılması sabit ve değişken gecikme miktarlarında herhangi bir azalmaya yol açmamıştır.

3.2.2.4. Kablosuz ağ hat hızı açısından gecikme analizi

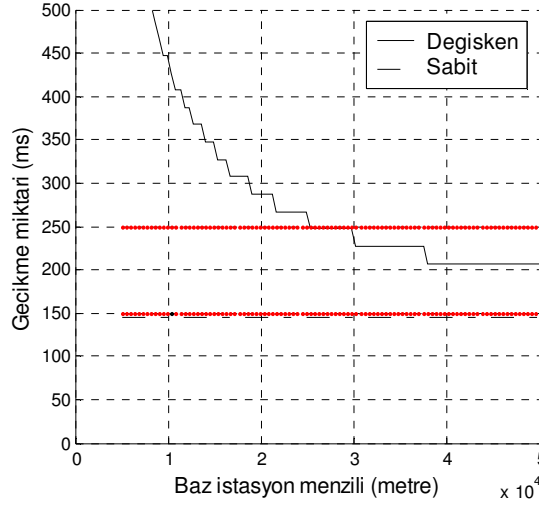
Simülasyon programında kablosuz ağ hızı için varsayılan değer 70000 kbps [8] olarak alınmıştır. Kablosuz ağ hat hızı analizi esnasında diğer parametre değerleri varsayılan değerlerinde sabit tutulurken, bu değer 10 kbps dan, 70000 kbps'a kadar arttırılarak sistem gecikme miktarı analiz edilmiştir. Şekil 3.11'deki simülasyon sonuçlarından görülmektedir ki, 70000 kbps gibi yüksek bir hız için verilen boyuttaki bir paketin yayılım gecikmesi toplam gecikme üzerinde etkisizdir.



Şekil 3.11 Kablosuz ağ hat hızı açısından gecikme analizi.

Verilen parametre değerleri için, 10 kbps gibi çok düşük bir kablosuz hat hızı için dahi, Şekil 3.11'de gösterilen gecikmenin çok artmaması varsayılan paket boyutunun 64 Bayt gibi çok küçük bir boyutta alınmış olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü ses paketi iletiminde küçük paket boyutlarının kullanımı yeterli olmaktadır [8].

3.2.2.5. Baz istasyonu menziline göre gecikme analizi



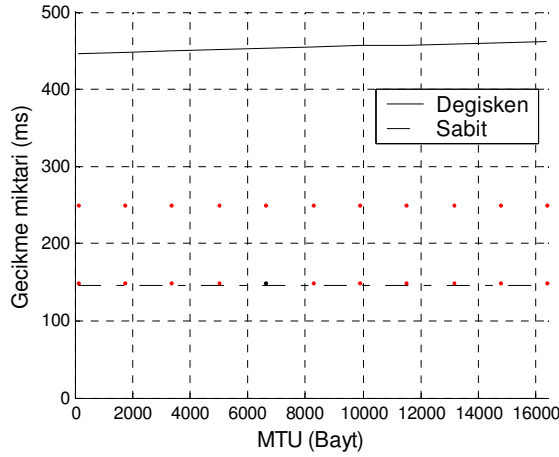
Şekil 3.12 Baz istasyonu menziline göre gecikmeye etkisinin analizi.

Her bir baz istasyonu için varsayılan şehir içi menzil uzaklığı tipik olarak 8-10 km olduğundan [8], simülasyon programında baz istasyonu menzili 10 km olarak alınmış ve gecikmenin baz istasyonu menziline göre analizi sırasında diğer parametre değerleri varsayılan değerlerinde sabit tutulurken, baz istasyonu menzil değeri 50 km'ye kadar [8] değiştirilmiştir. Baz istasyonu menzili arttıkça, kablosuz alanda kullanılması gereken baz istasyonu sayısı azalarak, baz istasyonlarında gerçekleşecek olan paket işleme gecikmelerinden de kurtulmuş olunur.

Bu durum toplam gecikmede bir düşüşe sebep olur. Bu nedenle, menzil, bir baz istasyonu daha az gerektirecek kadar arttırıldığında, gecikme miktarı grafiği Şekil 3.12'den de görüldüğü gibi merdiven etkisi yapacaktır. Dikkat edilmelidir ki, grafikteki basamak sayısı verilen uzaklıkta kullanılması gereken baz istasyonu sayısını vermektedir. Öte yandan, Şekil 3.12'de verilen grafikte menzil uzadıkça merdiven basamaklarının yatay yönde uzadığı görülmektedir. Bu durum ise, baz istasyonu menzili uzadıkça daha yüksek menzilden dolayı daha az baz istasyonuna ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, verilen parametre değerleri için toplam gecikme açısından kabul edilebilir sonucun elde edilmesi, ancak minimum 25 km baz istasyonu menzili ile sağlanabilecektir.

3.2.2.6. MTU gecikme analizi

Simülasyon programında, MTU için varsayılan değer 1500 Bayt [34] olarak alınmıştır. Simülasyondaki MTU analizi sırasındaki gecikme analizi, bu değer 108 Bayt'tan [8], 16384 Bayt'a kadar değiştirilmesiyle yapılmıştır. Diğer parametre değerleri bu esnada yine varsayılan değerlerinde sabit tutulmuştur. Şekil 3.13'te görülen simülasyon sonuçlarına göre, tüm MTU değerleri mükemmel sabit gecikme miktarları yakalanmış olmakta, ancak değişken gecikme miktarlarının da artan MTU değeriyle birlikte hafif bir eğim ile arttığı görülmektedir. Bu artış, artan MTU ile mümkün olan en büyük paket boyutunun da büyümesi, buna bağlı olarak büyük paketin iletiminde ve kuyruk beklemesinde daha fazla gecikme oluşmasından kaynaklanmaktadır.

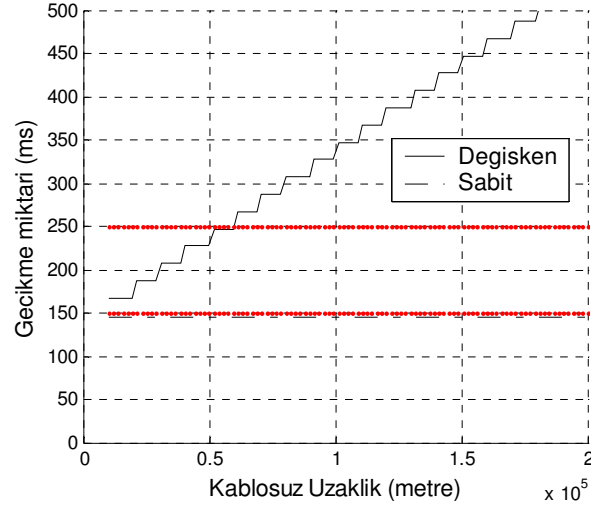


Şekil 3.13 Ağ MTU değerinin gecikme üzerindeki etkisinin analizi.

3.2.2.7. Kablosuz ağ uzaklığının gecikme açısından analizi

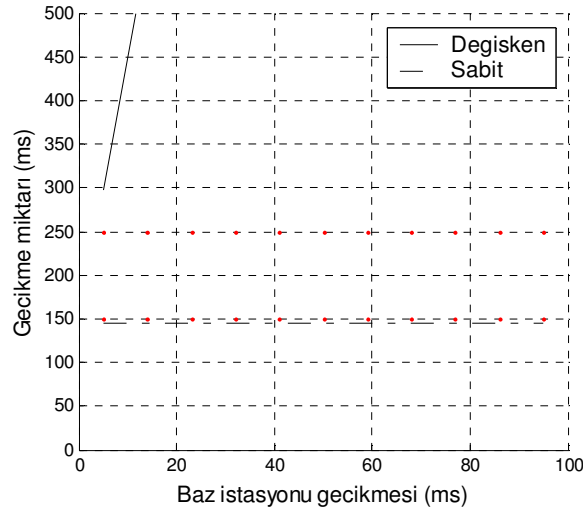
Simülasyon programında, kaynak-hedef arası kablosuz ağ uzaklığı varsayılan değeri 149 km alınmıştır. Gecikme analizinin kablosuz ağ uzaklığı açısından yapılacağı durumdaki sonuçlar, diğer parametre değerleri varsayılan değerlerinde sabit tutulurken, bu değer 1 km'den 1000 km'ye kadar değiştirilmesiyle incelenmiştir. Şekil 3.14'teki simülasyon sonuçlarına göre, verilen varsayılan değerler ile, gecikme açısından kabul edilebilir kalitenin yakalanabilmesi için kablosuz uzaklığın yaklaşık 50 km'lik bir limitin altında olması gerekmektedir. Şekil 3.14'te verilen grafikteki merdiven etkisi yine, artan uzaklığa bağlı olarak,

kullanılması gereken ekstra baz istasyon sayısının artmasından ve bu baz istasyonlarında oluşacak olan ekstra gecikmelerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.14 Kablosuz ağ uzaklığının gecikme açısından analizi.

3.2.2.8. Baz istasyonu paket işleme gecikmesi



Şekil 3.15 Baz istasyonu paket işleme gecikmesi.

Simülasyon programında, baz istasyonu başına oluşan paket işleme gecikmesi analizi esnasında tüm diğer parametreler varsayılan değerlerinde tutulurken, varsayılan değeri 10 ms olarak alınan [36] baz istasyonu gecikmesi değeri, 5 ms ile 100 ms arasında değiştirilmiştir. Her bir baz istasyonunda oluşan işleme gecikmesi arttıkça toplam gecikme de artmaktadır. Şekil 3.15'teki simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi baz istasyonu gecikmesinin artması toplam

gecikmeyi oldukça önemli ölçüde etkilemekte ve sabit gecikme her değer için sabit kalsa da artan baz istasyonu gecikmesi ile toplam gecikme de artmaktadır.

Bu bölümde WIMAX ve Internet ağı üzerinden, ses ve veri paketi gönderimi sırasında oluşabilecek gecikmeler ve bu gecikmelere neden olan parametreler, geliştirilen bir simülasyon programı ile inceleme altına alınmıştır. Simülasyon programında, üzerinde en çok dikkatle durulan nokta, hangi parametrenin toplam gecikme üzerindeki etkisinin en fazla olduğu ve gecikmenin azaltılması için üzerinde çalışılması gereken noktanın saptanması olmuştur. VoWIMAX (WIMAX üzerinden ses iletimi) gecikme parametrelerinin tamamının incelenmesi sonucunda;

VoWIMAX için, toplam gecikme üzerinde en baskın etkiye sahip parametrelerin; paket boyutu, kullanılan baz istasyonu sayısını etkileyen baz istasyonu menzili ve her bir baz istasyonunda oluşan paket işleme gecikmesi olduğu saptanmıştır. MTU değerinin artırılması ise gecikmeye hafif bir artış vermiştir. Gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre, kablosuz ortam, omurga ağ yada servis sağlayıcılar için belirli eşik değerini geçen hat hızları her zaman gerekli değildir. Çünkü, Çizelge 3.4'te verilen bu mevcut hat hızlarının artırılmasından sonra da gecikme miktarının yine sabit bir şekilde seyrettiği görülmüştür.

Tüm bu gözlemler sonunda, toplam gecikme üzerinde en etkin rolü, baz istasyonu menziline ve baz istasyonu sayısının oynadığı gözlenmiştir. Fakat gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre, baz istasyonu menzilli 25 km'nin üstünde olduğu ya da baz istasyonu menzili 10 km olsa dahi, şehir yarı çapı 50 km'nin altında olduğu sürece, ses iletişim kalitesinin sağlanabileceği saptanmıştır.

30 km baz istasyonu menzili ve 50 km kablosuz uzaklık gibi daha uygun parametre değerleri ile (diğer parametrelerin varsayılan değerleri değiştirilmeden) elde edilmiş gecikme analizi simülasyon sonuçları Ek-2' de verilmiştir.

4. HAREKETLİ KABLOSUZ BİLİŞSEL AĞLARDA ANAHTAR SEÇİMİ

Uçtan uca etkin çıktı oranı başarımı, sadece gecikmeye bağlı değil, aynı zamanda anahtarlama, rotalama ve çoklama başarımına da bağlıdır. Tasarlanan bir hedef, bir kaynak ve dört adet anahtardan oluşan anlık-plansız bir (ad-hoc) ağ'da kaynak ve hedef düğümler dahil, tüm düğümler simülasyon başlangıcında rastgele yerlerde ortaya çıkıp rastgele yollu nokta [42] hareket modelini kullanmakta, yani rastgele yönlerde rastgele hızlarla hareket ederek, hedefte rastgele bir süre bekleyip yeni bir hedef belirlemektedirler. Düğümler, simülasyonda belirtilen alan sınırlarına çarptığında, yansıyarak hareketlerini belirlenen bölge içerisinde devam ettirmektedirler. Hareket halinde olan hedef ve kaynak düğümler, birbirine bağlanmak için, ortamdaki anahtar düğümleri kullanarak bir rota oluşturacaklardır. Bu tez çalışmasında, tüm çift sekmeli anahtar seçim algoritmaları ve tüm çok sekmeli rota seçim algoritmaları diğer metotlarda tamamen aynı şartlar altında rota seçimi yaptıklarından, şans faktörü devre dışı bırakılmış ve çalışmanın güvenilirliği sağlanmıştır.

Bahsedilen tek sekmeli Anahtar Seçim Algoritmaları (ASA) ve çok sekmeli rota seçim algoritmaları, Yeniden Rota Yapılandırma (YRY) sayıları ve bağlantı dışı kalma süreleri bakımından incelenmiştir. Bir kablosuz ağda sinyal bozulmasının başlıca sebebi yol kaybıdır. Bir rota üzerinde ne kadar yol kaybı oluşacağı veri gönderilmeden önce tam olarak bilinemez. İyi bir rota seçimi için ise yol kaybının en az olduğu anahtarın seçilmesi gerekir. Bu bağlamda, yol kaybının bağımsız olarak ayrıca hesaplanmasıyla, en iyi seçimin yapılması ve yol kaybını önceden bilmeyen tüm ASA'larının yaptığı rota tercihinin yol kaybına göre yapılan bu seçimle örtüşmesi, ASA'nın yaptığı seçimin yol kaybı bakımından doğruluğunun da bir göstergesi olacaktır. Bu nedenle, tüm anahtar seçim algoritmalarının, yol kaybına göre yapılan seçimle aynı seçimi yapma istatistiği de tutularak, geliştirilen çok yollu rota belirleme algoritmalarına temel olabilecek uzun ömürlülük ve kalite bakımından en iyi olan anahtar seçim algoritması belirlenecektir.

Kaynak (T_x) ,alıcıya (R_x) paket göndermeye çalıştığında bu amaç için bir anahtar seçimi yapılacaktır.

Kablosuz bir ağda, kaynaktan hedefe gönderilen veri, serbest uzay üzerinden yayılmak zorundadır. Bu esnada sinyali bozunmaya uğratan, termal gürültü, yol kaybı ve sönümlenme gibi faktörler vardır. Bu nedenle sinyal, alıcıya, çok yönlü yayılım ve sönümlenme nedeniyle genelde kötü bir kalite ile ulaşır. Bu etkilerin azaltılması için, çeşitleme protokolleri kullanılarak aynı sinyalin farklı örnekleri bağımsız kanallardan gönderilir. Bu teknikle, sinyaller hedefe direkt ya da anahtar üzerinden çok sekmeli olarak ulaşırlar ve hedefte birleştirme metotları ile birleştirilirler [24].

Kaynak [24]'te çeşitleme protokollerinden yükselt ve gönder (AAF) protokolü ile çöz ve gönder (DAF) protokolü, birleştirme metotlarından ise eşit oranlı birleştirme (ERC), sabit oranlı birleştirme (FRC), sinyal gürültü oranına göre birleştirme (SNRC) ve geliştirilmiş sinyal gürültü oranına göre birleştirme (ESNRC) metotları inceleme altına alınmıştır.

Kaynak [24]'te yapılan analizler sonucunda, çeşitleme protokollerinden AAF protokollünün, bit hata olasılığı bakımından, her zaman DAF protokolünden daha iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir. Birleştirme metotlarından ise en iyi bit hata olasılığı sonuçlarının, her zaman SNRC ve ESNRC ile elde edildiği ve daha az kanal kalite bilgisi gerektiren SNRC'nin ESNRC'ye göre daha çok tercih edilebileceği belirtilmiştir.

AAF protokolünün en büyük dezavantajı, sinyalle birlikte gürültüyü de yükseltmesi, DAF protokolünün en büyük dezavantajı ise gürültülü bir sinyali çözerek yeniden kodladığında, verinin yanlış elde edilmesi durumunda, kaynaktan çıkan orijinal sinyalin karşıda yeniden elde edilmesinin zor olmasıdır.

Kaynak [24]'te, anahtar düğüm konumuna göre yapılan analiz ile, en az bit hata olasılığının, anahtar düğümün kaynağa daha yakın bir noktada yada tam orta noktada olduğu durumda elde edildiği belirtilmiştir.

Sinyalin, kaynak ve hedef arası direk bağlantı olduğunda dahi, çeşitleme ile alternatif olarak, örneğin, DAF ya da AAF protokolü ile diğer anahtarlar üzerinden de gönderilebileceği ve bu sinyallerin hedefte ERC, FRC, SNRC ya da ESNRC birleştirme protokolleriyle [24] birleştirilebileceği unutulmamalıdır.

Anahtarlama ve rotalama algoritmalarının yerine getirilmesi için, R_x ve T_x arası uzaklık bilgisine ihtiyaç olacağından ve bu çalışmada GPS teknolojisinin kullanılmadığı varsayıldığından uzaklık hesaplamaları diğer düğümlerden alınan sinyal güçleri ve

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 = \frac{P_t}{P_r} \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanan FSPL (Serbest Uzaklık Kaybı) eşitliği kullanılarak yapılmıştır [43]. Burada;

- λ : sinyal dalga boyunu (metre)
- P_t : Gönderilen sinyal gücünü (W)
- P_r : Alınan sinyal gücünü (W)
- C : Işık hızını (3×10^8 metre / saniye)
- d : Gönderici – Anahtar yada Anahtar-Alıcı arası mesafeyi (metre)
- f : Sinyal Frekansını (Hertz) ifade etmektedir.

Uzaklık, (4.1) kullanılarak aşağıdaki eşitlikle saptanabilir.

$$d(T_x, R_n) = \left(\frac{c}{4\pi f \sqrt{\left(\frac{P_r(R_n)}{P_t} \right)}} \right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile uzaklık saptanabilecektir. Burada;

$d(T_x, R_n)$: T_x - R_n arası uzaklığı (metre)

R_n : n. simülasyondaki anahtarın numarasını

$P_r(R_n)$: n numaralı alıcının (R_n) aldığı güç seviyesini (W) belirtmektedir.

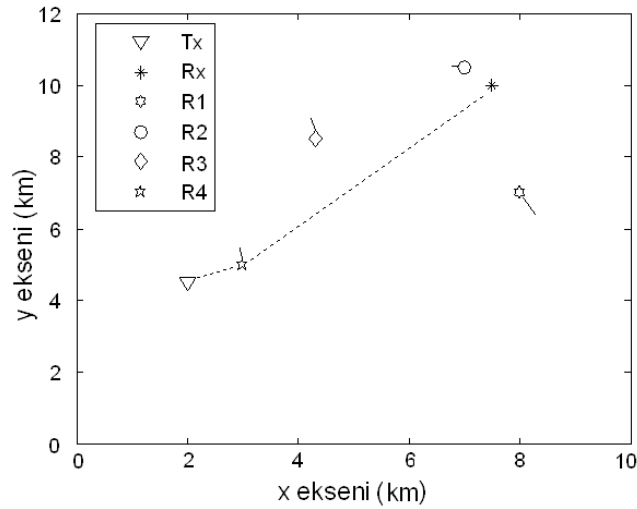
P_t 'nin önceden tanımlanmış küçük bir aralıktaki yaklaşık aynı değerleri alacağı ve düğümler arasında birbirlerine gönderilebilecek paketler olduğu unutulmamalıdır.

4.1. Anahtar Seçim Algoritmaları

IEEE 802.16 ağları için kaynaklarda yapılmış çalışmalarla 1000 metrelik hücre yapılarıyla [35], iyi bir şekilde çalışmaya devam eden sistemin hücre boyutunun 2000 metreye çıkarılmasıyla gezgin düğüm için etkin kapsama sağlamadığı gösterilmiştir. Bu bölümde anahtarlama algoritmalarının hangilerinin daha uzun ömürlü, daha az sekme sayılı ya da düğümlerin daha kısa sürelerle servis dışı kaldığı rotalar bulan algoritma olduğunun saptanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen sonuçlar mevcut uzun ömürlü rotalama algoritmalarının geliştirilmesinde, geliştirilen yeni rotalama algoritmaları ise sistem etkin çıktı oranının yükseltilmesinde kullanılacaktır.

4.1.1. En kısa yola göre anahtar seçimi

Bu algoritmada (4.2) eşitliğini kullanarak düğümler arası uzaklıklar bulunur. Bu uzaklıkların (4.3)'te kullanılmasıyla paketlerin Şekil 4.1 deki gibi en kısa yoldan gitmesi için gerekli anahtar seçilerek veri gönderimi başlatılır [44]. T_x ten R_x 'e mümkün olan tüm rotalar için (4.3) kullanılacaktır.



Şekil 4.1 En kısa uzaklık rotası.

Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arası şekillerde düğümlerin arkasında bulunan kuyrukların uzunlukları, simülasyonda düğümlerin birim zamandaki yer değişim miktarını yani hızını temsil etmektedir.

$$Path_{\min} = \min \left[(d(T_x, R_s^1) + d(R_s^{hc_s-1}, R_x) + \sum_{n=1}^{hc_s-2} d(R_s^n, R_s^{n+1})) \right] \quad (4.3)$$

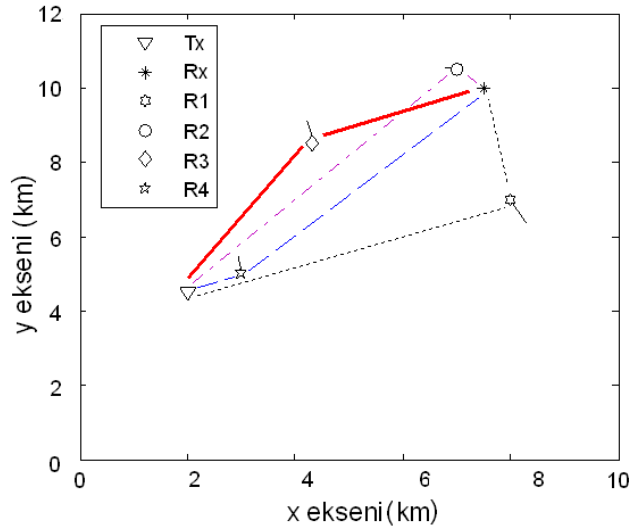
Burada;

R_s^n : s^{nci} rotada n^{nci} düğüm ve

hc_s : s^{nci} rotadaki sekme sayısıdır.

4.1.2. MinMaks uzaklık rotası

Sinyal gücü ve yol kaybı uzaklığın karesiyle doğru orantılı olduğundan, düşük yol kaybı ve güç tüketimi için rota üzerinde çok uzun bir hat kullanılmaması gerekir. Bu algoritmaya göre, Şekil 4.2'deki gibi, kaynaktan hedefe giden mümkün olan her bir rota için, rota üzerindeki hatlardan en uzun olanı belirlenecek, tüm rotalar üzerinde belirlenen en uzun hatlar arasında en kısa olan köprünün ait olduğu rota seçilecektir [44]. Buna göre, 1 den S 'e (kurulabilecek rota sayısı) kadar tüm olası rotalar için maksimum link uzunluğu (4.4) ile bulunacak ve (4.5) kullanılarak bu rotalar içinden en düşük değeri döndüren rota seçilecektir:



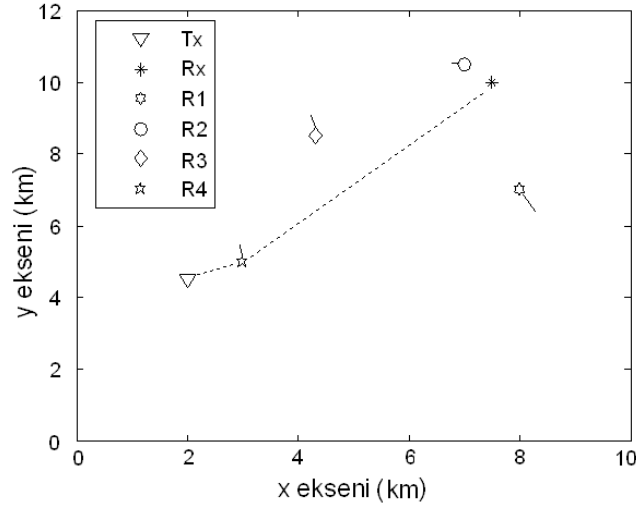
Şekil 4.2 MinMaks uzaklık.

$$Path_s = \max \left[(d(T_x, R_s^1), d(R_s^1, R_s^2), \dots, d(R_s^{hc_s-1}, R_x)) \right] \quad (4.4)$$

$$Path_{\min \max} = \min [Path_1, Path_2, Path_3, \dots, Path_s] \quad (4.5)$$

4.1.3. Kaynağa en yakın anahtar seçimi

Sinyal en doğru ve en yüksek güce kaynaktan sahip olduğundan, (4.6)'ya göre kaynağa en yakın düğüm seçilerek elde edilen rota ($Path_{CTT_x}$) ara düğümlerde, AAF veya DAF [24] kullanılarak iletildiğinden, verinin bozulması önlenir ve Şekil 4.3 teki gibi bir rota seçilmiş olur.



Şekil 4.3 Kaynağa en yakın anahtar.

T_x ve R_x arası erişimi olan her bir R_n anahtar düğümü için (4.6) uygulanarak kaynak hedef arasındaki kaynağa en yakın düğüm bulunur. Burada adı geçen R_n , simülasyondaki numaralandırılmış olan n. anahtarı belirtmektedir.

$$Path_{CTT_x} = \min [d(R_n, T_x)] \quad (4.6)$$

4.1.4. Güç eşğine göre anahtar seçimi

Kablosuz plansız hareketli ağlarda, en uzun ömürlü rotalama protokolünde (LLRP) [45] ya da Geliştirilmiş Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (EABR)'de [46] olduğu gibi etraftaki düğümleri saptamak amacıyla keşif paketleri gönderilebilir. Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (ABR) ve EABR de her düğüm "buradayım" mesajını komşularına, komşuları da aldıkları bu bilgiyi kendi komşularına "buradayım" mesajı olarak gönderir. Bu yolla en uygun rota seçimi yapılması için gerekli bilginin toplanması işlemi başlamıştır. LLRP de ise keşif paketini alan komşular,

paketi imzalayarak kendi komşularına gönderirler, bu sayede ilk gönderene geri döndüğünde gerekli bilgileri toplamış olacak ve rota bu bilgiler ışığında oluşturulacaktır. İşte tüm bu iletişimler için ve bundan sonrasında, bir düğümün diğerine bağlanabilmesi için alıcı noktaya ulaştırdığı sinyal gücünün bir eşik değerinden büyük olması gerekir bu eşik değeri sınaması ise (4.7) kullanılarak yapılacaktır.

$$P_r(R_n) = P_t \left(\frac{c}{d(T_x, R_n)(4\pi f)} \right)^2 \geq Güç_{eşik} \quad (4.7)$$

4.1.5. Yol kaybına göre anahtar seçimi

Tüm düğüm bağlantı bileşimleri için yol kaybı değerleri paket göndermeden önce bilinebilseydi, o rota direk kullanılabilir ve sinyal kaliteli gönderimi için o rota seçilebilirdi. Ancak, bir rotada düşük yol kaybı olması, rota uzun ömürlülüğünü asla garanti etmezdi.

Daha önce de bahsedildiği gibi, diğer anahtar seçim algoritmalarının başarımlarını yol kaybına göre yapılan seçimle kıyaslamak için R_x , T_x ve her bir anahtar düğüm arası yol kaybı hesabı yapılmıştır.

Yol kaybına göre yapılan anahtar seçimi, her ne kadar rota ömrü ile doğrudan ilgili değilse de, sinyal kalitesi bakımından oldukça güvenilir ve güçlü olacağından, diğer anahtar seçim algoritmalarının başarımlarını değerlendirme kriterlerinde yaptıkları seçimlerin yol kaybına göre yapılan seçimle ne kadar örtüştüğü de önem kazanacaktır. (4.1)'den elde edilen ve bu hesaplama için kullanılacak olan (4.8)'de kullanılan birimler de yine (4.1)'de kullanıldığı gibidir.

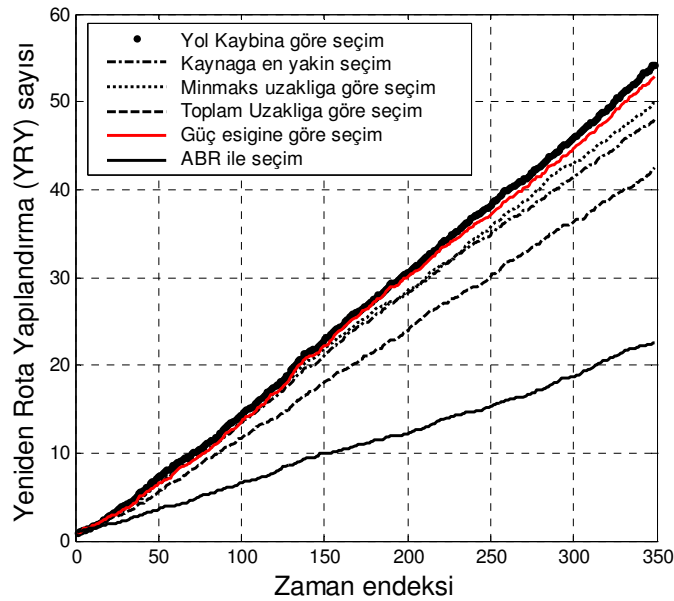
$$\begin{aligned} FSPL(dB) &= 20 \cdot \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi f d}{c} \right) \right) \\ &= 20 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} f + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \\ &= 20 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} f - 147.56 \end{aligned} \quad (4.8)$$

4.2. Anahtar Seçim Algoritmalarının Kıyaslanması

Rotalama için en önemli başarımlar değerlendirme kriteri, belirli bir zaman aralığında yeniden rota yapılandırma sayısı (YRY) ile ters orantılı olan rota ömrüdür. Tüm anahtar seçim algoritmaları ve ABR için simülasyondan elde edilen, zamana göre YRY sayıları grafikleri, (tüm rotalama algoritmalarının simülasyonlarının MATLAB ortamında gerçekleştirilerek, rastgele yollu nokta hareket modeli kullanan 6 hareketli düğüm için, eş zamanlı olarak 20 kez çalıştırılmasından elde edilen ortalama değerler ile) Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Sistemimizde, ABR için AT eşik değeri, detaylarının daha sonra anlatılacağı gibi her düğümün kendi komşularıyla yakınlıklarının ağırlıklandırılmasıyla belirlenmiştir. Şekil 4.4'e göre YRY sayısı bakımından ABR'den sonraki en iyi sonucu toplam uzaklığa göre yapılan rota seçimleri vermektedir.

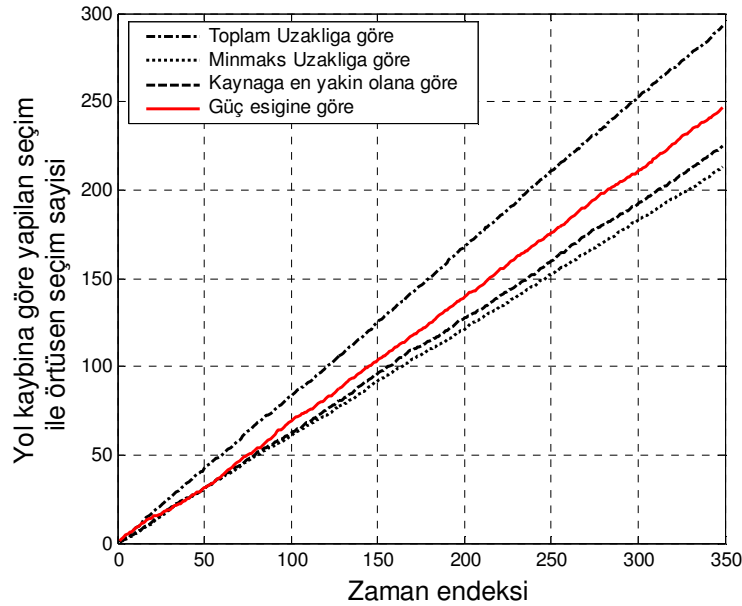
Yol kaybına ve güç eşğine göre yapılan seçimler ise en çok sayıda YRY sayısına sahip olmuşlardır. Bu noktada dikkat edilmelidir ki; yol kaybına göre seçilen rotaların, güç eşğine göre yapılan rotalar ile yaklaşık aynı sayıda YRY yapması, bu iki algoritmanın çoğunlukla aynı rotayı seçmiş olduklarını gösteren kesin bir kriter değildir.



Şekil 4.4 Anahtar seçim algoritmalarının ve ABR'nin yeniden rota yapılandırma sayıları

Yol kaybına göre yapılan seçimlerle yol kaybının en az, kalitenin en yüksek olduğu rotaları bulan ASA'nın hangisi olduğunun saptanması için ise, her bir R_n anahtarın kullanımı ile R_x , T_x arası bağlantılar üzerindeki yol kaybı hesabı yapılmış ve yol kaybına göre yapılacak olan seçim belirlenmiştir. Daha sonra diğer anahtar seçim algoritmalarından hangisinin, yol kaybına göre yapılan bu seçimle aynı seçimi en fazla sayıda yaptığı, yani hangisinin en az yol kaybı olan rotaları daha çok seçtiği saptanmış ve sonuçlar Şekil 4.5'te verilmiştir.

Simülasyonun 20 kez çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçların ortalaması ile elde edilen Şekil 4.5'teki simülasyon sonuçlarından anlaşılıyor ki, yol kaybına göre yapılan seçimlerle, en kısa toplam uzaklığa göre yapılan seçimlerden sonra, en çok, güç eşiği'ne göre yapılan seçimler örtüşmüştür (en kısa uzaklığa göre yapılan seçimin en iyi sonucu vermesi ise daha kısa mesafeden ötürü azalan yol kaybının doğal bir sonucudur).



Şekil 4.5 Anahtar seçim algoritmalarının yol kaybına göre yapılan seçimle aynı seçimi yapma sayıları

Bu nedenle, sinyal iletiminde en az yol kaybı oluşan rotaların seçilmesi için, rota seçiminin düğüm pozisyonlarına göre değil, güç eşiğine göre yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, asıl amacı rota ömrünü uzatmak olan ABR algoritması ile diğer tüm anahtar seçim algoritmalarından çok daha uzun ömürlü (daha az YRY sayılı) rotalar seçilmiş (Bkz. Şekil 4.4) ve ABR'nin rota ömrü bakımından tüm ASA'lardan çok daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Gezgin kablosuz ağlarda, rotalamanın en önemli başarıml değerlendirme kıstası, seçilen rotaların uzun ömürlü olması, yani kurulan bir rota bağlantısının uzun süre kopmadan hizmete devam etmesidir. Rota ömrü ise YRY sayısıyla direk ters orantılıdır.

Bu bölümde özetle, tüm ASA'ların yeniden rota yapılandırma sayıları kaynaklarda uzun ömürlü rotalama algoritması olarak bilinen ABR ile kıyaslanmıştır. Simülasyonlar sonucunda, yol kaybına göre yapılan seçimlerle, toplam uzaklığa göre yapılan seçimlerden sonra, en çok, güç eşiğine göre yapılan seçimlerin örtüştüğü, en az sayıda yeniden rota yapılandırma sayısına ise en kısa uzaklığa göre yapılan seçimlerin sahip olduğu gösterilmiştir. ABR rota seçim algoritmasının ise tüm diğer ASA'larından çok daha az sayıda YRY sayısına sahip olduğu gösterilmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'e göre, anahtar seçim algoritmaları içinde yol kaybı açısından en iyi ASA'nın güç eşiğine göre yapılan anahtar seçimi, YRY sayısı bakımından en iyi ASA'nın ise en kısa uzaklığa göre yapılan anahtar seçimi olduğu saptanmıştır.

Bu nedenle, ABR uzun ömürlü rotalama algoritmasının geliştirilmesi sırasında bu ASA'lardan, güç eşiğine göre olan ve en kısa uzaklığa göre olan seçimler üzerinde durulmuştur. Yani, ABR güç eşiği temel alınarak geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni algoritmalar, kaynaklarda mümkün olan en kısa uzaklıktan ve en az güç tüketimi ile çok sekmeli rota belirlenmek üzere geliştirilmiş olan, En Hızlı Yol algoritması [19] ile farklı açılardan kıyaslamaya alınmıştır.

5. HAREKETLİ KABLOSUZ BİLİŞSEL AĞLARDA ÇOK SEKMELİ ROTA SEÇİM ALGORİTMALARI

Bir ağ üzerinde kaynaktan hedefe paket gönderimi yapılacağına, paketler tek bir anahtar üzerinden gidebileceği gibi, birden fazla düğüm üzerinden çok sekmeli rotalar üzerinden de gönderilebilir. Bu rotaların seçiminde bilinen rotalama algoritmalarından En Hızlı Yol algoritması [19], Karınca Kolonisi Algoritması [18] ve uzun ömürlü rota belirleme algoritması olarak bilinen Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (ABR) [20] ile bu çalışmada ABR'den geliştirilen, Gelişmiş Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (AEABR) [21] ve Erişebilirlik Tiki Ortalamalı Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (ATAABR) [22] algoritmaları kullanılabilir. ASA ile yapılan seçimler içerisinde yol kaybı bakımından en iyi sonucu veren algoritmanın minimum uzaklığa göre yapılan anahtar seçim algoritması, uzun ömür bakımından en iyi sonucu veren algoritmanın ise ABR algoritması olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen çok sekmeli rotalama algoritmaları, minimum uzaklık ilkesi ile çalışan En Hızlı Yol rotalama algoritması ve ABR algoritması ile farklı açılardan kıyaslamaya alınmıştır. Son olarak, plansız, isteğe bağlı uzaklık vektör (AODV) rotalama algoritması olan Karınca Kolonisi algoritması da geliştirilerek, sözü geçen tüm bu rotalama algoritmalarının, bu çalışmada geliştirilen etkin çıktı oranı yükseltme metotları üzerindeki etkileri farklı araç hızları için incelenmiştir.

5.1. Kaynaktan Hedefe Giden En Hızlı Yolun Saptanması

Bu bölümde ilk olarak, bir ağ üzerinde rastgele konumlarda bulunan düğümler kullanılarak kaynaktan hedefe giden En Hızlı Yolun bulunması için hazırlanmış olan bir simülasyonda veri gönderimi sırasında kurulan en hızlı bağlantının köprü hızı ve güç tüketiminin düğüm sayısı ve dolayısıyla düğüm yoğunluğu ile ilişkisi incelenmiştir. Simülasyon, bu metot ile 6-150 arasında değiştirilen düğüm sayıları için 100'er kez çalıştırılarak, her bir düğüm sayısı için ortalama sonuç elde edilmiş, verilen bir parametre kümesi için, maksimum hız ve minimum güç tüketimini sağlayan en iyi koşullar; düğüm sayısı, düğüm yoğunluğu ve düğüm başına düşen alan bazında saptanarak formülize edilmiştir.

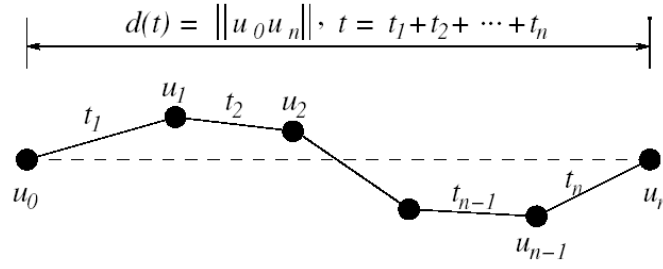
Bir ağda, düğümler arası bağlantılar kurularak rotalar oluşturulurken, yol keşfi zamanının [47] ve rotalama maliyetinin minimize edilmesi [48] üzerine çalışmalar

yapılmış ancak en kısa yol için hız ve güç tüketiminin analizi üzerinde durulmamıştır. Bir rota için en önemli 2 unsurdan biri kurulan rotanın uzun ömürlü olması yani sürekli yeni bir bağ oluşturma gereksiniminden uzak olması, diğeri ise bu bağlar aracılığıyla kurulan rotanın hızlı olmasıdır. Bu nedenle günümüzde, bir ortamdaki En Hızlı Yolun bulunması üzerine çalışmalar yapılmakta ve bulunan algoritmaların geliştirilmesine çalışılmaktadır [19; 49].

Öte yandan güç tüketimi ile düğüm sayısı arasında seçim yapma zorunluluğu bakımından en iyi düğüm yoğunluğu sayısına ulaşılmaya çalışılmış ancak standart bir yoğunluk saptanmasının çok zor olduğu görülmüştür [50]. Çalışmanın bu bölümünde, [19]'daki En Hızlı Yol algoritması kullanılarak 100m x 100m bir alandaki bilişsel bir ağ üzerindeki düğüm sayısını 6'dan 150'ye kadar arttırarak hesaplama yapan simülasyon her düğüm sayısı için 100'er defa çalıştırılmış ve alınan ortalama sonuçları sunulmuştur. Ağdaki düğümler rastgele dağılımlı olarak yerleşip her durum için En Hızlı Yol saptanarak bu yol üzerindeki köprü hızları hesaplanmıştır. Tasarlanan ağda, En Hızlı Yolun saptanabilmesi için, tüm düğümler konum bilgilerini gönderim menzili içindeki diğer düğümlere gönderirler, bu sayede tüm düğümler diğer düğümlerin konum bilgilerine sahip olmaktadır.

Simülasyonda, belirtilen alan içinde rastgele yerleşime sahip düğümler aracılığıyla oluşturulacak En Hızlı Yol, her durum için ayrı ayrı hesaplanmış, düğüm sayısı yoğunluğunun yol hızı ve güç tüketimi ile ilişkisi inceleme altına alınmıştır. Tasarlanan bilişsel düğümler, menzilleri içindeki diğer düğümlerin pozisyonlarını bilerek En Hızlı Yol için gerekli kararı alacak niteliktedir.

Ancak bu hızın sağlanması sırasında harcanan gücün minimumda tutulması da çok önemli bir unsurdur. Bilişsel bir ağ için En Hızlı Yolun bulunmasında Şekil 5.1 deki gibi [19] kaynak hedef arasındaki mümkün olan en doğrusal yol seçilir. Bu yol üzerinde kullanılan düğümlerin birbirinden eşit uzaklıkta bir yerleşime sahip olacak şekilde seçilmiş olması beklenir. Böyle bir yol bulunduğunda hat kapasiteleri, bir üst limit veren (5.1)'deki Shannon Teoremi ile hesaplanır.



Şekil 5.1 En Hızlı Yol algoritması ile kaynaktan hedefe doğru izlenebilecek örnek bir yol [19].

Kaynak [19]'da yapılan çalışmayla kaynaktan hedefe En Hızlı Yolun saptanabilmesi için varsayım ve hesaplamalar şu şekilde yapılmıştır;

- Her düğüm aynı gönderim gücüne sahiptir
- N_0 (gürültü) her yerde aynıdır ve
- Sönümlenme katsayısı serbest uzay için ($\alpha = 2$) alınmıştır.

B, bant genişliğini, S, sinyal gücünü ve N_0 , gürültü gücünü göstermek üzere, kanal kapasitesi, C,

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N_0} \right) \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanır. $S = P_i \times d^{(-\alpha)}$ olduğundan C,

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{P_i \times d^{(-\alpha)}}{N_0} \right) \quad (5.2)$$

olarak hesaplanır. Burada "d" 2 nokta arası Öklid uzaklığıdır. Bir sonraki gönderimin yapılması için saptanmış olan en uygun nokta ise "Z" noktası olarak adlandırılır ve,

$$Z = (1 - \gamma) U_i + \gamma U_d \quad (5.3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada,

γ : menzilin, gönderici hedef arası uzaklığa bölümünü

- U_i : Gönderimdeki düğümün konumunu
 U_d : Hedef düğümün konumunu ifade etmektedir.

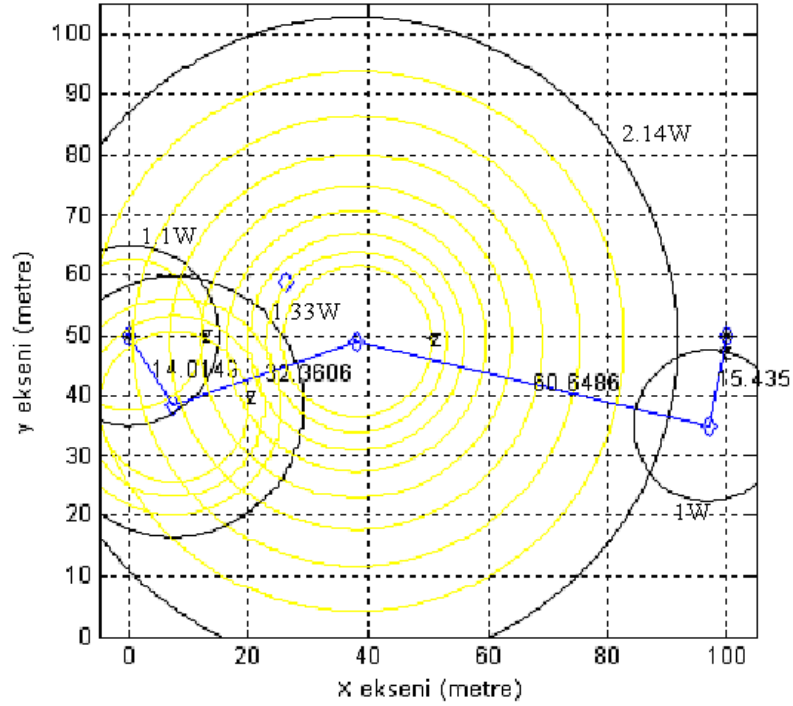
Bu bölümde En Hızlı Yolun bulunmasında kullanılan ana metot (5.3)'de geçen "Z" noktasının saptanıp, bu noktaya en yakın düğüm aracılığıyla gönderim yapılmasıdır. Bu noktaya yakın bir düğüm bulunamazsa DIA ile güç artırımı yapılarak (bu çalışmada, P_t %10 arttırılarak) (5.4) ile hesaplanan düğüm gönderim menzili arttırılır ve makul uzaklıkta bulunan bir düğümle bağlantı sağlanır [19].

$$x^* \approx \left(\frac{P_t}{N_0(e^\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5.4)$$

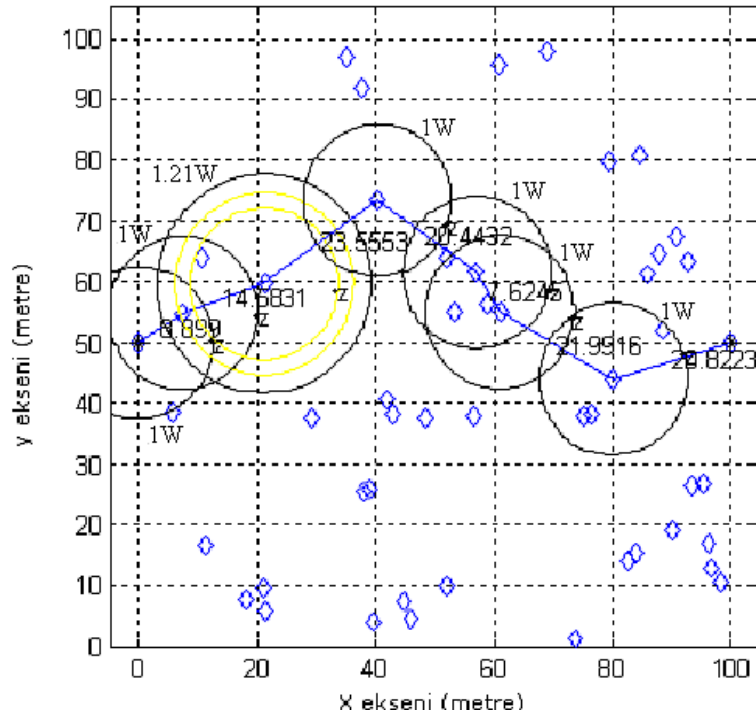
(5.4)'ten görüldüğü gibi, güç gönderim menzili (x^*) cihaz tarafından sağlanan gönderim gücü ile belirlenmektedir ve kullanılan farklı cihazlar için farklı menziller oluşur. Dijital gezgin GSM teknolojileri tipik olarak 1W ve altında gönderim gücü kullanırlar [8; 17]. Bu nedenle, varsayılan P_t değeri çalışmamızda 1W olarak alınmış, (5.4) de verilen menzilin artırımına ihtiyaç duyulduğunda ise gönderim gücü ihtiyaç duyulduğu kadar arttırılarak menzil uzatılmıştır [8] (aksi takdirde ya gürültü oranının azaltılması ya da alıcı SNR hassasiyetinin yüksek olması gerekir). Günümüzde mevcut WIMAX tasarımlarında baz istasyonları yaklaşık 20W'lık [51] gönderim gücü kullanmaktadırlar. Ayrıca yaklaşık 40-50 km'lik bir menzilin [8] sağlanması için, alıcı SNR hassasiyet eşik değeri kaynak [17]'deki gibi (-100 dB seviyelerinde) oldukça yüksek hassasiyette olmalıdır. Rotalar, En Hızlı Yol algoritması ile farklı düğüm sayıları için ilk olarak Şekil 5.2'deki gibi 100m x 100m'lik küçük bir alanda elde edilerek incelenmiş, diğer simülasyonlarda ise 100 km²'lik (10 km x 10km) büyük alanlarda çalışılmıştır (Bkz. Bölüm 5.3.6).

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, simülasyonda kullanılan alan büyüdükçe seçilecek rotanın değişmeyecek olması, ancak büyük alanlarda çalışıldığında birbiriyle bağlantı kuracak olan her bir düğüm ikilisi arasındaki ortalama uzaklık artacağından, alıcı düğümlerin yüksek SNR hassasiyetlerine sahip olması gerektirir. Bu bağlamda, farklı verici gönderim güçleri ve farklı düğümler arası uzaklıklar için gerekli olan alıcı SNR eşik değeri sınırlamaları ileriki bölümlerde incelenmiştir (Bkz. Bölüm 5.3.6).

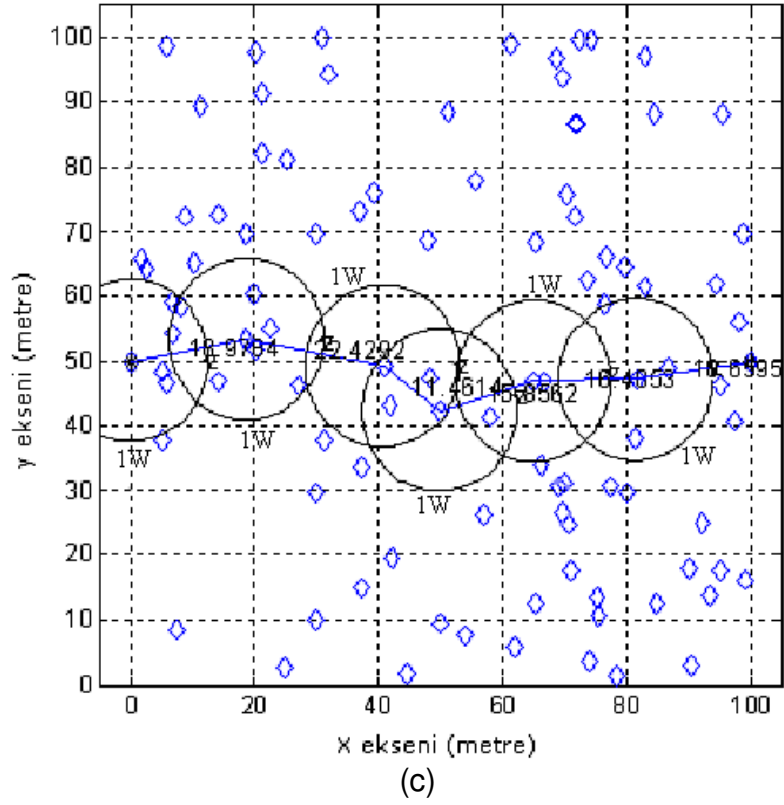
Şekil 5.2'de gösterilen simülasyon çıktısında düğümlerin güç artırımı ile oluşan yeni menziller dış halkalar olarak gösterilmiştir. Şekil 5.2-a, Şekil 5.2-b ve Şekil 5.2-c de görüldüğü gibi birim alana düşen düğüm sayısı yani düğüm yoğunluğu arttıkça, istenilen noktaya yakın bir düğüm bulma olasılığı ve dolayısıyla daha doğrusal rotalar bulunması olasılığı artmaktadır.



(a)



(b)



Şekil 5.2 Ağ üzerinde a) altı (6) düğüm b) elli (50) düğüm c) yüz (100) düğüm için verilen anlık konum durumlarında, En Hızlı Yol tüketimi diyagramı ve köprü kanal kapasiteleri (Mbps).

Tüm uzun ömürlü rota bulma algoritmaları ile rotaların hat hızları, dinamik olarak (5.5) kullanımıyla bulunmuştur. Bu sırada Şekil 5.1'deki örnekte gösterildiği gibi paketlerin bu hatlardan $t_1, t_2 \dots t_n$ geçiş süreleri hesaplanarak, standart boyutta alınan paketler için kaynaktan hedefe iletim hızları bulunmuş ve bit/saniye cinsine çevrilmiştir. Örneğin, Şekil 5.1'deki rotayı takip eden bir paket için tüm rotanın hızı;

$$Rota\ Hızı = \left(\frac{Paket\ Boyutu}{\sum_{i=1}^n \frac{Paket\ Boyutu}{h_i}} \right) = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_i}} \right) \text{ bit / sec} \quad (5.5)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada h_i , rota üzerinde bulunan her bir "i" köprüsünün hızını (bit/sn) temsil etmektedir. Z noktasına en yakın noktanın bulunması esnasında; (5.4) ile hesaplanan menzil için uygun bir düğüm bulunamazsa, gönderim gücü Şekil 5.2'deki gibi sürekli artırılarak (dış halkalar) menzil genişletilir ve genişletilmiş olan bu yeni menziller için "Z" noktasına yakın bir düğüm bulunur [19]. Bu nedenle,

düğüm yoğunluğunun artması, menzil içinde güç artırımına gerek olmadan bir “Z” noktası bulunması olasılığını arttıracaktır (Bkz. Şekil 5.2).

5.1.1. En hızlı yol algoritması için güç ve hız açısından en iyi düğüm yoğunluğu

Dinamik olarak bulunan rotaların hat hızları saptandıktan sonra, yoldaki tüm hatlar için rota hızı, (5.5)’teki gibi hesaplanmıştır. (5.5)’teki payda paketin bulunan rota üzerinde toplam seyahat süresini vermektedir.

İletişim bölgesinde kaynak ve hedef arası uzaklık ve bunlar arasında bulunan diğer düğümlerin konumları, hız ve güç tüketimi bakımından çok büyük önem taşımaktadır. Bu bölgede eğer çok sayıda ara düğüm bulunursa, ara düğümler birbirine daha yakın olacaklardır.

Bu nedenle (5.3)’te verilen en uygun “Z” noktası tam istenen noktaya en yakın noktada seçilebilecektir. Güç artırımı ancak “Z” noktasına yakın bir nokta bulunamadığı durumlarda yapılması gereken bir işlemdir, çünkü güç ve menzil artırımını tüketilen güç miktarını arttıracak ve iletişim hızını azaltacak istenmeyen bir işlemdir. Ancak, gerektiği durumlarda bağlantı kurulması açısından mecburidir. Kaynaktan hedefe kadar yapılması gereken minimum düğüm bağlantı sayısının hesaplanması (5.6)’da verilmiştir [52].

$$\begin{aligned}
 \text{Uzaklık} &= \text{Menzil} \times (\text{Bağlı düğüm sayısı} + 1) \\
 \text{Menzil} &= \left(\frac{P}{N(e^\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \\
 \text{Bağlı düğüm sayısı} &= \frac{\text{Uzaklık}}{\left(\frac{P}{N(e^\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha}}} - 1
 \end{aligned} \tag{5.6}$$

Öte yandan rota üzerindeki her bir hat için, harcanan güç (HG) miktarları toplamının hesaplanması (5.7)’de gösterilmiştir:

$$HG = \sum_{i=1}^n ((x s_i)^\alpha) \times (N(e^\alpha - 1)) \tag{5.7}$$

Burada, her bir "i" köprüsü için harcanan güç hesaplanıp toplandığında sistemde harcanan toplam güç bulunmaktadır. Öte yandan kaynaktan hedefe giden yolun mümkün olduğunca doğrusal, az sekme sayısında ve az güç tüketimli olması için gerekli en uygun düğüm sayısının hesaplanması için,

$$Bağlı\ düğüm\ sayısı = \left(\frac{ALAN_x}{\left(\frac{P}{N(e^\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1} \right) \times \left(\frac{ALAN_y}{\left(\frac{P}{N(e^\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1} \right) \quad (5.8)$$

kullanılacaktır. Simülasyonda ve hesaplamalarda kullanılan parametreler;

- P*: sinyal gönderim gücü,
- N*: gürültü gücü,
- α : söniümlenme katsayısı ,
- $ALAN_x$: kaynak hedef arasi x ekseni boyunca uzaklık,
- $ALAN_y$: kaynak hedef arasi y ekseni boyunca uzaklık,

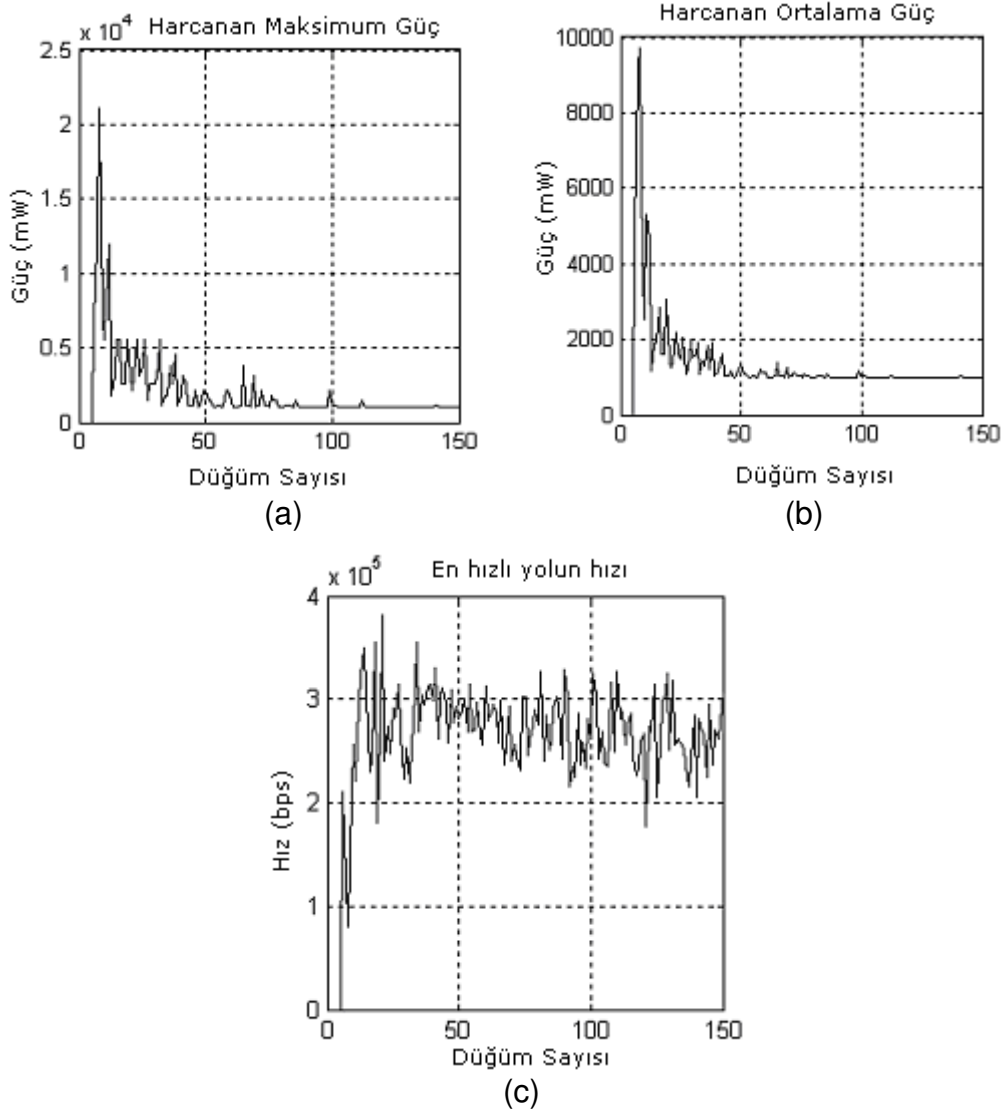
parametre değerleri ise;

$$\begin{aligned} p &= 1W \quad [7;14] \\ n &= 1mW \left(\frac{P}{N} = 10^3 \right) \\ \alpha &= 2 \text{ (serbest uzay için)} \\ ALAN_x &= 100 \text{ (x ekseni boyunca uzaklık)} \\ ALAN_y &= 100 \text{ (y ekseni boyunca uzaklık)} \end{aligned} \quad (5.9)$$

şeklindedir. Geliştirilen simülasyonda kullanılan parametre değerlerini (5.8)'de yerlerine koyacak olursak;

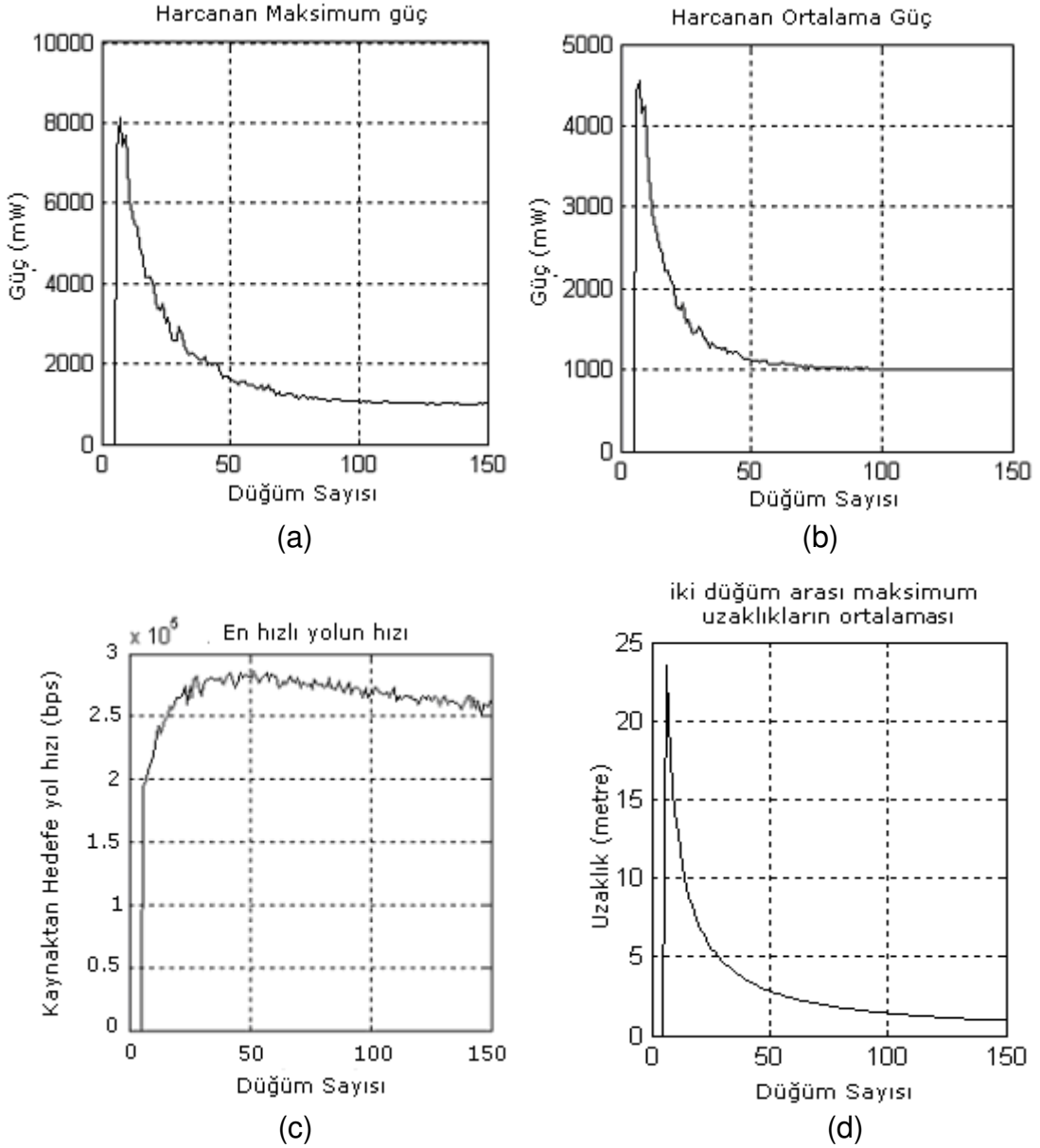
$$\begin{aligned} Bağlı\ düğüm\ sayısı &= \left(\frac{100}{\left(\frac{1000}{(e^2 - 1)} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right) \times \left(\frac{100}{\left(\frac{1000}{(e^2 - 1)} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right) \\ &= \left(\frac{100}{12,5} - 1 \right) \times \left(\frac{100}{12,5} - 1 \right) = 7 \times 7 = 49 \text{ düğüm} \end{aligned} \quad (5.10)$$

elde edilir. Yine aynı parametre değerleri için 6'dan 100'e kadar her bir düğüm sayısı kombinasyonununun 1'er kez ve 100'er kez çalıştırılmasıyla elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Simülasyonun 1 kez çalıştırılmasıyla a) En Hızlı Yol üzerindeki linklerden en çok güç tüketen düğümün harcadığı güç miktarı (mW) b) En Hızlı Yolun tüm linklerinde harcanan ortalama güç miktarı (mW) c) belirtilen aralıkta farklı düğüm sayıları için yol hızlarının bit/saniye türünden değeri (bps)

Daha kesin sonuçlar içeren ortalama değerlerin verildiği grafiksel sonuçlar Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Simülasyonun 100 kez çalıştırılmasıyla a) En Hızlı Yol üzerindeki linklerden en çok güç tüketen düğümün harcadığı güç miktarı (mW) b) En Hızlı Yolun tüm linklerinde harcanan ortalama güç miktarı (mW) c) belirtilen aralıkta farklı düğüm sayıları için yol hızlarının bit/saniye türünden değeri (bps) d) düğüm sayısı 6'dan 150'ye kadar arttırıldığında simülasyon sonucunda her düğüm sayısı için düğümler arası oluşan maksimum uzaklıkların (metre) ortalaması.

Şekil 5.4a ve Şekil 5.4b'den görülüyor ki, varsayılan gönderim gücü olan 1W seviyesinde gönderimin yeterli olduğu noktadan sonra düğüm sayısının arttırılmasının güç tüketiminin azalmasına faydası olmamaktadır. Sistem artık düğüm sayısı bakımından doyuma ulaşmıştır. Şekil 5.4a, Şekil 5.4b, Şekil 5.4c ve Şekil 5.4d'deki simülasyon sonuçlarında doyuma ulaşılan noktada düğüm sayısı, (5.10)'da saptandığı gibi yine 49-50 düğüm olarak gözlenmiştir.

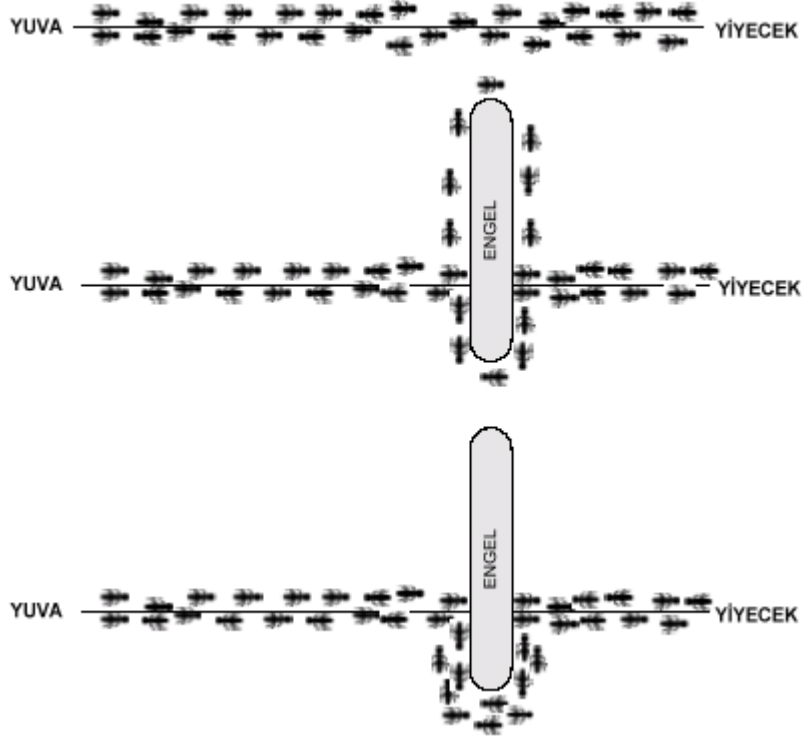
Elde edilen sonuçlara göre, düğüm sayısının artması ile istenilen “Z” noktasına daha yakın düğümlerin bulunma olasılığı artmış, böylece ne menzil içinde daha fazla sekme sayısı ile hedefe ulaşılmasına neden olacak kısa mesafeli ekstra bağlantılar sağlanmış, ne de menzil dışında kalan diğer düğümlere ekstra güç kullanımı ile ulaşılmasına sebep olunmuştur. Sonuç olarak, artan düğüm sayısı ile düğümler arası maksimum uzaklıklar (Şekil 5.4d) ve buna bağlı olarak düğümler arası harcanan güç miktarları düşmüştür (Bkz. Şekil 5.4a- Şekil 5.4b).

Öte yandan Şekil 5.4b’de görülüyor ki, harcanan ortalama güç miktarı doyum noktasından sonra da minimum seviyede devam etmektedir. Bunun nedeni; bu noktadan sonra da, sürekli olarak “Z” noktasına çok yakın düğümlerin bulunmaya devam edilmesi ve (5.7) deki harcanan ortalama güç miktarlarının yine normal düğüm menzili için çıkan değere eşit seyretmesidir. Verilen parametre değerleri için en iyi düğüm sayısı (5.10) hesaplama sonuçlarından ve simülasyon sonuçlarından 50 düğüm olarak saptanmıştır.

5.2. Hareketli Ağlarda Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca Kolonisi algoritması, karıncaların yuvaları ile yiyecek noktaları arasındaki en kısa yolu bulma kabiliyetlerinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Alternatif yolların söz konusu olduğu durumlarda karıncalar, öncelikle bu yollara rastgele ve eşit olasılıklarla dağılırlarken, belli bir süre sonra en kısa olan yolda yoğunlaşmaktadır. Zaman geçtikçe tüm karıncaların en kısa olan yolu kullandıkları görülmektedir (Şekil 5.5) [53].

Bunu yaparken önceki geçişlerden dolayı yollarda kalan feromon izlerinden faydalanmaktadırlar. Temel kural, feromon miktarının yoğun olduğu yolun tercih edilme olasılığının yüksek olmasıdır. Görme duyuları çok gelişmemiş olan karıncalar, rota tercihlerini rotalar üzerindeki feromon izlerine göre yapmaktadırlar. Kısa olan rotada, feromon miktarı uzun rotalara nispeten daha yoğun bir şekilde birikmektedir. Kısa olan yoldan geçiş daha hızlı gerçekleşeceğinden, birim zamanda geçiş yapan karınca sayısı, uzun rotaya göre daha fazla olacaktır. Dolayısıyla herhangi iki düğüm arasındaki yol üzerinde bulunan feromon miktarı, rotanın uzunluğuyla ters orantılı olmaktadır [53].



Şekil 5.5 Karıncaların yol izleme aşamaları [53].

5.2.1. Geçiş kuralı

N noktanın herhangi birinden tura başlanıldığında, N-1 yol tercihi söz konusudur. Her bir noktanın ziyaretinden sonra seçim alternatiflerinin sayısı “1” tane azalmaktadır. ACO algoritmalarında yapay karıncalar ilk iterasyonda başlangıç noktasından gidecekleri bir sonraki noktayı eşit olasılıkla seçmekte ve bu şekilde devam ederek ilk turlarını tamamlamaktadırlar. Eşit olasılıklı seçim, her bir yol için eşit olarak atanan feromon izleriyle sağlanır. Daha sonra, her bir karıncanın geçiş yapmış olduğu rotalardaki feromon miktarları, bu rotaların uzunluklarıyla ters orantılı olarak arttırılır. Böylelikle tüm rotalar için, geçiş sayısı ve uzunluklara bağlı olarak feromon güncellemesi yapılmaktadır. Bir sonraki ve devam eden iterasyonlarda, rota tercihleri güncellenen feromon miktarlarına göre belirlenir.

ACO'da rota tercihi belli bir olasılığa bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilir. İlk seçenek q_0 olasılıkla feromonun en yoğun olduğu yolun seçilmesidir. q_0 parametresi genellikle %90 olarak belirlenir. $\tau(i, j)$ i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı, seçilebilirlik parametresi $\eta(i, j)$, i ve j noktaları arasındaki mesafenin tersi (1

/ $\delta(i, j)$), α ve β ayarlanabilir parametreler olmak üzere, i noktasında bulunan bir karıncanın gideceği nokta,

$$j = \text{maks} \left\{ \left[\tau(i, u)^\alpha \right] \times \left[\eta(i, u)^\beta \right] \right\} \quad \text{eğer } q \leq q_0 \quad (5.11)$$

ile seçilmelidir [53]. İkinci seçenek ise gidilmesi mümkün olan rotalardan birini, rotalardaki feromon izleriyle orantılı olarak seçmektir. $J_k(i)$, i noktasındaki karıncanın gidebileceği noktaları yani ziyaret edilmemiş şehirleri temsil eder. Tüm şehirler için seçilme olasılıkları,

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{\left\{ \left[\tau(i, u)^\alpha \right] \times \left[\eta(i, u)^\beta \right] \right\}}{\sum_{u \in J_k(i)} \left\{ \left[\tau(i, u)^\alpha \right] \times \left[\eta(i, u)^\beta \right] \right\}}, & \text{eğer } j \in J_k(i) \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [53]. Rota bu olasılıklara bağlı olarak seçilmektedir ve feromonun yoğun olduğu rotaların seçilme olasılığı yüksektir.

5.2.2. Feromon güncellemesi

Feromon güncellemesindeki asıl amaç tüm çözüm uzayının taranmasıdır. Güncelleme işlemi tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra yapılır. Feromon güncellemesinin iki temel aşaması vardır. Bunlar, tüm rotalardaki feromonların, belirlenen oranda (buharlaşma oranı) buharlaştırılması ve karıncaların geçiş yapmış oldukları rotalardaki feromon miktarlarının, o yolu kullanan karıncanın rota uzunluğuyla ters orantılı olarak artırılmasıdır [53].

Buharlaşma oranı daha önceki çözümlerin öneminin zamanla azaltılmasını sağlamaktadır. Feromon artışı ise, yol uzunluğuyla ters orantılı olarak, iyi çözümlerin öneminin artırılmasını temin eder. Karınca Kolonisi algoritmasının değişik sürümlerinde farklı feromon yenileme kuralları kullanılmıştır. Karınca Koloni Algoritmasında feromon yenilemesi lokal ve global olmak üzere iki düzeyde

gerçekleşmekte ve bir rotadaki toplam feromon düzeyi; lokal ve global feromon düzeyinin toplamından oluşmaktadır.

5.2.2.1. Lokal feromon güncellemesi

$T_0(t)$: t. iterasyona kadar biriken feromon düzeyi,

K : $\Delta \tau_{ij}^k(t+1)$, iterasyonundaki feromon düzeyi ve

ρ ($0 \leq \rho \leq 1$), feromon buharlaşma parametresi olmak üzere lokal feromon düzeyi,

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)T_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t+1) \quad (5.13)$$

ile hesaplanır [53]. Burada, $\Delta \tau_{ij}^k(t+1)$,

$$\Delta \tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} 1/L^k(t+1), & k \text{ karıncası } (i, j) \text{ yolunu kullanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.14)$$

ile hesaplanacaktır [53] ve $L^k(t+1)$, k karıncasının toplam tur uzunluğudur. Lokal feromon güncellemesi, turları dinamik olarak değiştirerek geçiş yapılan rotaları cazip hale getirir. Karıncalar, değişen feromon miktarlarına bağlı olarak her iterasyonda turlarını da değiştirmektedirler. Böylelikle sürekli olarak daha kısa turları bulmak amaçlanmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm Karınca Kolonisi algoritması simülasyon modellerinde lokal feromon güncellemesi kullanılmıştır.

5.2.2.2. Global feromon güncellemesi

Karınca Kolonisi algoritmasında, global feromon güncellemesi, geçerli iterasyondaki en iyi sonuca sahip karıncanın izlediği yolun feromon düzeyinin artırılmasından oluşur ve iterasyonlarda bulunan en iyi sonuçların belli bir oranda ileriki iterasyonlara aktarılmasını sağlar. Rank temelli algoritmada en iyi sonuca sahip m tane karıncanın feromon düzeyinin artırılması önerilmektedir. Global feromon güncellemesi lokal feromon güncellemesine benzerdir ve

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (5.15)$$

ile hesaplanmaktadır [53]. Burada $\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$ ise,

$$\Delta\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{best}(t+1)} & (i, j) \text{ en iyi tura sahipse} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.16)$$

ile hesaplanacaktır. Burada, $L_{best}(t+1)$ iterasyonda bulunan en iyi tur uzunluğudur.

5.2.3. Parametreler

Karınca Kolonisi algoritmalarında ayarlanabilir temel parametreler; karınca sayısı, q_0 , α ve β 'dir. Parametrelerin etkin olarak seçilmesi, algoritmanın başarımında önemli derecede iyileşme sağlamaktadır. Karınca sayısının artırılması çözümde iyileşme sağlamakla beraber, hesaplamaları arttırdığı için işlem zamanlarının uzamasına neden olur. Yapılan denemeler sonucunda karınca sayısının şehir sayısına eşit seçilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Karınca sayısı, problem büyüklüğüne ve uygulama alanına bağlı olarak değişmektedir, q_0 değeri en iyi çözümün sonraki iterasyonlara aktarılması olasılığını belirleyen parametredir. q_0 , gezgin satıcı problemlerinde genellikle %90 olarak alınmıştır [53]. Bunun anlamı, mevcut karıncanın %90 olasılıkla daha önce en iyi çözümü sağlamış olan yolu takip etmesi, %10 olasılıkla da o anki feromon izlerinin yoğun olduğu yolu belirlemesidir. α değeri, ilgili yolun feromon miktarının önemini belirler ve önceki iterasyonların sonuçlarının ilerleyen iterasyonlara aktarılmasını temin eder. α değerinin yüksek olması feromonun yoğun olduğu rotaların seçilme olasılığını artırırken tesadüflüğü azaltmaktadır. β değeri ise rota uzunluklarının, bir sonraki noktanın seçimindeki etkisini belirlemektedir. β değeri arttıkça bir sonraki yolun seçiminde tesadüflük artmaktadır. β 'nin düşük olması ise alternatif çözümlerin araştırılması ihtimalini azaltır. α ve β parametre değerleri birbirinden bağımsız değildir. Problemin özelliğine göre değişen bu parametreler için denemeler yapılarak en etkin parametrelerin belirlenmesi gerekir. Karınca Kolonisi, En Hızlı

Yol ve Erişebilirlik tabanlı uzun ömürlü rotalama algoritmaları bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyonlarla karşılaştırılmaya alınmıştır [54; 55].

5.3. Hareketli Ağlarda Erişilebilirlik Tabanlı Uzun Ömürlü Rotalama

Bu bölümde anahtar seçim algoritmalarının analizi sonucunda elde edilmiş olan sonuçların kullanımı ile hareketli bir ağda (en uzun yaşam süresine sahip rotaların seçimi için en iyi olarak bilinen) ABR [20] metodunun geliştirilmesi ve daha uzun yaşam süreli, daha az kopukluk yaşayan rotaların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda ABR'de düğümlerin kendi komşu düğümleriyle yakınlık süreleri ile belirlenerek her düğüm için ayrı ayrı ağırlıklandırılmış olan bir Erişebilirlik Tiki (AT) eşik değeri kullanılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Daha sonra rastgele yerlerde bulunan, hareket halinde ki düğümlerin birbirlerinden aldığı sinyal seviyelerinden birbirlerine göre bağıl yer değişimleri ve hızları göz önünde bulundurulup, bilişsel bir ağdaki düğümlerin kendi kararlarını kendileri verip en uzun ömürlü rotayı belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, tek sekmeli ve çok sekmeli rota seçim algoritmalarının simülasyonları gerçekleştirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanarak, en iyi olarak bilinen ABR'nin diğer anahtar seçim algoritmalarından daha iyi başarıma sahip olduğu gösterilmiştir. Böylece, bu çalışmada ABR'den geliştirilen rotalama algoritmalarının (AEABR [21] ve ATAABR [22]) ABR ile ve ASA'ları ile kıyaslanması için uygun zemin hazırlanmıştır.

IEEE 802.16 WIMAX ağlarında kullanılabilecek olan paket boyutu 16 Bayt ila 1024 Bayt ve 2'nin kuvvetleri şeklinde değiştirilebilir niteliktedir [32]. IEEE 802.16 ağında kullanılan paket yapısında; 1 bit başlık tipi + 1 bit şifre + 6 bit çerçeve tipi + 1 ara bit + 1 bit kontrol toplamı (Check Sum) kullanımı + 2 bit şifre anahtarı + 1 ara bit + 11 bit çerçeve boyutu + 16 bit bağlantı ID'si + 8 bit başlık kontrol serisi + Veri olmak üzere toplam 48 bit ve veri kısmından oluşmaktadır [6]. IEEE 802.16 standartlarında [6] tanımlanan paket yapısı ve MAC başlık yapısı Ek-3'te verilmiştir. Bu durumda, seçilen paket boyutuna göre (16 Bayt – 1024 Bayt arası [32]) veri için ayrılmış olan bölümün büyüklüğü de değişiklik gösterecektir.

Kullanılan paket boyutu, mesajlaşma ek yükünün hesaplanmasında kritik bir önem taşımakta ve bant genişliği ziyanının önüne geçilmesi için aynı işi görebilecek mümkün olan en uygun paket boyutunun seçilmesi gerekmektedir. Çalışmada ABR, AEABR ve ATAABR ile 10 Bayt'lık [8] ses paketlerinin minimum gecikme ve minimum bant genişliği ziyanı ile gönderilebilmesi için minimum paket boyutu olan 16 Bayt'lık [32] paketler kullanılmaktadır. Bu paketlerin 6 Bayt'lık bölümleri bahsedilen alanlar için, kalan 10 Bayt'lık bölümleri ise veri iletimi için kullanılmaktadır.

5.3.1. ABR ve EABR rotalama algoritmaları

EABR algoritması da ABR gibi erişilebilirlik tabanlı çalışan bir algoritmadır. EABR'nin ABR'den farkı ise ABR'de pasif olan alıcının EABR'de hareketli ve aktif bir rolde olmasıdır [46]. Çalışmamızda, kaynak [20]'de verilmiş olan ABR algoritması, gerçekleştirilerek, bu algoritmanın mevcut ASA'lardan daha uzun ömürlü rotalar sağladığı simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır. ABR'de kullanılan rota seçim algoritması Çizelge 5.1'de verilmiştir [20].

Bu algoritmaların çalışma prensibinin detayları ABR'den geliştirilen AEABR rotalama algoritması ile detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bu çalışmada ABR'den geliştirilen AEABR ve ATAABR algoritmaları, hem merkezi hem de dağıtılmış sistemlerde kullanılabilir niteliktedir. Bu algoritmaların getirdiği mesajlaşma ek yükleri de ayrıca incelenmiştir.

Çizelge 5.1 ABR rota seçim algoritması [20]

- S_i : kaynaktan hedefe mümkün olan rota kümesi
 RL_i^j : rota içindeki her bir düğüm üzerindeki anahtarlama yüklemesi
 RL_{maks} : maksimum rota anahtarlama yüklemesi
 $AT_{eşik}$: Erişebilirlik kararlılığı için gerekli olan minimum erişebilirlik tik sayısı
 AT_i^j : rota kümesindeki her bir j düğümü için erişebilirlik tik sayısı
 H_i : rotanın erişebilirlik kararlılık derecesi
 L_i : rotanın erişebilirlik kararlı olmamam derecesi
 $H_{i_{ave}}$: rotanın ortalama erişebilirlik kararlılık derecesi
 $L_{i_{ave}}$: rotanın ortalama erişebilirlik kararlı olmamam derecesi
 Y_i : rotalar içinde anahtarlama için kabul edilebilir düğüm sayısı
 U_i : rotalar içinde anahtarlama için kabul edilemez düğüm sayısı

Begin

S_i içindeki her bir i rotası için

Begin

$a \leftarrow 0$

S_i içindeki her bir j düğümü için

Begin

if ($AT_i^j \geq AT_{eşik}$) $H_i ++$

else $L_i ++$

if ($RL_i^j \geq RL_{maks}$) $U_i ++$

else $Y_i ++$

$a ++$;

end

$H_{i_{ave}} = H_i / a$; $L_{i_{ave}} = L_i / a$;

$U_{i_{ave}} = U_i / a$; $Y_{i_{ave}} = Y_i / a$;

end

En iyi rotanın hesaplanması

$U_{i_{ave}} = 0$ ve $H_{i_{ave}} \neq 0$ ile kabul edilebilir rota kümesi P_i olsun. $P_i \subseteq S_i$

Begin

En yüksek derecede erişebilirlik kararlılığına sahip rotayı bul

P_l kümesinden $H_{l_{ave}} > H_{i_{ave}} \forall l \neq k_i$ olan bir k rotası seç

yada varsa $H_{K1_{ave}} \equiv H_{K2_{ave}} \equiv \dots \equiv H_{Kp_{ave}}$ olan bir rota kümesi seç

Burada $n = \{1, 2, 3, \dots, p\}$

Begin

* Anahtar rotaya ters gelmeyen minimum sekmeli rotayı bul

yada $a = \{1, 2, 3, \dots, q\}$ olmak üzere

$Min\{k1\} = Min\{k2\} \dots Min\{kq\}$, olan K_0 rota kümesi varsa

Begin

* Birden fazla aynı değerde erişebilirlik ve minimum sekmeli rotalar varsa

aynı minimum sekme sayısında birden fazla rotası varsa K_0

rota içindeki bu K_x rotadan birisini seç

end

end

5.3.2. AEABR rotalama algoritması

Çalışmanın bu bölümünde özgün tablolama, sinyalleşme, simülasyon modellemesi ve ABR ile EABR'nin kombinasyonu üzerine eklenen bir takım bilişsel özelliklerle geliştirilmiş olan AEABR algoritması anlatılmaktadır.

Önerilen bu yeni algoritmayla, EABR'deki gibi, hedefin hareketi ve aktif karar verme özelliği de sağlanmıştır, bununla birlikte AEABR, kaynaktan hedefe birden fazla aynı sekme sayısında rotalar bulunması durumunda ABR'de olduğu gibi rasgele seçim yapmak yerine kendi özelliklerini devreye sokarak karar vermektedir.

AEABR'de de yine ABR ve EABR'de olduğu gibi ağda hareket halindeki tüm düğümler erişebildikleri komşu düğümlere "buradayım" mesajları gönderirler ve bu esnada diğerlerinden de "buradayım" mesajlarını alırlar, bu mesajlara erişilebilirlik tiki (AT) mesajları denir. Fakat bu AT mesajları da diğer sinyaller gibi ancak ve ancak alınan sinyal seviyesi önceden belirlenen bir eşik güç değerinden büyükse alınabilir. Düğümler, tüm bu bilgileri daha sonra rota belirlemede kullanmak üzere kendi tablolarında tutarlar. Bu tablolar alınan AT mesajları ve LLRP [45]'teki gibi gönderilen keşif paketleriyle sürekli güncel tutulurlar. Eğer düğümlerden biri "buradayım" mesajı göndermeyi durdurursa o düğüme ait AT mesaj alanı o anda sıfırlanarak o düğümün artık kapsama alanında olmadığı tabloya not edilir. Bu algoritmayla sağlanan diğer bir özellik ise, pili zayıflamış ya da işlemcisi yoğun olan düğümlerin işbirliği yapmak istememeleri durumunda AT mesajlarını göndermeyi keserek diğer düğümlerin tablolarında kendilerine ait "Erişilebilir" değerinin sıfırlanmasını sağlayabilecek olmalarıdır. AT mesajına sahip olunan bir düğümden tekrar AT mesajı geldiğinde ise tablodaki o düğüme ait AT mesaj sayısı bir artırılır. Bu sayede her düğümün tablosunda uzun süredir kendisi ile bağlantı kuran bir düğüme ait çok sayıda AT mesajı olacaktır. Tabloda bir düğüme ait olan alanda AT mesaj sayısı 0 değilse, o düğüme şu an için bağlantı var anlamına gelecektir. Ancak bu düğümlerle bağlantı kurmak için AT mesaj sayısının AT eşik değerinden büyük olması gerekmektedir.

Ağdaki tüm düğümler kendi tablolarını aynı yapıda tuttuklarından komşularının hangi düğümlerle bağlantılı olduğunu onların tablolarından öğrenebilirler. Merkezi

sistemlerde düğümler tablo içindeki gereken alanlardaki bilgileri merkeze gönderilirken, merkezi olmayan dağınık sistemlerde, bu bilgilerin komşu düğümlere gönderilmesi gerekir.

ABR'de bir bağlantı kurulmaya çalışıldığında, tablodan (bu düğümün diğer düğümlere olan AT sayısı toplamı / aktif düğüm sayısı) eşitliği kullanılarak hesaplanan $AT_{eşik}$ değerinden büyük AT değeri olan erişilebilir bir düğüm seçilir. AT ve $AT_{eşik}$ değerleri ağın o anki durumuna göre sürekli olarak güncellenmektedir. Çizelge 5.2 - 5.7 arasındaki tablolar, $T_x - R_x$ arası direk bağlantı bulunmadığı bir ana örnek olarak verilmiştir. Birden fazla rota belirlenmesi durumunda ise AT sayısının eşik değerine oranı daha yüksek olan, yani daha yüksek erişebilirlik kararlılığına sahip olan rota tercih edilecektir.

Çizelge 5.2 Anahtar 1 ABR tablosu

R1	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	-	1	1	1	0	0
AT sayısı	-	3	2	4	7	0
AT Eşik	-	16/6	12/6	14/6	15/6	5/6

Çizelge 5.3 Anahtar 2 ABR tablosu

R2	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	1	-	1	1	1	1
AT sayısı	3	-	3	5	4	1
AT Eşik	16/6	-	12/6	14/6	15/6	5/6

Çizelge 5.4 Anahtar 3 ABR tablosu

R3	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	1	1	-	1	1	1
AT sayısı	2	3	-	2	4	1
AT Eşik	16/6	16/6	-	14/6	15/6	5/6

Çizelge 5.5 Anahtar 4 ABR tablosu

R4	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	1	1	1	-	0	1
AT sayısı	4	5	2	-	0	3
AT Eşik	16/6	16/6	12/6	-	15/6	5/6

Çizelge 5.6 Alıcı (R_x) ABR tablosu

R_x	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	0	1	1	0	-	0
AT sayısı	7	4	4	0	-	0
AT Eşik	16/6	16/6	12/6	14/6	-	5/6

Çizelge 5.7 Verici (T_x) ABR tablosu

T_x	R1	R2	R3	R4	R _x	T _x
Erişilebilir	0	0	0	1	0	-
AT sayısı	0	1	1	3	0	-
AT Eşik	16/6	16/6	12/6	14/6	15/6	-

Burada $AT_{eşik}$ ağırlıklandırılmış değerleri düğümlerin diğer düğümlere olan toplam AT sayısı / ağdaki toplam düğüm sayısı ile belirlenmiştir. Örneğin Anahtar 1 (R1) için $AT_{eşik}$ değeri, Çizelge 5.2'deki değerler kullanılarak, (5.17)'deki gibi hesaplanır.

$$R_{1_{AT_{eşik}}} \left(\frac{3+2+4+7+0}{\# \text{ of nodes}} \right) = 16/6 \quad (5.17)$$

ABR için bu tablolara göre T_x den R_x'e rota belirlemede, Çizelge 5.1'de verilen [20] ABR algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaya göre, mümkün olan rotalar bulunduktan sonra içlerinden sekme sayısı en az olan seçilir, aynı sekme sayısına sahip birden çok rota belirlenmişse, minimum sekme sayısına sahip olan bu rotalardan herhangi biri rastgele seçilir. Bu çalışmada geliştirilen AEABR algoritması bu noktada da devreye girmektedir. Bu algoritma minimum sekme sayısına sahip olan rota kümesi içinden birini ABR'de olduğu gibi rastgele seçmek

yerine, kendi özgün tekniklerine göre seçecektir. Bu bağlamda ABR'nin sahip olduğu tablo genişletilerek ekstra iki satır daha eklenir ve Çizelge 5.8'deki yeni tablo elde edilir.

Çizelge 5.8 Anahtar 4 için AEABR tablosu

R4	R1	R2	R3	R4	Rx	Tx
Erişilebilir	1	1	1	-	0	1
AT sayısı	4	5	2	-	0	3
AT Eşik	16/6	16/6	12/6	-	15/6	5/6
Eski Güç (OP) W	0,67	0.91	0.59		0	0.51
Yeni Güç (NP) W	0.62	0.84	0.67	-	0	0.51

Eklenen bu güç seviyesi satırları ağdaki diğer düğümlerden alınan AT mesajlarının ardışık periyotlardaki sinyal güç seviyelerini içerirler ve her AT mesaj alımında “yeni güç” alanındaki değer, “eski güç” alanına aktarılıp, güncel AT mesaj güç seviyesi ise “yeni güç” alanına kaydedilir (Çizelge 5.8).

AEABR algoritmasına göre bulunmuş olan rotalardan minimum sekme sayısına sahip birden çok rota bulunduğunda, ABR'de olduğu gibi bu rotalardan rasgele birini seçmek yerine,

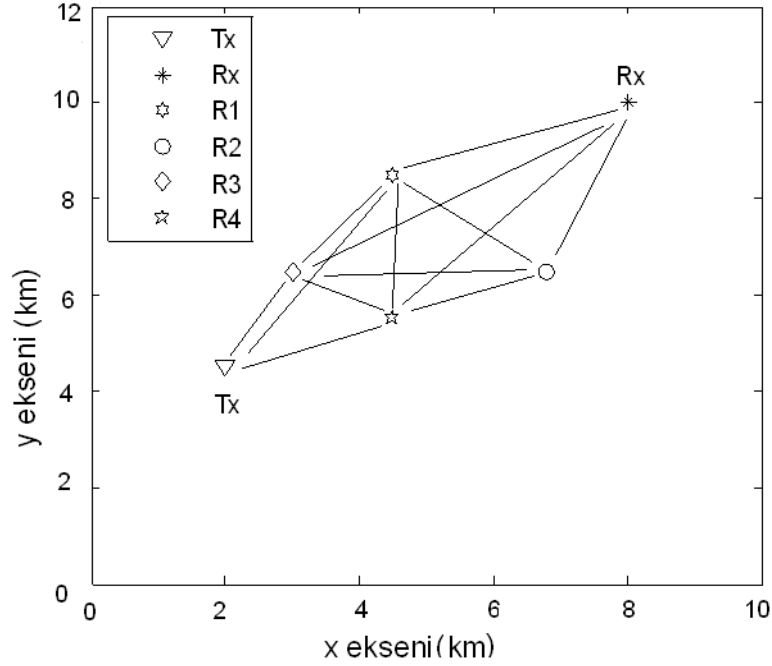
$$Rota_{Güçdeğişim} = \left(\frac{|Güç_{değişim}(T_x, R_s^1)| + |Güç_{değişim}(R_s^{hc_s-1}, R_x)| + \sum_{n=1}^{hc_s-2} |Güç_{değişim}(R_s^n, R_s^{n+1})|}{hc_s} \right) \quad (5.18)$$

kullanılarak, her rota üzerindeki tüm linkler için tablo sonuna eklenen OP ve NP alanları ile güç seviyeleri değişimi bulunur.

T_x ten R_x 'e mümkün olan tüm rota kombinasyonu için; Şekil 5.6'da gösterilen T_x ten R_x 'e rota kombinasyonlarından, Şekil 5.7'de verilen 3 rota seçildiğinde, önce T_x -3-4-1- R_x rotası da seçilmiş daha sonra bu rota diğerlerinden fazla sekme sayısına sahip olduğu için elenmiştir. Bu noktada, AEABR algoritması kalan rotalardan rastgele birini seçmek yerine, NP ve OP alanlarını kullanarak,

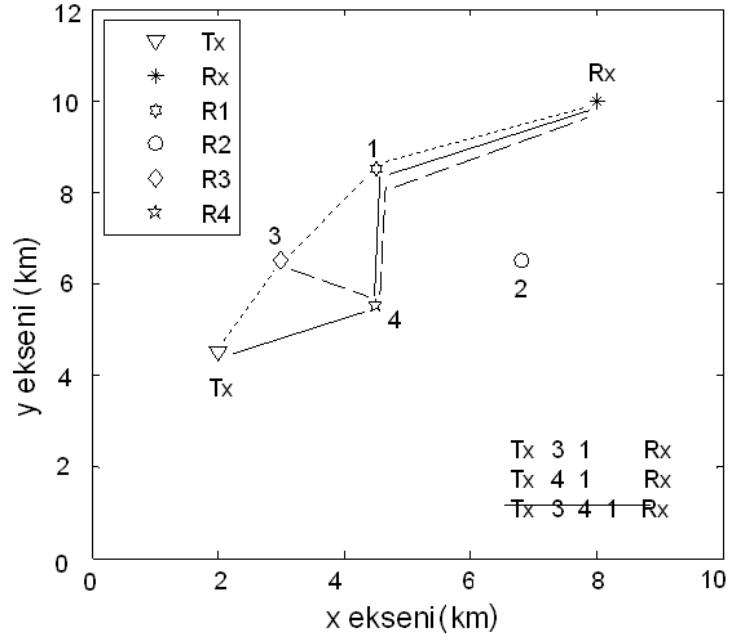
$$Rota_{Güçdeğişim} = \min \left(\frac{|Güç_{değişim}(T_x, R_s^1)| + |Güç_{değişim}(R_s^{hc_s-1}, R_x)| + \sum_{n=1}^{hc_s-2} |Güç_{değişim}(R_s^n, R_s^{n+1})|}{hc_s} \right) \quad (5.19)$$

eşitliğine göre, minimum sinyal gücü değişimli linklere sahip olan rotayı seçecektir. Alınan sinyalde minimum değişim olması demek o düğümler arası bağıl hız ve uzaklık değişiminin de minimum olması demek olduğundan, sinyal seviyesinin mutlak değişimi en az olan rota seçilir. Bu yolla, düğümlerin birbirine göre (bağıl) hızları, konumları ve yönleri hakkındaki bilgiler başka ayrıntıya ya da Küresel pozisyon sistemine (GPS) gerek duymaksızın hesaba katılmış olur. Göndericiden alıcıya çizilebilecek rota kombinasyonu ve ABR için seçilebilecek örnek rotalar sırasıyla Şekil 5.6 ve 6.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6 Tx ten Rx'e çizilebilecek tüm rota kombinasyonları.

ABR, Şekil 5.7'ye göre belirlenen rotalar içinden 3-1-R_x ve 4-1-R_x içinden rastgele birini seçerken, AEABR, bu iki rota arasında güç seviye değişimlerine göre karar verecektir.



Şekil 5.7 ABR ile minimum sekme sayısında birden çok rota seçildiği durum.

5.3.3. ATAABR rotalama algoritması

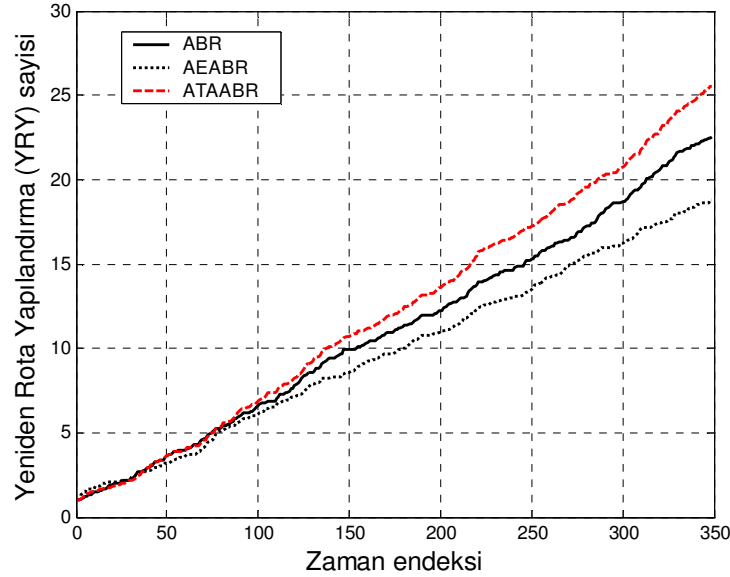
Geliştirilen bir diğer rotalama algoritması olan ATAABR'de [22] yine erişilebilirlik tabanlı bir uzun ömürlü rota bulma algoritmadır. Burada ise düğümlerin mevcut ağ koşullarına göre oluşturdukları tabloyu ya da algoritmayı değiştirerek geliştirmek yerine, mesajlaşma yükünün artmasına sebep olmadan, mevcut ABR algoritmasının tablolarını kullanım şekillerinde yapılan bir takım değişikliklerle daha az kopuk kalan hatlar oluşturan rotaların seçimi amaçlanmıştır. ATAABR ile alınan AT sinyal güçleri, değerleri hesaplanmış olan $AT_{eşik}$ değerinden büyük olacak şekilde birbirine bağlanabilecek köprülerle kaynak hedef arası bağlantı sağlayabilen tüm rotalar seçilir. Bu seçilen rotalar arasından en az sekme sayısına sahip olanlar arasından $AT > AT_{eşik}$ ile belirlenmiş olan rotalarda her bir köprünün sahip olduğu AT sayısına bakılarak tüm rotaların kendi linklerinin AT sayısı ortalaması alınır ve T_x ten R_x 'e her rota için

$$Rota_{AT_{AVE}} = \left(\frac{(AT(T_x, R_s^1) + AT(R_s^{h_s-1}, R_x) + \sum_{n=1}^{h_s-2} AT(R_s^n, R_s^{n+1}))}{h_s} \right) \quad (5.20)$$

kullanılarak içerinden maksimum AT ortalamasına sahip olan rota seçilir. Bu noktada dikkat edilmelidir ki, ATAABR'nin kullanımında, diğer düğümlerden alınan güç seviyelerinin merkeze ya da diğer düğümlere gönderilmesine gerek olmadığından mesajlaşma ek yükünde AEABR'de olduğu gibi bir artış ta olmayacaktır. Bu rotaların tüm linklerinde, AT değerlerinin o düğüm için o anki $AT_{eşik}$ değerinden büyük olduğu unutulmamalıdır. Tüm anahtar ve rota seçim algoritmalarının başarımlarını karşılaştırmasının daha iyi gözlemlenebilmesi için kıyaslamaya alınacak olan tüm anahtar ve rota seçim algoritmaları aynı simülasyon ortamına entegre edilerek, aynı anda ve aynı koşullar altında çalıştırılmıştır.

5.3.4. Uzun ömürlü rota algoritmalarının kıyaslanması

Şekil 5.8 de görülüyor ki, bu tez çalışmasında yeni geliştirilmiş uzun ömürlü rotalama algoritmalarından biri olan ATAABR, rota ömrü bakımından ABR'den elde edilen rota ömründen daha iyisini elde edemezken, diğer bir yeni geliştirilmiş algoritma olan AEABR her iki algortmadan daha uzun ömürlü rotalar sağlamaktadır.

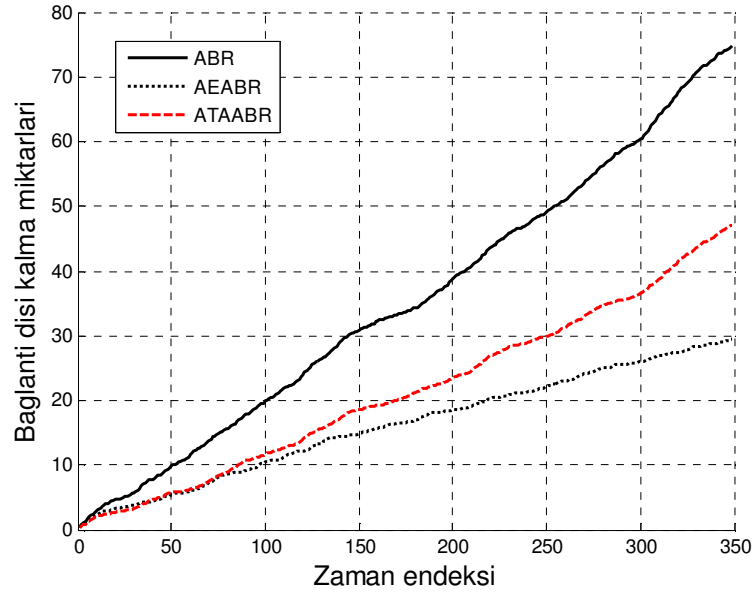


Şekil 5.8 ABR, AEABR ve ATAABR için YRY sayısı.

Diğer bir taraftan; ABR rota ömrü bakımından diğer tüm anahtar seçim algoritmalarından daha iyi başarıma sahip olduğundan (Bkz. Şekil 4.4) ve tüm algoritmalar kendi kararlarını kendileri vererek, tamamen aynı şartlar altında

çalıştıklarından, ABR, AEABR ve ATAABR bu şekilde tüm diğer anahtar seçim algoritmaları ile dolaylı olarak kıyaslanmıştır.

Öte yandan T_x ve R_x 'in birbirine bağlanabileceği uygun bir anahtar ya da rota bulunamaması veya yeni bir rotanın belirlenmesi esnasında bağlantı dışı kalınması durumunda bağlantı dışı kalma sayısı ya da süresi de özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için önemli bir faktördür. Tüm rota seçim algoritmalarının bağlantı dışı kalma sürelerini gösteren simülasyon sonuç grafikleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu grafiğe göre de en iyi sonuçları yine, yeni geliştirilen, AEABR algoritması vermekte, ABR ile ATAABR arasında ise ATAABR lehinde bir fark oluşmuştur. Yani, çalışmada geliştirilen her iki rotalama algoritmasının da bağlantı dışı kalma süreleri bakımından ABR'ye göre daha üstün olduğu gösterilmiştir.



Şekil 5.9 T_x ve R_x in birbiriyle bağlantı dışı kalma miktarları.

Her ne kadar ABR ve AEABR, yeniden rota yapılandırma anlamında ATAABR'den daha iyi başarımla sergiliyorsa da, ATAABR bağlantı dışı kalma süresi bakımından ABR den iyi sonuçlar verdiği için, veri iletim süresinin kısıtlı olduğu gerçek zamanlı uygulamalarda, AEABR'de olduğu gibi güç değişim değerlendirmesinin yapılamayacağı bir durumda ya da ABR tablosunun değiştirilemeyeceği kısıtlamalar olduğu durumlarda ATAABR'nin kullanılması tercih edilebilecektir.

Çalışmada önerilmiş olan AEABR algoritması ile hem rota ömrü uzatılmış, hem bağlantı dışı kalma sürelerinin azaltılması sağlanmıştır. Bu nedenle sistemin etkin çıktı oranı üzerinde bu algoritmanın kullanılması ile olumlu yönde ekstra bir etki oluşması beklenmektedir. Mevcut ABR algoritmasının, En Hızlı Yol algoritmasının ve yeni geliştirilen AEABR ile ATAABR algoritmalarının, bu çalışmada geliştirilen etkin çıktı oranı yükseltme metotları üzerindeki etkileri Bölüm 6'da analiz edilmiştir.

5.3.5. AEABR ve ABR rotalama algoritmalarının mesajlaşma ek yükü

5 ms'lik bir OFDMA çerçevesi ile saniyede toplam 200 çerçeve olacaktır ve bir çerçevede 48 OFDMA sembolü vardır [8]. Öte yandan 64 QAM kullanılarak, her biri 6 bitlik, 720 Alt taşıyıcı [8] ile, 30 alt kanaldan her biri, 5 ms'lik bir çerçeve süresi içinde, $(720 \times 6) / 30 = 144$ bit (FEC (İleri Yönlü Hata Düzeltimi) olmadan) veri gönderimi yapacaktır. Bu oran $\frac{3}{4}$ FEC kullanıldığında alt kanal başına 108 bit seviyesine inmiş olur. Bu, her 5 ms'de 108 bit veri üreten bir cihaz için 1 alt kanal yeterli olacaktır demektir [8].

Mesajlaşma ek yükü hesaplamaları için, 108 bitten büyük ve 2'nin kuvveti olan en ufak paket boyutu olarak 16 Bayt'lık paket boyutu kullanılmıştır [32]. Mesajlaşma yükü, kullanılan rotalama algoritmasına ve sistem tipine göre farklılık gösterecektir. Örneğin ABR ve ATAABR algoritmaları ile sadece komşulardan alınmış olan AT sayıları merkeze ya da komşu düğümlere gönderilirken, AEABR'de buna ek olarak her bir düğümden alınan AT mesajlarındaki güç değişimleri de gönderilecektir. Daha önce açıklandığı gibi; IEEE 802.16 ağında kullanılan paket yapısında; 1 bit başlık tipi + 1 bit şifre + 6 bit çerçeve tipi + 1 ara bit + 1 bit kontrol toplamı (Check Sum) kullanımı + 2 bit şifre anahtarı + 1 ara bit + 11 bit çerçeve boyutu + 16 bit bağlantı ID'si + 8 bit başlık kontrol serisi + Veri olmak üzere toplam 48 bit başlık için kullanılmaktadır [6].

Kullanılan 16 Bayt'lık paketin kalan kısmı ise veri taşınması için kullanılacaktır. Sistemin merkezi ya da dağınık olmasına göre, düğümlerce merkeze ya da komşulara gönderilecek olan tablo bilgileri, kullanılan rotalama algoritmasına yada sistem tipine göre Çizelge 5.9'daki şekilde olacaktır.

Çizelge 5.9 Rotalama algoritmalarının, sistem tipine göre mesajlaşma yükleri

	Merkezi sistemler	Dağınık sistemler
ABR	Tüm AT sayıları merkeze gönderilecek: (Komşu sayısı) x 4 Bayt Tamsayı	Tüm AT sayıları tüm komşulara gönderilecek: (Komşu sayısı) ² x 4 Bayt Tamsayı
AEABR	Tüm AT sayıları merkeze gönderilecek, tüm güç değişimleri merkeze gönderilecek: (Komşu sayısı) x (4 Bayt Tamsayı + 4 Bayt Ondalıklı sayı)	Tüm AT sayıları tüm komşulara gönderilecek, tüm güç değişimleri tüm komşulara gönderilecek: (Komşu sayısı) ² x (4 Bayt Tamsayı + 4 Bayt Ondalıklı sayı)
ATAABR	Tüm AT sayıları merkeze gönderilecek: (Komşu sayısı) x 4 Bayt Tamsayı	Tüm AT sayıları tüm komşulara gönderilecek: (Komşu sayısı) ² x 4 Bayt Tamsayı

Bir düğümün erişimi bulunan düğüm sayısı ve mesajlaşma ek yükü şu şekildedir:

ABR ve ATAABR'nin merkezi sistemlerde kullanılmasında merkeze her bir komşu için (4 Bayt) = 32 bit, AEABR'nin merkezi sistemlerde kullanılmasında ise merkeze her bir komşu için (4 Bayt + 4 Bayt) = 64 bit gönderilecektir.

ABR ve ATAABR'nin dağınık sistemlerde kullanılmasında; her bir komşuya, komşu düğüm sayısı x (4 Bayt) = komşu düğüm sayısı x 32 bit, AEABR'nin dağınık sistemlerde kullanılmasında ise; her bir komşuya, komşu düğüm sayısı x (4 Bayt + 4 Bayt) = Komşu düğüm sayısı x 64 bit veri AT mesajlarıyla birlikte gönderilmektedir.

Sistemde gönderilen paketler aynı zamanda AT mesajı olarak kullanılabilir ve gerekli bilgiler aynı pakete sığıdığı sürece ayrı bir AT mesajı gönderimine gerek kalmaz. Görüldüğü gibi, dağınık sistemlerde sahip olunan komşu sayısı, ihtiyaç duyulacak alt taşıyıcı sayısını da yakından etkilemektedir.

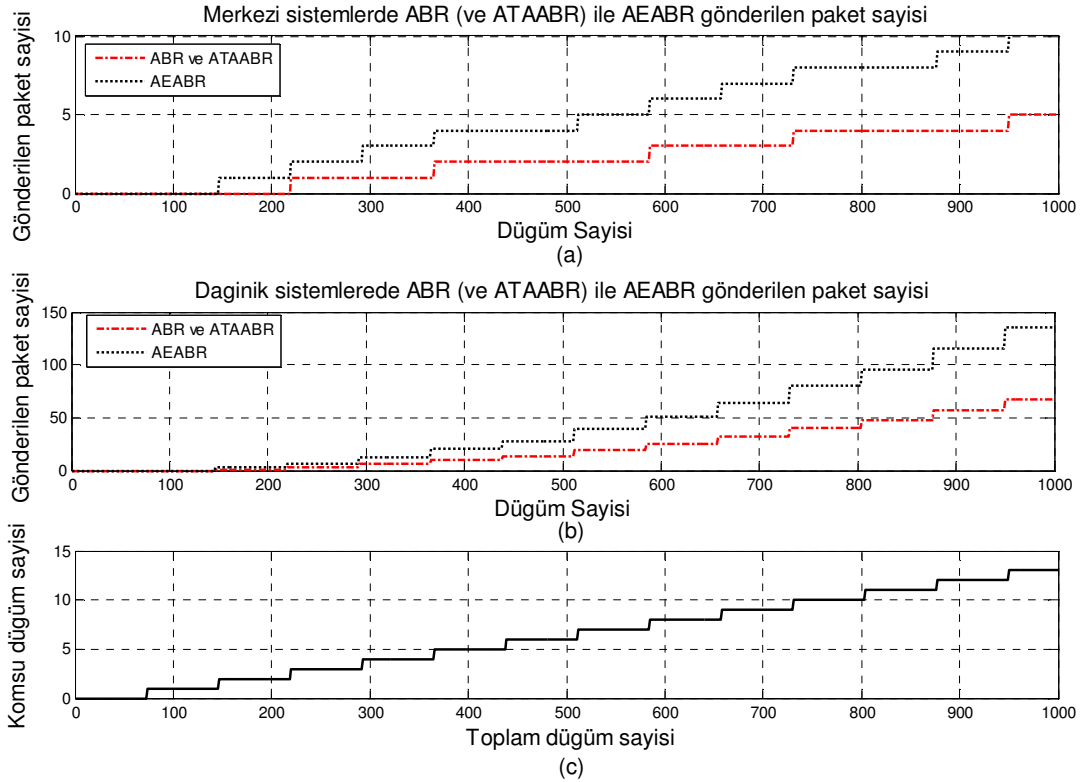
Sonuçta ABR ve ATAABR için; merkezi sistemlerde, IEEE 802.16 için minimum paket boyutu olan, 16 Bayt'lık paketler [32] AT mesajı olarak veri kısmına komşularına ait tablo bilgileri de yazılarak gönderilecektir. Dağınık sistemlerde ise bu gönderim aynı şekilde, ancak merkeze değil tüm komşu düğümlere yapılacaktır.

AEABR için ise; merkezi sistemlerde, IEEE 802.16 için minimum paket boyutu olan, 16 Bayt'lık paketlerin yine 48 biti bahsedilen başlık içeriği ile dolu iken, paketin kalan veri kısmına AT sayıları ile birlikte ekstra olarak ihtiyaç duyulan sinyal gücü değişim bilgileri de yazılır. Dağınık sistemlerde ise bu gönderim yine her komşu düğüm için ayrı ayrı yapılacaktır (Bkz. Çizelge 5.9).

Tüm rotalama algoritmaları için, tablolama bilgileri tek bir paketteki veri kısmına sığmadığı durumlarda, ekstra paket gönderimi gerekecektir. Bu işlemler esnasında tahmini komşu düğüm sayısı şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Komşu düğüm sayısı} = \frac{(\text{düğüm menzili} \times \text{alandaki düğüm sayısı})}{ALAN} \quad (5.21)$$

Burada, düğümün menzili (4.7)'deki P_r değerinin güç eşliğine eşitlenmesi ve d 'nin çekilmesiyle bulunur. ABR ve ATAABR aynı tabloları kullanarak aynı verileri gönderdiklerinden, her şart altında aynı mesajlaşma yüküne sahip olacaklardır. ABR (ve ATAABR) ile AEABR için toplamda 1-1000 arasındaki düğüm sayıları ile gönderilmesi gereken toplam paket sayıları Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Farklı toplam düğüm sayıları ve komşu düğüm sayıları için ABR (ve ATAABR) ile AEABR için gönderilmesi gereken paket sayıları analizi.

Şekil 5.10'dan görüldüğü gibi ağdaki toplam düğüm sayısı yaklaşık 500 ve altında olduğu durumlarda yani düğüm başına ortalama 5-6 komşu düğüm düştüğünde, AEABR'nin getirdiği mesajlaşma ek yükü getirdiği avantajlara kıyasla çok önemli bir büyüklükte olmamaktadır. Ancak AEABR, artan düğüm sayısı ile birlikte ek paket gönderimlerinde de aynı oranda artış göstermiştir.

Çizelge 5.10: PUSC alt kanal ile Gezgin WIMAX (IEEE 802.16) veri oranları [8]

Sistem parametresi	DL	UL	DL	UL
Bant genişliği	5 MHz		10 MHz	
FFT boyutu	512		1024	
Veri alt taşıyıcıları	360	272	720	560
Alt kanallar	15	17	30	35
Sistem periyodu			102.89 µs	
Çerçeve Boyutu			5 ms	

Çalışmanın bu bölümünde özetle, simülasyon sonuçlarından görülmüştür ki; önerilen yeni uzun ömürlü AEABR ve ATAABR algoritmaları, bağlantı dışı kalma sayısı bakımından, tüm ASA'lardan daha iyi olduğu gösterilen, mevcut ABR algoritmasından her zaman daha iyi başarımlar sergilemişlerdir (Şekil 5.9). Rota ömrü ile ters orantılı olan YRY sayısı bakımından en iyi başarımları sergileyen algoritma ise yine çalışmada yeni geliştirilen AEABR algoritması olmuştur [21] (Şekil 5.8). Geliştirilen bu yeni rotalama algoritmalarının, video ve ses iletişimi gibi hesaplama süresinin önemli olduğu, gerçek zamanlı uygulamalarda ya da kalıcı ve güvenli iletişimin önemli olduğu uygulamalarda kullanılması son derece faydalı olacaktır.

5.3.6. DÜĞÜMLER ARASI BAĞLANABİLİRLİK İÇİN SNR EŞİK DEĞERİ

Düğüm arası bağlantı kurulurken, göndericiden çıkan sinyal, uzaklığın karesi ile doğru orantılı bir şekilde azalacak ve sinyal, gürültünün de etkisi ile bir noktadan sonra alıcıda doğru olarak algılanamayacaktır. Sinyalin alıcıda doğru bir şekilde algılanabilmesi ise, alıcıya ulaşan sinyalin SNR değerinin, alıcının sahip olduğu SNR hassasiyet eşik değerinden büyük olmasına bağlıdır.

Günümüzde alıcı cihazlar, oldukça yüksek SNR hassasiyet seviyeleri ile çok düşük SNR seviyelerine sahip sinyalleri bile algılayabilecek nitelikte üretilmektedirler.

Ancak, her alıcı cihaz için, uzaklığın artırılmasıyla, bir noktadan sonra, daha az SNR değerine sahip sinyallerin algılayamayacağı bir alıcı SNR hassasiyeti eşik değerine ulaşılır. Bir ağ üzerindeki düğümler birbirleriyle bağlantı kuracakları zaman, verici tarafından gönderilen sinyalin alıcıda algılanabilmesi için gerekli olan SNR (dB) eşik değeri; gönderim gücü, uzaklık, gürültü gücü ve yol kaybı üsteline bağlı olarak değişir. Bu, eşitlik (5.22) ve (5.23) ile ifade edilir [56].

$$SNR = \frac{d^{-\alpha} \times P_t}{N_0} \geq SNR_{\text{esik}} \quad (5.22)$$

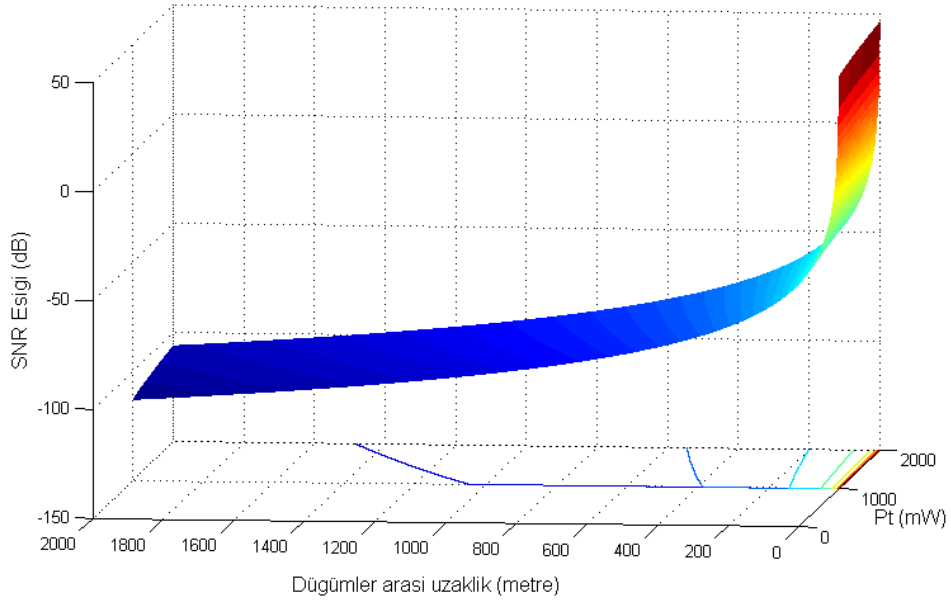
$$SNR (dB) = 10 \times \log \left(\frac{d^{-\alpha} \times P_t}{N_0} \right) \geq SNR_{\text{esik}} \quad (5.23)$$

Burada;

- d : bağlanacak olan düğümler arası uzaklık (metre)
- α : yol kaybı üsteli (serbest uzay için $\alpha = 2$)
- P_t : vericideki gönderim gücü (mW)
- N_0 : Kanal Gürültüsü ($N_0 = 1 \text{ mW}$ olarak alınmıştır)
- SNR : Sinyal gürültü oranı
- $SNR_{\text{eşik}}$: Alıcı SNR eşik değeri şeklinde kullanılmaktadır.

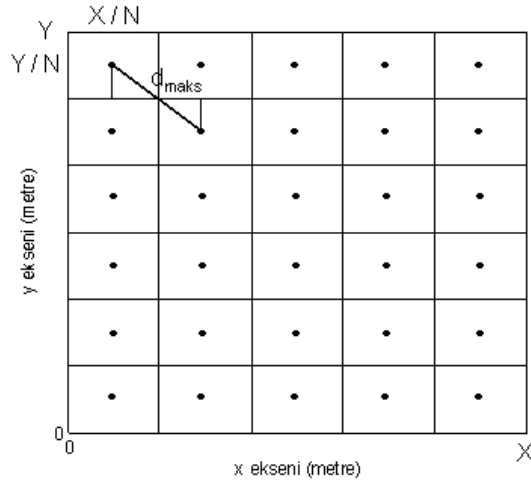
Sistemimizdeki, hareketli kablosuz ağ üzerindeki düğümlerin, birbirleriyle bağlantı kurabilmeleri için verici tarafından gönderilen sinyalin, vericiden çıkan farklı gönderim güçleri (P_t) ile farklı uzaklıklardaki alıcılarda algılanabilmesinde gerekli olan alıcı eşik SNR (dB) değerleri, Şekil 5.11'te grafiksel olarak sunulmuştur.

Şekil 5.11'de verilen değerler, hem bu tez çalışmasında simülasyonları gerçekleştirilerek değerlendirmeye alınan En Hızlı Yol Bulma, Karınca Kolonisi ve ABR algoritmaları, hem de çalışmada yeni geliştirilmiş olan AEABR ve ATAABR algoritmaları için geçerlidir. Bağlantı kurmak isteyen iki düğüm arası uzaklıkların daha da artması durumunda, bu bağlantının sağlanabilmesi için ya alıcının sahip olması gereken SNR hassasiyet değerinin ya da verici gönderim gücünün daha yüksek olması gerekir.



Şekil 5.11 Verici tarafından çıkan farklı gönderim güçleri (P_t) ve farklı uzaklıklardaki alıcılarda algılanabilmesi için gerekli olan eşik SNR (dB) değerleri.

Öte yandan, bir alan içinde eşit dağılıma sahip düğümler için, komşu düğümler arası maksimum uzaklık değerleri Şekil 5.12'den, eşitlik (5.24) ile hesaplanır.



Şekil 5.12 X metre eninde ve Y metre boyunda bir alan içinde eşit dağılımlı N adet düğüm ile elde edilen komşu düğümler arası maksimum uzaklık (d_{maks}),

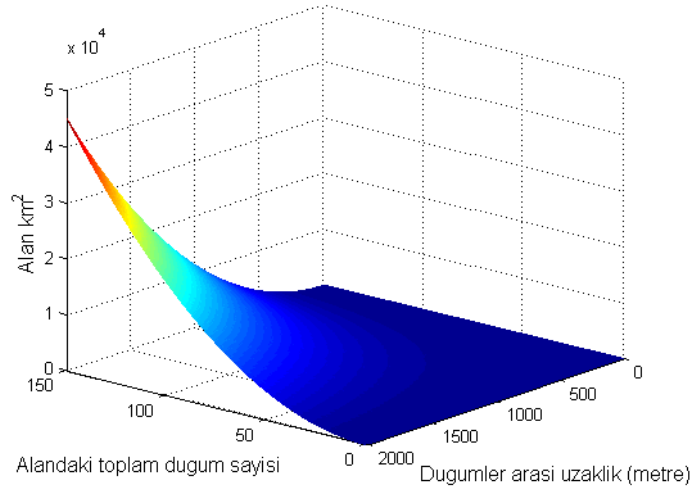
$$d_{maks} = \frac{2 \times \sqrt{\left(\frac{X}{N}\right)^2 + \left(\frac{Y}{N}\right)^2}}{2} \text{ metre} \quad (5.24)$$

eşitliği ile elde edilir. Burada;

- N : Alan içindeki toplam düğüm sayısını
X : X ekseninin uzunluğunu (metre)
Y : Y ekseninin uzunluğunu (metre) ifade etmektedir.

Buradan yola çıkılarak, eni boyuna eşit olan ($X=Y$) kare bir alan düşünülürken, N adet düğüm içeren bu alanın, alıcı SNR hassasiyet değerleri ile belirlenecek olan, düğümler arası erişilebilir farklı uzaklık değerleri için, sahip olabileceği maksimum yüz ölçümü metre kare cinsinden eşitlik (5.25)'deki gibi hesaplanır. Farklı düğümler arası uzaklıklar ve farklı düğüm sayıları için düğümlerin birbirine bağlantı kurabilecekleri bölgenin maksimum alan grafiği Şekil 5.13'te verilmiştir.

$$\text{Alan} = \left(\frac{N \times d_{\text{maks}}(\text{metre})}{\sqrt{2}} \right)^2 \text{ metre}^2 \quad (5.25)$$



Şekil 5.13 Şekil 5.11'de farklı alıcı SNR eşik değeri ile sağlanan düğümler arası uzaklıklar ve farklı düğüm sayıları ile, düğümlerin birbirine bağlantı kurabilecekleri bölgenin maksimum alan grafiği (km^2)

Ancak, alıcılarda daha yüksek SNR hassasiyetleri sağlandığında, bağlantıların aynı düğüm sayısı ve güç artırımı yapılmadan, daha büyük alanlar içinde sağlanabilmesine de olanak sağlanacaktır.

IEEE 802.16e standartlarına göre [12] (5.26)'da verilen alıcı hassasiyeti (R_{ss}), yine standartlarla belirlenen 8 dB gürültü şekli ve 64 QAM için alıcı SNR değeri olarak tanımlanan 21 dB ile, simülasyonlarımızda kullanılan parametre değerleri için (11.43 MHz örnekleme frekansı (F_s) [8], 1024 alt taşıyıcı, 720 veri alt taşıyıcısı, 10 MHz bant genişliği ve 30 alt kanal), kullanılacak WIMAX alıcılarının -69 dB SNR'a kadar hassasiyeti olduğu (5.27)'de gösterilmiştir.

$$R_{ss} = -101 + SNR_{alici} + 10 \times \log \left(F_s \times \frac{NOS}{\text{number of subcarriers}} \times \frac{\text{number of datasubcarriers}}{16} \right) \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} R_{ss} &= -101 + 21 \text{ dB} + 10 \times \log \left(11.4 \times \frac{30}{1024} \times \frac{720}{16} \right) \\ &= -101 + 21 \text{ dB} + 10 \times \log(12.72) \\ &= -101 + 21 \text{ dB} + 11.04 \\ &= -68.96 \text{ dB} \\ &= -69 \text{ dB} \end{aligned} \quad (5.27)$$

Sistemimizde, vericiden 1W gönderim gücü (P_t) ile çıkan sinyalin, -37 dB'lik (-69 dB'lik alıcı SNR hassasiyet değerinden daha düşük) SNR değeri ile algılanabilmesi istendiği durumda, (alan içinde analizlerimizde olduğu gibi 6 düğüm bulunduğu durum için) eşitlik (5.23)'ten, düğümler arasında yaklaşık 2300 m'ye kadar uzaklıklarla bağlantı sağlanabildiği saptanmaktadır. Eşitlik (5.25)'ten ise, düğümler arası 2300 m'lik bu bağlanabilirlik uzaklıkları için 95 km²'lik bir alan saptanmaktadır. Bu nedenle, aksi belirtilmediği takdirde, tüm simülasyonlarımızda, daha uygun bir yüz ölçümü olan 100 km²'lik bir alan kullanılmıştır.

6. IEEE 802.16j ÇOKLU ORTAM AĞINDA YENİ BİLİŞSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK FARKLI PAKET TİPLERİ İÇİN ETKİN ÇIKTI ORANININ ARTTIRILMASI

Bu bölümde yeni bilişsel yöntemler kullanılarak çoklu ortam verisine sahip IEEE 802.16j ağlarında paket kayıp oranının en aza indirgenmesi ve etkin çıktı oranının artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada OFDMA ve TDMA'nin birlikte kullanımının bir geliştirmesi olan ve MCAF (En Çok Sıkışan İlk Erişir) ismi verilen yeni bir spektrum erişim tekniği önerilmiştir. MCAF ile ek olarak, yeni önerilen arabellek yönetimi ve spektrum erişim metotlarının kullanılmasıyla ağ üzerindeki video, ses ve veri paketi gibi farklı paket tipleri için trafik yönetimi sağlanmıştır. Yeni bilişsel yöntemlerin kullanılmasıyla birlikte en iyi ara bellek boyutu; en az paket kaybı ve en az bellek kullanımı için formülize edilmiş ve farklı parametre değerleri için grafiği elde edilmiştir [13; 14]. Simülasyonu geliştirilen hücresel ağda, tüm anahtar düğümler, rotalama algoritmalarından istenilen birini kullanarak, rastgele hedeflere çok sekmeli rotalar belirleyip, art arda paket gönderimi girişiminde bulunmaktadırlar. Bu nedenle En Hızlı Yol ve Karınca Kolonisi rotalama algoritmalarının yanı sıra, yeni geliştirilen AEABR [21] ve ATAABR [22] erişilebilirlik tabanlı rotalama algoritmalarının, önerilen yeni etkin çıktı oranı artırım yöntemleri üzerindeki etkileri, sabit [13] ve değişken [57; 58] düğüm sayıları ile farklı araç hızları için analiz edilmiştir. Bu analizler ile simülasyonlardan ve hesaplamalardan, farklı rotalama algoritması ile farklı etkin çıktı oranı yükseltme metotlarının birlikte kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla da kıyaslanarak paket kaybında sağlanan düşüş ve etkin çıktı oranında sağlanan artırım gösterilmiştir [13; 14; 57; 58]. Önerilen yeni bilişsel yöntemlerle, gerçek zamanlı ses ve video paketi gönderimleri tam başarı ile sağlanmış, gerçek zamanlı olmayan veri paketi kayıp oranı ise minimize edilmiştir [14; 57; 58; 59]. Öte yandan önerilen etkin çıktı oranı yükseltim metotlarının aynı zamanda daha düşük güç tüketimi de sağladığı gösterilmiştir [60].

Bu yeni metotların sonuçlarının, kullanılan diğer popüler olaya dayalı simülatörlerde uygulanarak gözlemlenmesi de mümkündür. Çalışmada elde edilmiş olan sonuçlar ve formülizasyonlar, paket kayıp oranının minimize edilip, etkin çıktı oranını maksimize edilmesi istenen tek gönderimli (unicast) gezgin çoklu ortam ağlarının tasarımlarında kullanılabilecek niteliktedir.

6.1. Çok Sekmeli Gezgin WIMAX Ağının Teorik Analizi

Çalışmanın ana amacı, ağ etkin çıktı oranını yükseltmektir. Ancak bu amaca tam olarak odaklanmak amacıyla sistemin; Maksimum Spektrum Kullanımını (MSU) ve Spektrum Kullanım Miktarını bant genişliği ziyanı hem hesaba katılarak hem de katılmayarak nasıl ölçtüğü, paket ve arabellek boyutlarını nasıl hesapladığı açıkça anlaşılmalıdır. Simülasyonda, sistemin sağladığı maksimum spektrum kullanım oranının elde edilmesinde standartlarda [6; 8; 9; 11; 12] verilen parametre değerleri kullanılmıştır. Bu değerler; 64 QAM, 5ms Çerçeve Süresi (FL), $\frac{3}{4}$ FEC oranı, 30 alt kanal (NOS), 10 MHz Bant genişliği (B) ve çerçeve başına 44 veri sembolü (DSPF) şeklindedir. Verilen sistem parametrelerinin kullanılmasıyla saniyedeki çerçeve sayısı (FPS), $1/FL$ ile hesaplanır. Sembol başına bit sayısı ise,

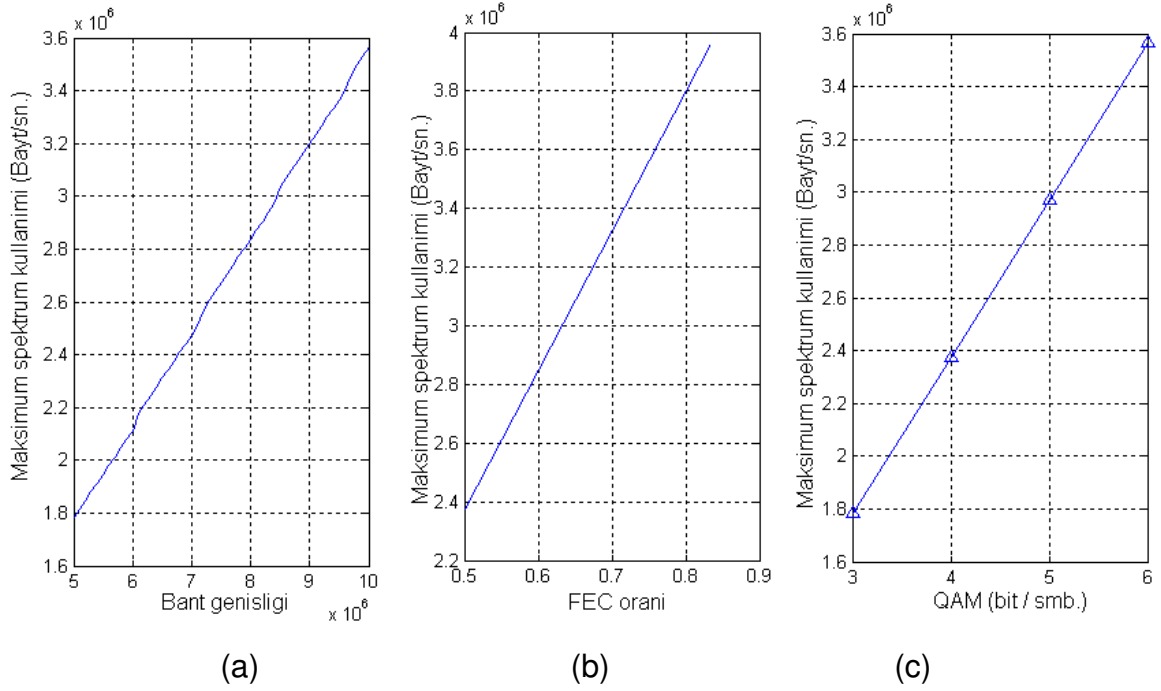
$$\text{Sembol başına bit sayısı (BPS)} = \log_2(QAM) \times NODS \quad (6.1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, NODS kısaltması veri alt taşıyıcı sayısı anlamına gelmektedir ve simülasyonda kullanılan değeri 720'dir.

BPS değeri, kullanılan FEC değeri ile çarpılarak FEC kullanımı durumunda sembol başına bit sayısı (BPSWF) değeri: $BPS = \log_2(64) \times 720 \times \frac{3}{4} = 3240$ şeklinde elde edilir. Daha sonra, bulunan bu BPSWF değerinin NOS değerine bölünmesiyle, atanabilir minimum birim (MAU): $3240/30 = 108$ bit olarak bulunmuş olur. FEC kullanıldığı durumda bir çerçevedeki alt kanal veri oranı (SCDRFWF) ise MAU ile DSPF'nin çarpımından $108 \times 44 = 4752$ bit olarak elde edilecektir. Son olarak DSPF ile FPS'nin çarpılmasıyla "saniyedeki sembol oranı SRPS = $44 \times 200 = 8800$ smb./sn. olarak bulunmuş olur.

Daha sonra SRPS değerinin MAU değeri ile çarpılmasıyla "FEC kullanımı durumundaki alt kanal kapasitesi (SCC) : $8800 \times 108 = 0.95$ Mbps olarak elde edilecektir. Sonuç olarak maksimum spektrum kullanım oranı (MSU); SCC ile NOS değerlerinin çarpımından 28.512 Mbps, yani 3.564 MBps olarak bulunmuş olur [8; 9].

Bu parametreler ile elde edilmiş olan maksimum spektrum kullanımı aynı zamanda [8; 9]'da elde edilen sonuçlarla da örtüşmektedir. Şekil 6.1'de farklı girdi parametreleri için elde edilen maksimum veri oranları gösterilmiştir. Şekil 6.1'de verilen grafiklerde, Şekil 6.1a'da 10 MHz bant genişliği için, Şekil 6.1b'de $\frac{3}{4}$ FEC oranı için ve Şekil 6.1c'de 64 QAM (baud oranı = 6) için yukarıda bulunmuş olan 3.564 MBps MSU değerinin elde edildiği gözden kaçmamalıdır.



Şekil 6.1 Veri oranına (Bayt) karşı (a) bant genişliği (b) FEC oranı, (c) QAM modu

6.2. Etkin Çıktı Oranı Yükseltimi Simülasyon Programı

Çalışmanın bu bölümünde 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. Simülasyonda N adet rastgele dağılmış gezgin düğümün bir hücre yapısı içerisinde birbiri ile iletişimde olduğu düşünülmektedir. Düğümlerin kullandığı genel algoritma Şekil 6.2'de verilmiştir. Burada herhangi bir simülasyon parametresinin istenilen herhangi bir değeri alabileceği unutulmamalıdır.

Ayrıca, simülasyon sisteminde düğümlerdeki veri paketi kuyruklarında sınırsız veri paketi üretimi sağlanmaktadır ve paket üretim oranı ağın o anki durumuna göre

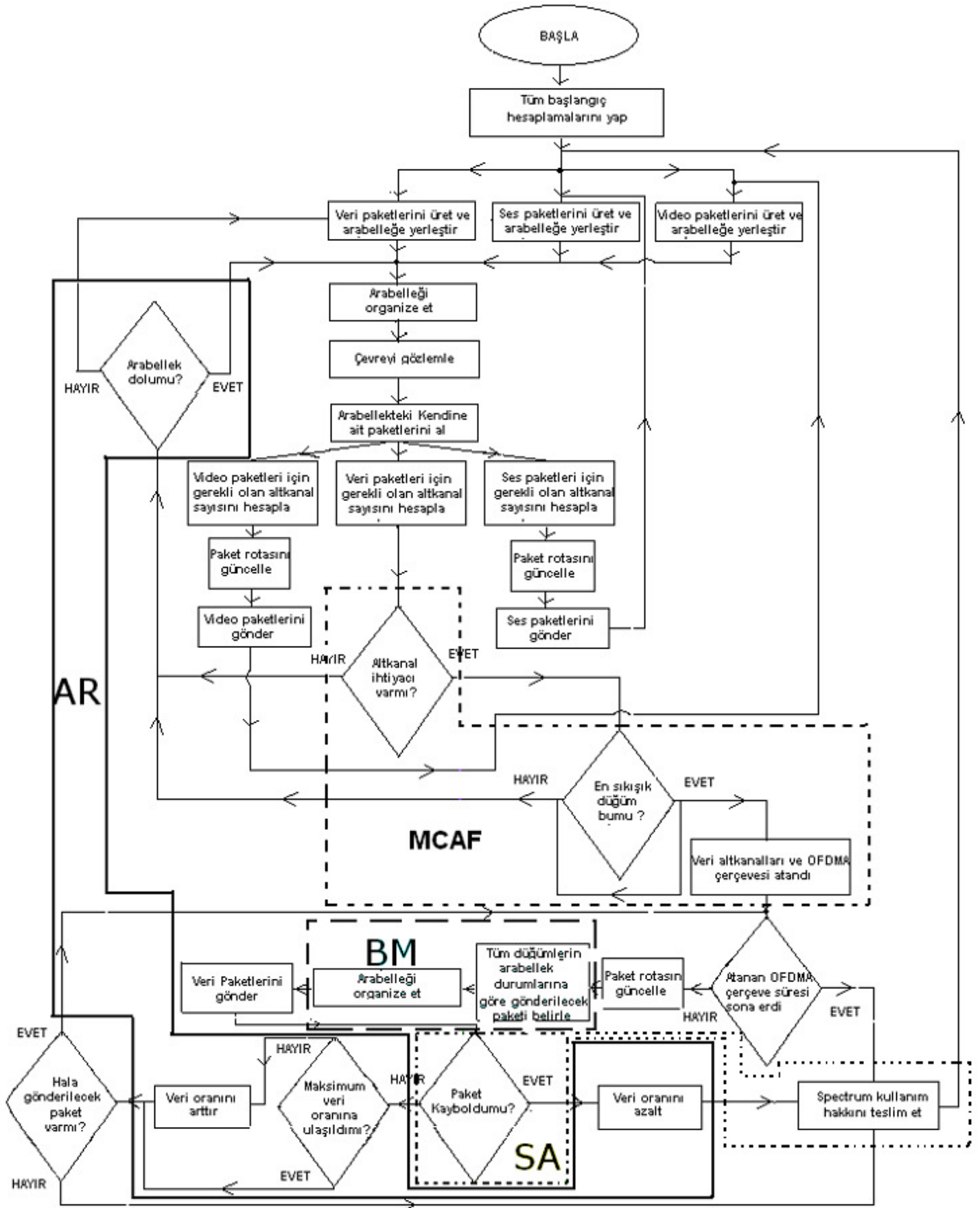
adapte olacak şekilde değişmektedir. Şekil 6.2'de verilmiş olan akış Şeması simülasyon esnasında sistemde bulunan tüm düğümler tarafından kullanılmakta, çevreyi gözlemleme, adaptif (uyarlamalı) veri üretimi (AR), spektrum erişimi, paket üretimi, veri aktarımı, rotalama, Arabellek Yönetimi (BM) ve Spektrumsal Yardımlaşma (SA) bu akış Şemasına göre yapılmaktadır. Akış Őemasından da görüldüğü 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 ara belleğe sahip olan bu düğüme atamaktan, bu çerçeve süresi sonunda da, yeniden, spektrum kullanımını alacak olan yeni en sıkışık düğümün belirlenmesinden sorumludur. Öte yandan,

AR : Arabellek doluluk durumuna ve paket kayıp oranına göre paket üretim ve gönderim oranını ayarlamaktan,

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 6.2 Her bir düğüm tarafından kullanılan yeni metotların algoritması

6.2.1. Çok sekmeli gezgin ağlarda paket taşıma

6.2.1.1. Gerçek zamanlı çoklu ortam paketi taşınması

Sistemde düğümler video iletişimi için saniyede 50 çerçeve gönderimi yapmaktadır. Bu ise, çerçevelerin gönderilmesi için saniyedeki her alt kanal içindeki 200 (1/FL) OFDM çerçevesinin 50'si anlamına gelmektedir. Video gönderim oranı (6.2)'deki gibi; SCC değeri ile kullanım oranının (50/200) çarpılması ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{video gönderim oranı} &= (950400 \text{ bit / s}) \times \left(\frac{50}{200}\right) \\ &= 237600 \text{ bit} \\ &= 29700 \text{ Bayt} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Bu değer H.264 tipi video kodlayıcı ile kolaylıkla sağlanabilecek bir değerdir [8]. Saniyedeki 200 çerçeveden her birinde 30 alt kanal bulunduğundan video paket boyutu (VDPS), eşitlik (6.3)'teki gibi hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} VDPS &= SCDRFWF \\ &= \frac{3564000 \text{ Bayt / s}}{200} = 594 \text{ Bayt} \end{aligned} \quad (6.3)$$

Yani her bir çerçeve için 50/200 (1/4) alt kanal ataması video iletişimi için yeterli olacaktır. Ağ üzerindeki her düğümün ses görüşmesi ile aynı anda video görüşmesi de yaptığı ve düşük gecikme gereksinimleri açısından 16 kbps ses paketleri kullanıldığı düşünüldüğünden ses paket boyutu (VCPS), (6.4)'teki gibi hesaplanacaktır [8].

$$VCPS = \frac{16 \text{ kbit}}{200 \times 8} = 10 \text{ Bayt} \quad (6.4)$$

6.2.1.2. Gerçek zamanlı olmayan çoklu ortam paketi taşınması

Düğümler ağır trafik şartlarının üstesinden gelebilmek için farklı veri tiplerine farklı sayılarda alt kanal ataması yaparlar. Çalışmada sabit düğüm sayısı için yapılan

analizlerde kaynak [13]'teki gibi düğüm sayısı (N), 6 olarak alınmıştır. Daha sonra simülasyon sonuçları, 4 ila 24 düğüm sayıları için elde edilmiştir. Verilen parametre değerleri için o andaki çerçevenin gerçek zamanlı olmayan veri iletimine atanan alt kanal sayısı (6.5)'teki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 TSFDT &= (SC - (TSCFVD + TSCFVC)) \\
 TSFDT &= (30 - (1 \text{ or } 2 + 6 \times 1)) = 22 \text{ or } 23 \text{ SC}
 \end{aligned}
 \tag{6.5}$$

Burada, SC toplam alt kanal sayısını, TSFDT veri paketlerine ayrılan toplam alt kanal sayısını, TSCFVD video paketlerine ayrılan toplam alt kanal sayısını, TSFVC ise ses paketlerine ayrılan toplam alt kanal sayısını ifade etmektedir. Bilişsel sistem, her bir veri tipi için kullanılmakta olan alt kanal sayısından daima haberdardır. Düğümler bir OFDMA çerçevesinde video paket iletimi için 4 alt kanaldan sadece birini kullanacağından [8], N=6 durumunda 30 alt kanaldan yalnızca 1 ya da 2'si düğümlerin video iletimi için kullanılacaktır. Bu nedenle N=6 durumunda düğümler veri paketleri için 22 ya da 23 alt kanal kullanacaktır. N=6 durumunda seçilen veri paket boyutuna en yakın minimum bant genişliği ziyarı için en uygun veri paket boyutu (6.6)'da verildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 DTPS &= \left\lceil \frac{SCDRFWF}{DTPS_{ref}} \right\rceil \\
 &= \left\lceil \frac{594}{150} \right\rceil = 198 \text{ Bayt}, \quad \lceil \cdot \rceil : \text{tamsayı kısmını ifade eder.}
 \end{aligned}
 \tag{6.6}$$

Burada $DTPS_{ref}$ sistemde kullanılmak istenen veri paket boyutunu, DTPS ise verilen N değeri için tam katlarının alt kanala tam olarak sığacağı şekilde seçilen $DTPS_{ref}$ değerine en yakın ve sistem için belirlenmesi gereken paket boyutunu göstermektedir.

6.2.2. Maksimum bant genişliği kullanım limiti

Eğer bir alt kanalın kapasitesi veri paketinin tam katı değil ise, son paket kanala sığmayacak ve bu boş bant genişliği kullanılmadan ziyan olacaktır. N=6 durumu için, 30 alt kanaldan 6'sı ses iletimi için 1 ya da 2'si video paket iletimi için

kullanılacak, 30 alt kanaldan geriye kalan 22 ya da 23 (Bkz. (6.5)) alt kanal gerçek zamanlı olmayan veri paketleri için kullanılacaktır. Bu nedenle bir çerçevede video paketleri için ortalama 1 alt kanal kullanıldığında, veri paketleri için 23 alt kanal kullanılacaktır. Örneğin paket boyutunun 150 Bayt seçildiği durum için, veri gönderimi ile ziyan edilen bant genişliği miktarı (WBDT) ,

$$\begin{aligned} WBDT &= ((594 \text{ Bayt}) - (150 \text{ Bayt} \times 3)) \times 23 \\ &= 3312 \text{ Bayt} \end{aligned} \quad (6.7)$$

şeklinde hesaplanır. Yani bir çerçevedeki 23 alt kanalda 3312 Bayt ziyan olacaktır. Fakat DTSP (6.6)'da bulunduğu gibi 198 Bayt olarak kullanılırsa, 594 Bayt'lık (6.3) alt kanal 3 tam veri paketini ziyan olmadan taşıyabilecektir ve bant genişliği ziyanı oluşmasının önüne geçilmiş olacaktır.

Diğer düğümlerden gelip ara bellekte beklemekte olan başka ses paketleri de diğer ses paketleri ile aynı alt kanaldan gönderilebilirler. Ancak alt kanalda yine boş kısım kalırsa, bu defada kullanılmayan bu kısım ziyan olacaktır. Aynı durum video paketleri için de geçerlidir. 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.

Maksimum spektrum kullanımı 3564000 Bayt/s olarak bulunmuştur. 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 $(N \times \text{SCDRFWF}) - (\text{VCPS} \times N + (N-1) \times N \text{ Ses paketi})$ Bayt kullanılmadan ziyan olacak anlamına gelmektedir. Ses paketleri tarafından saniyede ziyan edilecek bant genişliği (WVCPIS) ;

$$WVCPIS = (N \times \text{SCDRFWF}) - (\text{VCPS} \times (N + (N-1) \times N)) \times \frac{1}{FL} \quad (6.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Video paket boyutu, maksimum kaliteyi sağlayan ve (6.3)'te hesaplanan SCDFWF değerine eşit seçildiğinden video paketleri tarafından bant genişliği ziyanı olmayacaktır. Sonuçta verilen parametre değerleri

ve içinde bulunulan şartlar için mümkün olan maksimum başarılı bant genişliği kullanımı (MPSBU) (6.9)'daki gibi mümkün olan maksimum bant genişliği kullanımından ses paketi toplam bant genişliği ziyanının çıkarılmasıyla elde edilecektir.

$$MPSBU = MSU - WVCPIS \quad (6.9)$$

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

6.2.3. Etkin çıktı oranı yükseltme metotları

6.2.3.1. Adaptif veri oranı (AR)

Adaptif veri oranı algoritmasının sistem etki çıktı oranına pozitif bir etkisi olduğu [61]'de gösterilmiştir. Sistemdeki düğümlerden bazılarının arabelleklerinde sıklık ve dolayısıyla paket kayıpları oluşması durumunda Adaptif veri oranı algoritması kullanılarak veri üretimi ve gönderim oranı düşürülmekte ve arabelleklerin rahatlaması sağlanmaktadır. Bu metot, aynı zamanda ağdaki düğümlere öğrenme ve deneyim yetenekleri katan bir özelliktir. Kullanılan sistemde ağır ağ trafiği şartları yaratıldığından, sıfır paket kaybı durumunda ve AR algoritması kullanılarak düğüm başına maksimum veri etkin çıktı oranı (MDRPN),

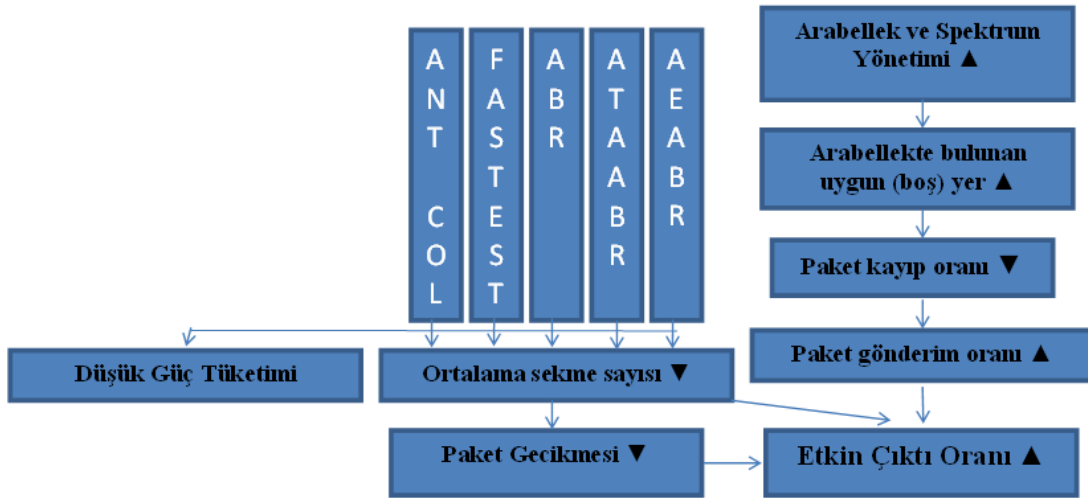
$$MDRPN = MSU \times \frac{TSFDT}{NOS} \times \frac{1}{N} \times (FL) \times \frac{\text{başarılı paket gönd. sayısı}}{\text{başarılı paket gönd. sayısı} + \text{kayıp paket sayısı}} \quad (6.10)$$

şeklinde hesaplanır. Düğümler, ara bellekleri, bu ara belleklerdeki paketlerin takip edeceği rotadaki bir sonraki düğümlerin arabellek durumlarına göre bilişsel yöntemler kullanarak yönetirler. Ağdaki düğümler rastgele yollu nokta [42] modellenmesi ile rastgele hızlarda (aksi belirtilmedikçe simülasyonda 25 km/saat-40 km/saat aralığında alınmıştır) hareket ettiklerinden sürekli pozisyon değiştirmektedirler. Ağdaki tüm düğümler ağır trafik şartları sağlamak amacıyla sürekli olarak ses ve video paketleri üretmektedirler. Paket kayıp oranı (6.11)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Kayıp\ oranı = \frac{Kayıp\ Paketler}{(Kayıp\ Paketler + Başarılı\ gönderimli\ paketler)} \quad (6.11)$$

6.2.3.2. MCAF metodu

Kullanılan rotalama algoritmaları ve bilişsel yöntemlerin, etkin çıktı oranının artırılmasında oluşturduğu etkiler Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3 Etkin çıktı oranının artırılması için kullanılan rotalama algoritmaları ve bilişsel yöntemlerin oluşturduğu etkiler

Bilinen OFDMA sisteminde spektrumu paylaşan tüm düğümler istedikleri anda istedikleri sayıda alt kanala erişirler. Fakat ağır trafik şartları altında her düğüme istediği kadar alt kanal atanması mümkün değildir. Bu noktada, yeni önerilen Arabellek Yönetimi (BM) ve Spektrumsal Yardımlaşma (SA) algoritmalarını kullanan MCAF sistemi devreye girecektir. Bu sistem ile arabelleği dolma noktasına en yakın durumda olan düğümün, sıkışık olan ara belleğini boşaltabilmesi için, o çerçeve boyunca sıkışıklık yaşayan veri tipine ayrılmış tüm alt kanalları kullanması sağlanmıştır. Bu esnada, düğümün arabelleğindeki paketler arasında hangisinin gideceği yol üzerindeki ilk düğümün arabelleği en uygun durumda ise öncelikle o paket gönderilecektir. Bu sayede sıkışıklıktan dolayı yaşanan paket kayıp oranı düşürülecek ve ağıın etkin çıktı oranı arttırılacaktır.

6.2.3.3. Arabelleğin sürekli kontrolü

Düğümlerden her biri, arabelleğindeki diğer düğümlerden kendisine gelen paketleri alarak, arabellekteki boş bölme sayısını artırırlar. Bu sayede gelen paketler arabellekte yer bulurlar ve kayıp oranı düşer. Düşen kayıp oranı ile adaptif veri oranı algoritması kullanılarak veri üretimi ve gönderimi buna bağlı olarak ta etkin çıktı oranı artırılmış olur. Kıyaslamalarda adil sonuçlar elde edilmesi açısından bu metot tüm algoritmaların uygulanmasıyla birlikte aktif edilmiştir.

6.2.3.4. Arabellek yönetimi (BM)

Her düğüm, arabelleğindeki paketlerden aynı hedefe gidecek olanları birlikte gönderilmek üzere gruplayarak gönderime başlar. Düğümler paketlerini, hesapladıkları rota üzerindeki ilk düğümün arabellek durumuna göre sıralandırır. Bu diziliş SA algoritması için bir hazırlıktır.

Ağda NOS adet alt kanaldan N adedi düğümlerin ses paketlerine, $\text{int}(N/4)$ ya da $\text{int}(N/4)+1$ alt kanal ise bu düğümlerin video paketlerine atanır. Geriye kalan veri alt kanalları ise veri arabelleği o an en dolu durumda olan düğüme atanır. Sırayı alan düğüm, paketlerini göndermeye başladığında, arabellek optimizasyonu yapar ve sahip olduğu paketlerden hangisinin güncel rotasındaki bir sonraki düğümünün arabelleğinin daha uygun durumda olduğunu saptar. Eğer saptadığı en uygun durumdaki düğümün arabelleği bile dolu ise gönderilen paket kaybolur ve sistemde sıkışıklık olduğu bu düğüm tarafından diğer düğümlere de haber verilir.

Bu durumda OFDMA çerçevesi kullanım sırası, düğümler arasından, o anki en dolu arabellek sahibi olan düğüme verilir. Bu sayede, diğer düğümde bulunan ve arabelleği uygun durumda olan düğümlere gönderilecek olan paketler varsa bu paketler yola çıkarılarak geçerli OFDMA çerçevesi de değerlendirilmiş olur.

Bu çerçeve sonunda sırayı yine o anki en dolu arabellek sahibi olan düğüm alır. Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de verilen örneklerde bir OFDMA çerçevesinin sadece 3 paket gönderim süresine yettiği düşünülmüş ve bir düğümün arabelleğindeki paketlerin yönetimi gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. 6 aktif düğüm ile düğüm 1 için arabellek yönetimi

1	Paketlerin bir sonraki düğümü	Düğüm arabellek doluluk yüzdesi					
		1	2	3	4	5	6
2	Düğüm 1 spektrum kullanımında	44%	28%	31%	42%	34%	14%
3	2-3-2-3-5-5-2-2-4-4	42%	30%	31%	42%	34%	14%
4	3-3-5-5-4-4-2-2-2 ->2	40%	32%	31%	42%	34%	14%
5	2-3-3-5-5-4-4-2-2 ->2	38%	34%	31%	42%	34%	14%

Çizelge 6.1'deki 1. aşamada en dolu arabelleğe sahip olan düğüm (bu örnek için Düğüm 1) spektrum kullanım sırasını alır.

Aşama 2'de, bu düğümün arabelleğindeki bir sonraki düğümünün arabelleği en boş olan paketler gönderilmek üzere seçilmiştir (Düğüm 1'in arabelleğinde Düğüm 6'ya gidecek olan paket olmadığından en boş arabelleğe sahip olan düğüm olarak Düğüm 2 seçilmiştir).

Aşama 3'te bu düğümüne gönderilecek olan paketler grup halinde sıralanmış, sonra da paketlerden birinin Düğüm 1'den Düğüm 2'ye gönderilmesi ile söz konusu düğümlerin arabellek doluluk oranları güncellenmiştir (bu örnek için her paket gönderiminde paket başına %2 ile güncelleme yapılıyor).

Aşama 4'te bir sonraki düğümü "Düğüm 2" olan bir paket daha yaratılarak kuyruğun başına eklenmiştir. (sistemde adil spektrum paylaşımı için, her bir düğümün paket üretim oranı toplam kapasitenin düğüm sayısına bölünmesi ile belirlenmiş olan değerle limitlidir).

Aşama 5'te ise düğüm 1'den Düğüm 2'ye paket gönderimi yapıldığından doluluk oranları yine (%2 ile) güncellenmiştir. Bu aşamanın sonunda, Çizelge 6.1'de verilen örnek için, Düğüm 1'in o anki OFDMA çerçeve süresi (3 çerçeve gönderimi ile) dolduğundan sistem, spektrumu hangi düğümün kullanacağına karar verir. Örneğe göre, bir sonraki aşama Düğüm 4'ün ilk aşaması olacaktır.

6.2.3.5. Arabellek boyutunun hesaplanması

Sistemin ara bellek boyutunun seçilmesi kritik bir noktadır. Çünkü büyük ara bellek boyutları, daha fazla hafıza gerektirip aynı zamanda daha fazla paketin ara belleğe

depolanmasına ve bu paketlerin arabelleklerde daha uzun süre bekletilmelerine yol açacaktır.

Öte yandan düşük arabellek boyutları ise daha fazla arabellek sıklığına ve dolayısıyla daha fazla paket kayıplarına neden olacaktır. Bu nedenle en az hafıza kullanımı ile en fazla başarılı paket üretimi sağlayan en iyi ara bellek boyutu saptanmalıdır.

Çalışmadaki simülasyonda, N=6 için hesaplanan Ortalama Sekme Sayısı (AHC) yaklaşık değeri 3 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle ortalama olarak son 3 çerçevede üretilen paketler ağ üzerindeki düğümlerin ara belleklerinde kalmaya devam edecektir. Her bir çerçevede tüm düğümler tarafından toplam (N) x (AHC+1) x (bir çerçevede bir düğüm tarafından üretilen paket sayısı) kadar paket düğümler arasında iletilecektir.

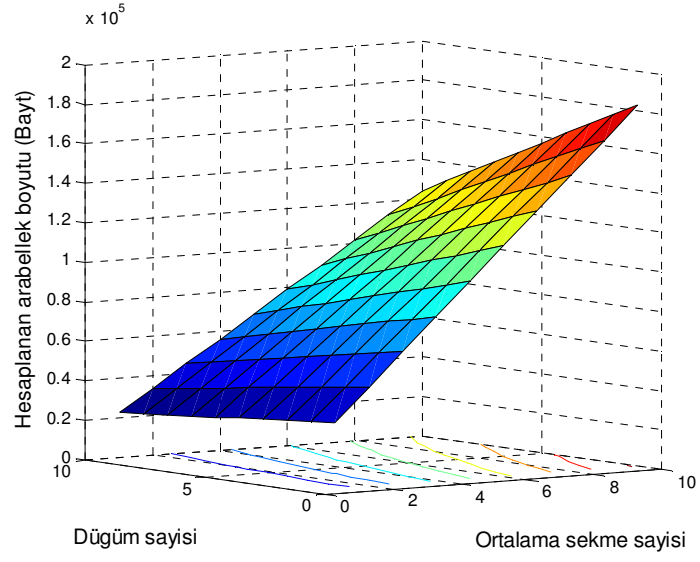
N=6 için o anki sekme sayısı ortalama sekme sayısını geçmediği sürece (6.14)'te hesaplandığı gibi 264 bölmelik bir ara bellek yeterli olacaktır. Arabellek en iyi boyutu sistemin AHC ve N değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Veri paketleri için En İyi Arabellek Boyutu (ODBS);

$$ODBS = \left(\frac{\log_2(QAM) \times NODS \times FEC \times DSPF}{8 \times NOS} \right) \times (NOS - N - (N/4)) \times (AHC + 1) \text{ Bayt} \quad (6.12)$$

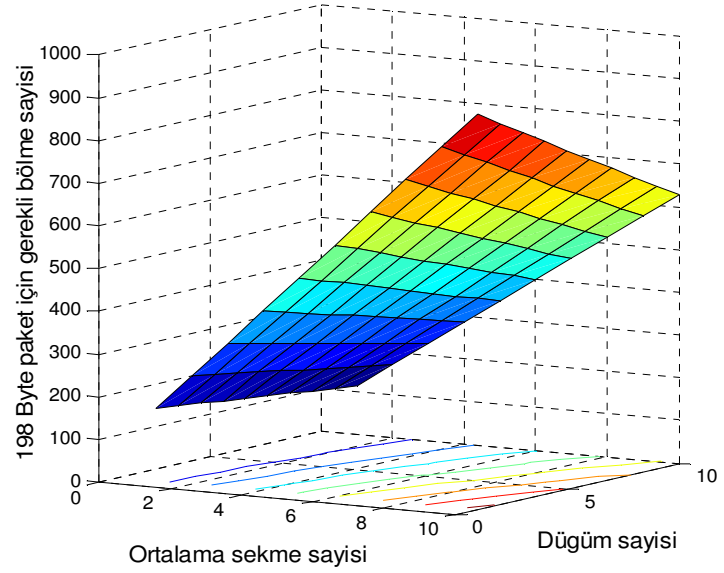
şeklinde hesaplanmıştır. N=6 ve verilen parametre değerleri için veri paketi ara belleği en iyi boyutu ise;

$$ODBS = \left(\frac{\log_2(64) \times 720 \times \frac{3}{4} \times 44}{8 \times 30} \right) \times (30 - 6 - 2) \times (3 + 1) = 52272 \text{ Bayt} \quad (6.13)$$

olarak elde edilmiştir. Farklı AHC ve N değerleri için saptanan sonuçlar Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

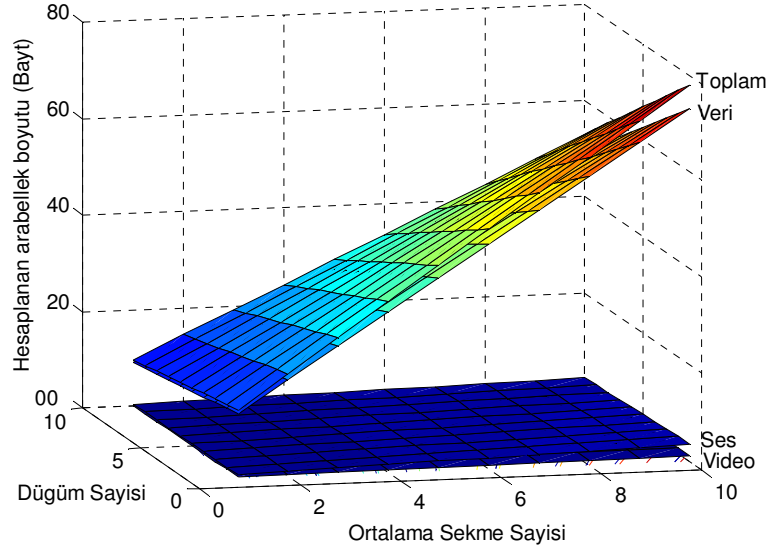


(a)



(b)

Şekil 6.4 Farklı ortalama sekme sayıları ile spektrum paylaşımı yapan farklı sayıda düğümler için arabellekte kullanılması gereken en uygun a) hafıza (Bayt) boyutları b) bölme sayıları



Şekil 6.5 Farklı AHC ile spektrum paylaşımı yapan farklı sayıda düğümler için gerekli veri, video ve ses toplam arabellek hafızası gösterimi

Her biri 198 Bayt olan veri paketleri için, gerekli olan en uygun ara bellek bölme sayısı (ONSDT) ise;

$$ONSDT = 52272 \text{ byte} / 198 \text{ byte} = 264 \text{ bölme} \quad (6.14)$$

şekilde hesaplanır. Öte yandan, ses ve video ara bellekleri için en iyi boyutlar ise;

$$\text{video / ses arabellek en iyi boyutu} = (\text{paket boyutu}) \times (\text{VPSR}) \times (N) \times (\text{AHC} + 1) \text{ Bayt} \quad (6.15)$$

$$\text{ses arabellek en iyi boyutu} = (10) \times (1) \times (6) \times (3 + 1) = 240 \text{ Bayt} \quad (\text{VPSR} = 1) \quad (6.16)$$

$$\text{video arabellek en iyi boyutu} = (594) \times \left(\frac{1}{4}\right) \times (6) \times (3 + 1) = 3564 \text{ Bayt} = 3.48 \text{ kB} \quad (\text{VPSR} = 1/4) \quad (6.17)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, VPSR, video yada ses paketi gönderim oranını göstermektedir (gönderim oranları çalışmada video paketleri için 1/4, ses paketleri için 1 olarak alınmıştır). Sonuç olarak, sistemin tüm veri tipleri için trafik yönetimi, düğüm başına yalnızca 52272 Bayt + 240 Bayt + 3564 Bayt = 56076 Bayt = 54.76 kBayt'lık bir ara bellek ile sağlanabilmektedir. Tüm trafiğin yönetimi için gerekli olan toplam arabellek boyutu grafiği farklı AHC ve N değerleri için Şekil 6.5'te ayrıca gösterilmiştir.

6.2.3.6. Dinamik spektrumsal yardımlaşma (SA)

Bir düğüm paket gönderimine başladığında, paketin gönderileceği en boş arabelleğe sahip bir sonraki düğümün arabelleği bile dolu ise, gönderici düğümün paketi kaybolur. Bu düğüm spektrum kullanım sırasını kendi OFDMA çerçevesi boyunca arabelleği en dolu olan düğüme verir. Bu çerçeve süresinin sonunda OFDMA çerçevesi tekrar o an için en sıkışık düğüme atanır.

Çizelge 6.2. 6 aktif düğüm ile düğüm 1 için spektrumsal yardımlaşma

	Paketlerin bir sonraki düğümü	Düğüm arabellek doluluk yüzdesi					
1	Düğüm 1 spektrum kullanımında	1	2	3	4	5	6
2	2-3-2-3-5-5-2-2-4-4	100%	98%	100%	100%	100%	28%
3	3-3-5-5-4-4-2-2-2 ->2	98%	100%	100%	100%	100%	28%
4	2-3-3-5-5-4-4-2-2 ->2	98%	100%	100%	100%	100%	28%

Çizelge 6.2'de Aşama 1'de spektrum kullanımını, tamamen dolu arabelleğe sahip düğümlerden biri olan Düğüm 1 almıştır.

Aşama 2'de gönderilmek üzere, düğüm 1'in arabelleğinde bulunan paketlerden bir sonraki düğümünün arabelleği en boş olanlar seçilmiştir. Düğüm 1'in arabelleğinde düğüm 6'ya gidecek bir paket bulunmadığından, Düğüm 2'ye gidecek olan paketler gönderilecektir.

Aşama 3'te düğüm 2'ye gönderilecek olan paketler sıranın önüne alınmış ve paketlerden biri gönderilmiştir. Bu gönderim ile düğümlerin arabellek doluluk oranları da güncellenmiştir.

Aşama 4'te düğüm 2'ye gönderilen paket, düğüm 2'nin arabelleğinin dolu olması nedeniyle kaybolmuştur. Bu kayıp paketin, bir kopyası oluşturularak, kuyruğun sonuna tekrar konulmuştur. Düğüm 1, gönderdiği paketin kaybolmasıyla arabellek kullanım sırasını kendi OFDMA çerçevesi süresince en sıkışık arabelleğe sahip olan düğüme verecektir.

6.2.3.7. Rota güncelleme algoritması

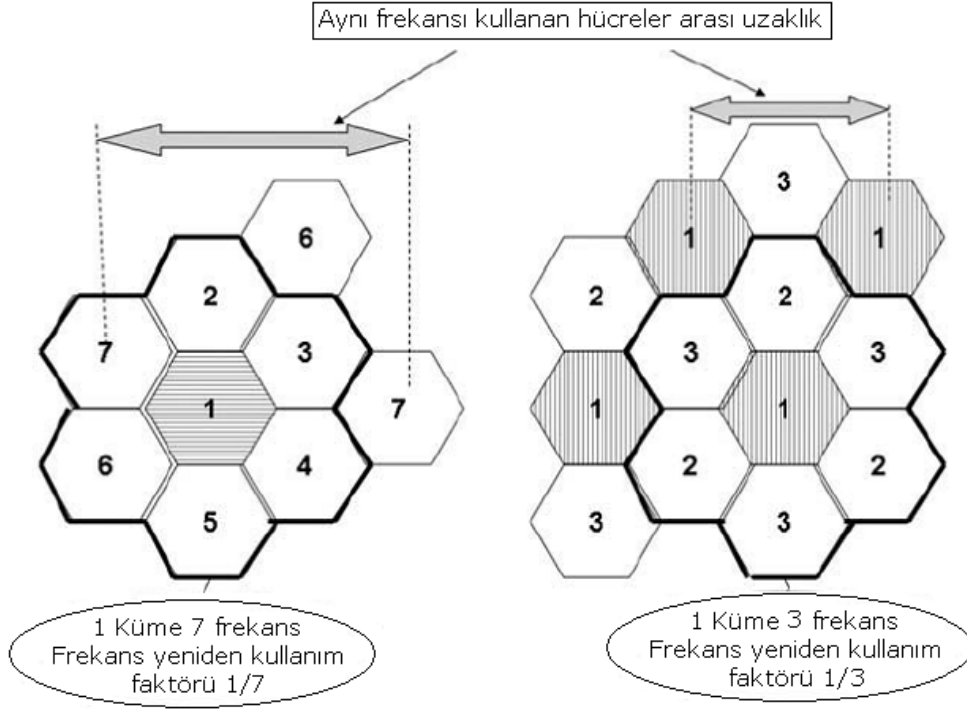
Etkin çıktı oranının yükseltilmesini sağlayacak olan ana faktör, paket kayıplarını azaltmaktır. Bunun yolu ise arabelleklerin daha fazla boş alana sahip olmasını sağlamaktır. Bu nedenle düğümler arabelleklerini mümkün olduğunca çabuk boşaltmalıdır. Birim zamanda mümkün olan en fazla sayıda paket gönderimini sağlamak amacıyla iyi bir spektrum paylaşımı sağlanması gerekmektedir. Böylece paketler hedef noktalarına en az sekme sayıları ve en az gecikme süreleriyle ulaşabileceklerdir. Ağdaki düğümler sürekli hareket halinde olacaklarından, her düğüm elindeki her bir paketi iletmeden önce yeniden rota hesaplaması yapacak ve her paketin hedefine giden yolu üzerinde, bir sonraki düğümü güncel olarak saptayacaktır. Simülasyon esnasında, düğümlerin diğer düğümlere ait paket rotalarının güncellenmesi için hesaplama yapması da işbirlikçiliğin bir parçasıdır. Sistemde istenilen herhangi rotalama algoritması kullanılabilir.

Bu çalışmada rotalama algoritmalarının kıyaslamaları amacıyla, bir vektör uzaklık algoritması olan “En Hızlı Yol” algoritması , “Karıncı Kolonisi Algoritması” ve bu tez çalışmasında geliştirilen “AEABR” ve “ATAABR” uzun ömürlü erişilebilirlik tabanlı rotalama algoritmalarının simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Adil bir karşılaştırma için, rota güncelleme algoritması da adaptif veri oranı metodu gibi tüm simülasyonlarda ve tüm algoritmalar için etkinleştirilmiştir.

6.2.4. Simülasyonda kullanılan IEEE 802.16 frekans planlaması

WIMAX'te hem lisanslı hem de lisanssız frekans bantları için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte bazı bantların elde edilebilirliği ülkeden ülkeye değişmektedir. Standard frekans aralıklarının kullanımı ise her zaman daha ucuza mal olacaktır [8].

Geleneksel yapıda, GSM ve CDMA sistemlerinde, komşu hücrelerin farklı frekans kullanımları söz konusudur. Burada frekans yeniden kullanım oranı, kaplanan küme sayısının, kullanılan frekans sayısına bölümü ile ifade edilir. Şekil 6.6'da frekans yeniden kullanım faktörü 1/7 ve 1/3 olan GSM hücresel yapısına örnekler gösterilmiştir.

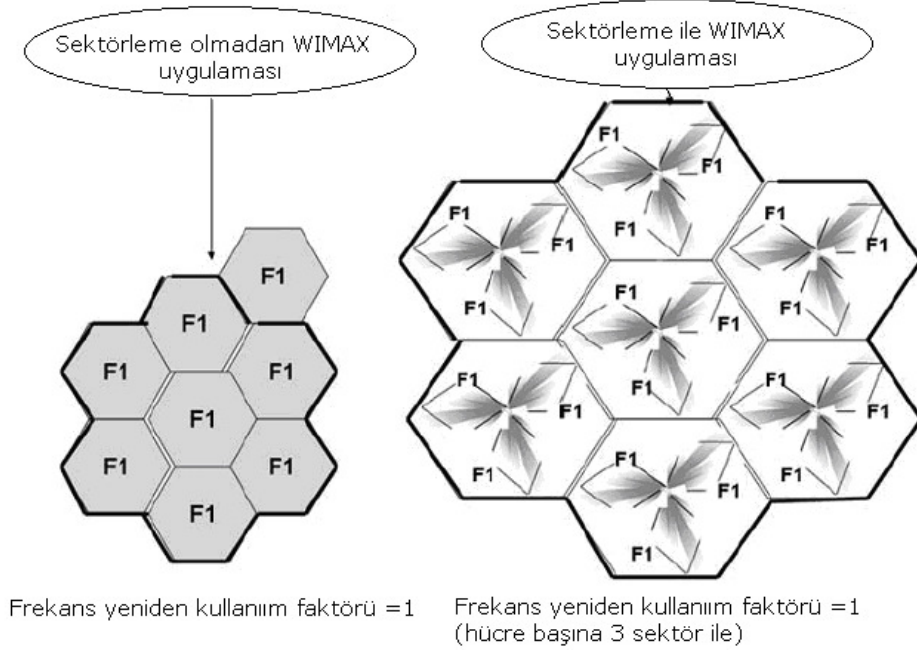


Şekil 6.6 GSM hücresel sistemlerinde frekans yeniden kullanımı [8].

IEEE 802.16 sistemleri ise; komşu hücrelerden ya da baz istasyonlarından gelen aynı frekanstaki sinyalleri çözme yeteneğine sahip olarak dizayn edilmişlerdir [8]. Yani WIMAX ağları “frekans yeniden kullanım faktörü =1” kullanarak çalışacak yapıdadır [8]. Bu nedenle, bu tez çalışmasında da, frekans yeniden kullanım faktörü, 1 olarak alınmıştır. Buda tüm komşu hücrelerin aynı frekansı kullanabileceği anlamına gelmektedir. Bu durumda hücrelerin sınır noktalarında oluşan sinyal girişiminin engellenmesi, sınıra yakın kullanıcılara alt frekanslar atanmasıyla çözülmektedir.

Bununla birlikte WIMAX’te, elde olan alt taşıyıcılardan sadece bir kısmını kullanarak bile, kümelerin sektörlere bölünmesiyle, frekans yeniden kullanım düzeni de oluşturulabilir. Bir hücrede sırasıyla tek ve 3 farklı frekans aralığı içeren WIMAX hücreleri örneği Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

Bir hücre içerisinde birden çok frekans kullanımı da yapılabilir. Çoğu WIMAX uygulamalarında, tüm hücre ve sektörlerde aynı frekansın kullanımı uygun olmayabilir. Sistem yeteneklerini arttırmak ve karışımı azaltmak için operatörün sağladığı hizmetlere göre ek frekanslar kullanılır.

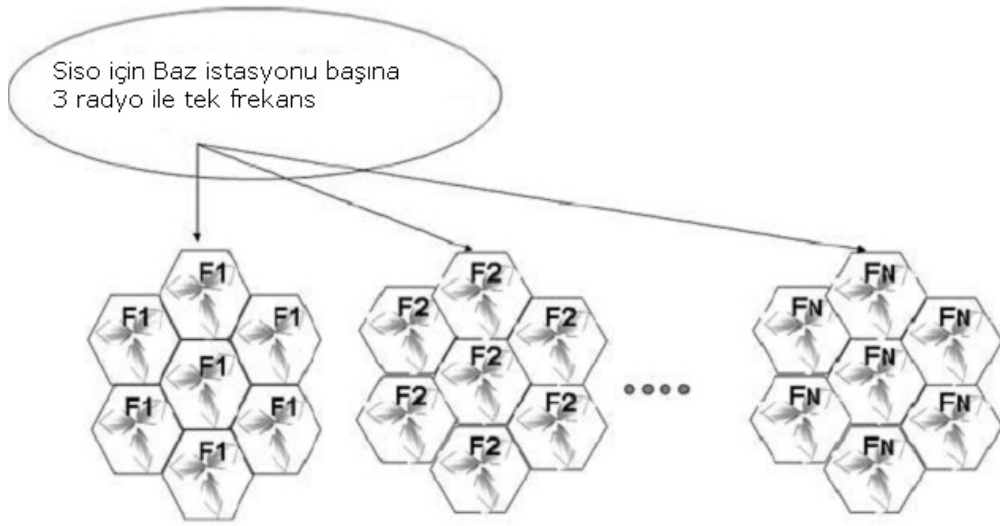


Şekil 6.7 Frekans yeniden kullanımı 1 olduğu durumda hücre başına tek ve 3 sektör kullanımı [8].

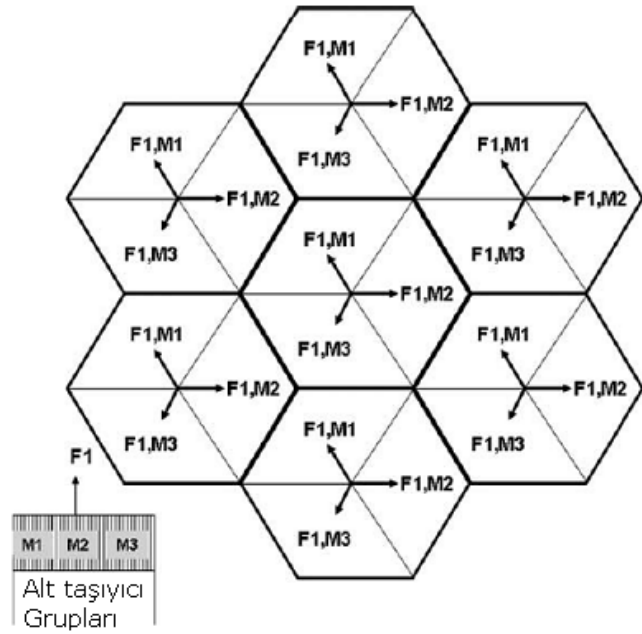
Bu tekniklerden biri, bir hücredeki her sektör için farklı frekanslar atamaktır. Örneğin, hücre başına 3 farklı frekans ataması yapılırsa $1/3$ frekans yeniden kullanım oranı uygulanmış olur.

Öte yandan, eğer bir operatöre 3 farklı frekanstan erişim varsa, bu durumda da bağımsız radyo kanalları ile tüm frekansları ile sektörleme planı yapılabilir. Şekil 6.8'de bağımsız kanallar üzerinden farklı frekansların çalıştırılması gösterilmiştir.

Son yaklaşım ise, ek frekans yeniden kullanım planlaması yapabilmek için her bir sektörde frekans ayrımlı alt taşıyıcıların kullanılmasıdır. Genel olarak, $F_1 - F_N$ arası N adet frekans aralığı ile hücre başına S sektör ve toplam M alt taşıyıcı var ise frekans tekrar kullanımı plan sayısı = $N \times S \times M$ olur. Çalışmamızda geliştirilen simülasyon programında da Şekil 6.9'da örneği görülen alt taşıyıcılar ile frekans yeniden kullanımı planlama yapısı kullanılmıştır.



Şekil 6.8 Farklı frekanslarda, bağımsız kanallar şeklinde çalışma [8].



Şekil 6.9 Alt taşıyıcılar ile frekans yeniden kullanım planlaması [8].

6.3. Tek Yönlü Gönderim İçin Asimptotik Etkin Çıktı Oranı Analizi

Tek yönlü bir ağın kullanıcı başına asimptotik etkin çıktı oranı;

$$R_u = \frac{B}{N_0} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_0 \ln(N)}{d_c^n} \right) + \frac{B n}{2 \ln(2) N} \quad (6.18)$$

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

şeklinde verilmiştir [15].

Burada;

B : bant genişliğini,

N : aktif düğüm sayısını,

d_c : hücre çapını,

n : yol kaybı üssünü,

P/N_0 : SNR'ı ,

K : kanal modeli sabitini ve

β : BER ile ilişkili bir değer olarak ifade edilmektedir.

Karşılık gelen eşitlik kaynak [16]'daki başka bir çalışmada da,

$$R_u = \frac{B}{N_0} \times \log_2 (1 + \beta \times E \{ \Gamma_{eff} \}) \quad (6.19)$$

şeklinde belirtilmiştir. Burada Γ_{eff} ortalama etkin SNR'ı ifade etmektedir ve verilen P/N_0 değerini alacaktır. Öte yandan [17]'de kullanılan geleneksel anahtarlama ile etkin çıktı oranı,

$$BR = \frac{R_{OFDM}(RS)}{FL \left(\sum_{i=1}^m \frac{SSG1_i}{bps_i} + \sum_{i=1}^m \frac{SSG2_i}{bps_i} + \frac{1}{bps} \sum_{i=1}^m SSG2_i \right)} \quad (6.20)$$

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.

6.3.1. Etkin çıktı oranı sonuçlarının karşılaştırılması

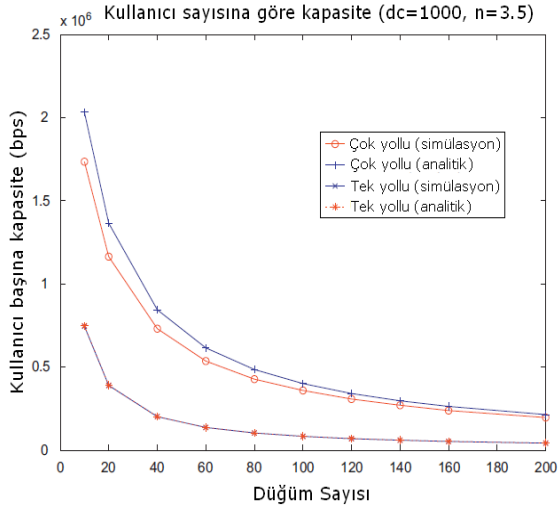
Geleneksel IEEE 802.16j ağı için kaynak [15]'te, bu çalışmada ve kaynak [17]'deki parametre değerleri ile kaynak [15]; kaynak [16] ve kaynak [17]'nin sonuçları

kıyaslanmıştır. Tüm çalışmalardan elde edilen simülasyon sonuçlarının tutarlılıkları Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

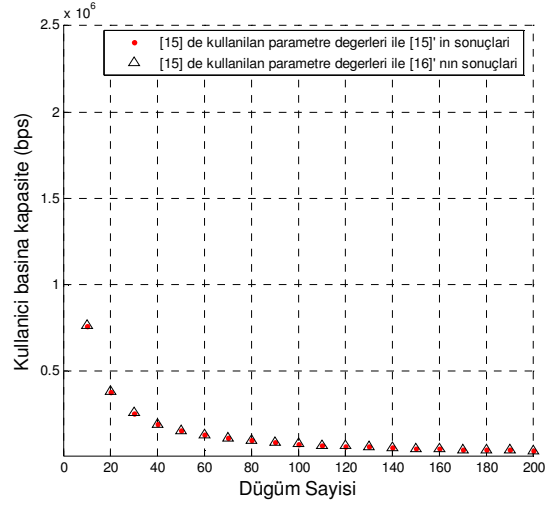
Şekil 6.10a'da tekil gönderim (Unicast) için kaynak [15]'te elde edilmiş sonuçlar gösterilmektedir. Şekil 6.10b'de ise, kaynak [15]'te kullanılan aynı parametre değerlerinin (Bant genişliği (B) =1 MHz, FL=5 ms (tipik), P/N=10³, hücre çapı (d_c) =1000 m, Yol kaybı üssü (n) =3.5, K=10^{3.15} (şehir dışı NLOS kanal modeli) ve $\beta = -1.5 / \ln(5 BER) = 0.2$), kaynak [15] ve kaynak [16]'daki çalışmalar üzerinde uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların birbirleriyle tutarlılıkları gösterilmektedir. Tekil (unicast) gönderim için kaynak [15]'te elde edilen Şekil 6.10 a'daki sonuçlar, bu çalışmada elde edilen Şekil 6.10 b'deki sonuçlarla örtüşmektedir.

Şekil 6.10 c'de WIMAX etkin çıktı oranı değerlendirmesi ile kaynak [17]'de elde edilmiş olan sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar, kaynak [15] ve kaynak [16]'da tek sekmeli kapasite için, kaynak [17]'de ise çok sekmeli etkin çıktı oranı için bulunmuştur. Kaynak [15] ve kaynak [16] ile bulunan sonuçların kaynak [17]'de elde edilen sonuçlarla kıyaslanabilmesi için bu sonuçların da AHC'ye bölünmesi gerekir (kaynak [17]'de verilen senaryo için AHC, En Hızlı Yol rotalama algoritması simülasyonu kullanılarak 2.25 olarak elde edilmiştir). Şekil 6.10d'de ise kaynak [17]'de kullanılan bu 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 $\beta = 0.155$), kaynak [15] ve kaynak [16]'daki çalışmalara uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların birbirleriyle tutarlılıkları gösterilmektedir. Şekil 6.10c'deki "anahtarlar istediklerinde gönderim yapabilirler" (kaynak [17]'de durum 3 olarak tanımlanan durum) durumu için elde edilen sonuçlar, Şekil 6.10d'deki sonuçlarla örtüşmektedir.

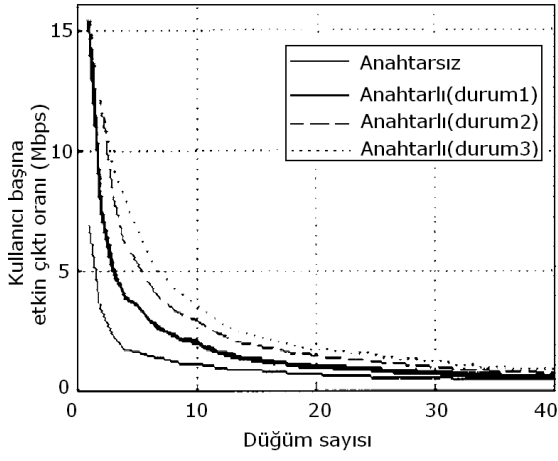
Şekil 6.10e'de ise kaynak [15] ve kaynak [16]'daki çalışmaların, bu çalışmada tarafımızca geliştirilen simülasyonda kullanılan parametreler (B=10 MHz, FL=5 ms (tipik), P/N=10³, d_c =50 m, n=2 (serbest uzay), K=10⁰ (0 dB) ve $\beta=0.02$) kullanılarak uygulanmasıyla elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Şekil 6.10e'de verilen bu sonuçlar bu tez çalışmasında geliştirilen sistemin etkin çıktı oranı yükseltilmeden önceki yalın hali ile elde edilen simülasyon sonuçlarının doğrulanması amacıyla kullanılmıştır.



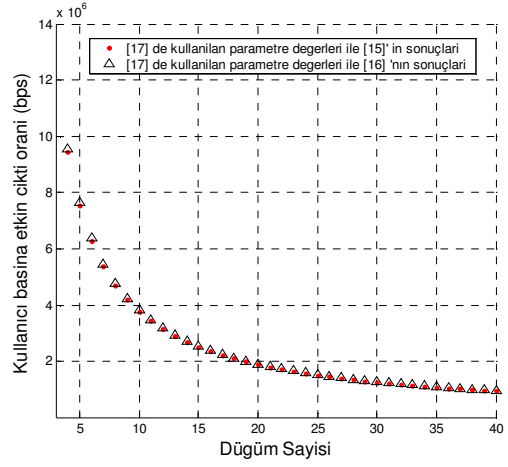
(a) [15]



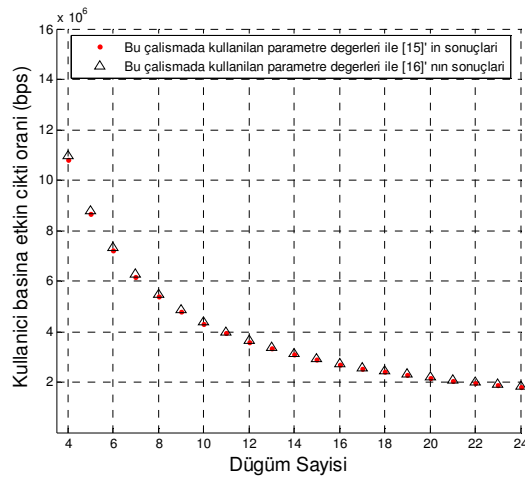
(b)



(c) [17]



(d)



(e)

Şekil 6.10 Etkin çıktı oranı sonuçları karşılaştırma grafikleri.

6.4. Sabit Düğüm Sayılı Ağlarda Etkin Çıktı Oranı Artırım Analizi

Her bir bilişsel yöntemin aktif edilmesi ya da edilmemesi durumları için sistem simülasyonu gerçekleştirilerek; etkin spektrum kullanımı, veri paketi kayıp oranı ve etkin çıktı oranı üzerinde sağlanan iyileştirmeler gözlemlenmiştir. Her bir metodun sisteme dâhil edilmediği durumda, tüm metotların aynı anda uygulandığı duruma göre sistem başarımındaki düşüş gözlenerek, o metodun sisteme katkısı belirlenmiştir. N=6 için, tüm simülasyonlardan elde edilen başarıyla gönderilen / kayıp olan paket sayıları, etkin spektrum kullanım oranı ve etkin çıktı oranına dair sayısal değerler Çizelge 6.3 ve 6.4'te verilmiştir.

Paketlerin arabellekte bekleme süreleri dâhil edilerek hesaplanan ve Çizelge 6.3'te verilen uçtan uca gecikme miktarları (6.21) ile hesaplanabilir.

$$Gecikme_{UUG} = \frac{N \times SUR \times T_{sim}}{NOS \times Packet_{gönderilen}} \times Gecikme_{paket_işleme} \times AHC \quad (6.21)$$

Burada; $Gecikme_{UUG}$ Uçtan uca gecikmeyi, SUR spektrum kullanım oranını, T_{sim} ise simülasyon süresini ifade etmektedir.

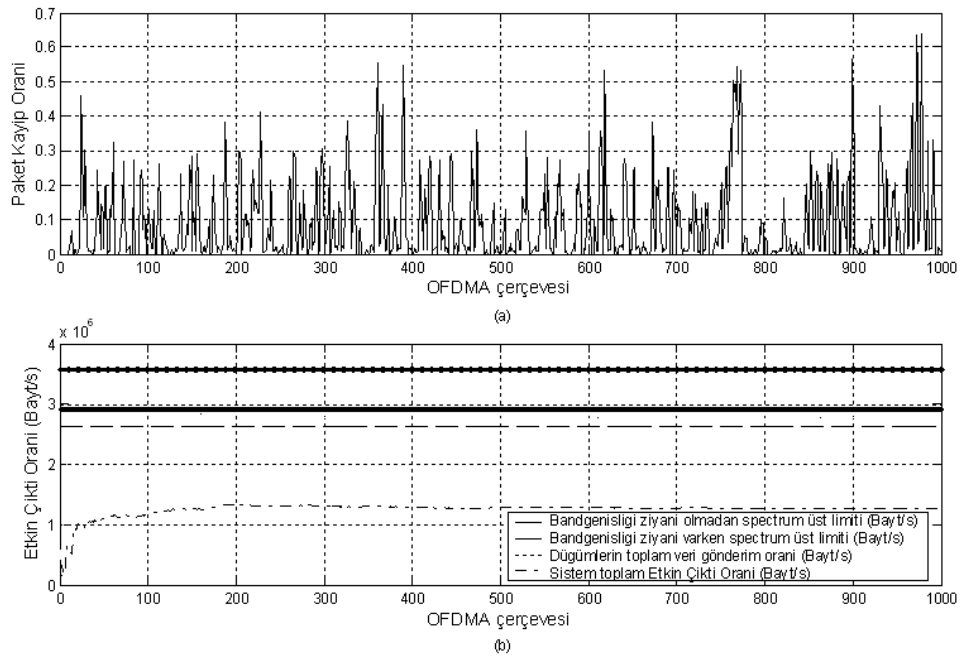
Çizelge 6.3 Algoritmaların simülasyondan elde edilen paket gönderim değerleri

Simülasyon Çıktı Sonuçları (N=6)	Uçtan uca başarılı ortalama paket gönderim süresi (ms)			Video paket sayısı		Ses paket sayısı		Veri paket sayısı		Paket kayıp oranı		
	Video	Ses	Veri	Başarılı Gönderim	Kayıp	Başarılı Gönderim	Kayıp	Başarılı Gönderim	Kayıp	Video ve Ses	Veri	
Hiçbir metot kullanılmadığında	10.2	2.09	0.17	494	0	2389	0	29344	4456	0.00%	13.18%	
Tüm –AR	9.86	1.94	0.14	507	0	2576	0	35953	653	0.00%	1.78%	
Tüm + daha büyük arabellek ile (LB)	9.71	1.97	0.14	515	0	2532	0	36691	58	0.00%	0.16%	
Tüm – BM	9.67	1.94	0.15	517	0	2582	0	33978	654	0.00%	1.89%	
Tüm – SA	9.96	1.94	0.16	502	0	2575	0	31419	786	0.00%	2.44%	
Tüm +Hesaplanan Arabellek boyutu ile	9.71	1.97	0.13	515	0	2544	0	37631	182	0.00%	0.48%	

Çizelge 6.4 Algoritmaların simülasyondan elde edilen performans sonuçları

Simülasyon Çıktı Sonuçları (N=6)	Veri paketleri ortalama kayıp Oranı	2913300 Bayt/san için Ortalama etkim spektrum kullanımı (Bayt/s)	2913300 Bayt/san için Ortalama etkim spektrum kullanımı oranı (Bayt/s)	Sağlanan ortalama etkin çıktı oranı (Bayt/s)	Etkin Çıktı oranı ortalama Geliştirme yüzdesi
Hiçbir metot 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

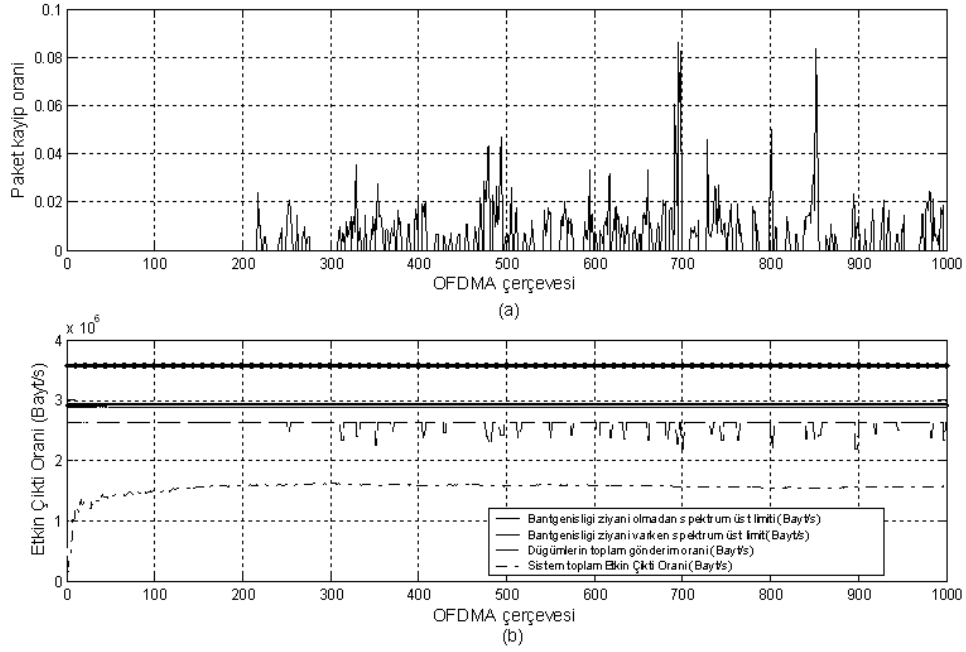
N=6 için, hiç bir metodun uygulanmadığı durumda elde edilen simülasyon çıktısı Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Bu durumda sistem mevcut OFDMA sistemi gibi çalışmaktadır. Yeni metotların uygulandığı durumlarda elde edilen simülasyon çıktıları ise Şekil 6.12-6.14 arasında verilmiştir.



Şekil 6.11 Yalın (hiçbir yeni algoritma kullanılmazken) ağıın OFDMA çerçeve sayısına karşın , (a) tüm ağıın son periyottaki ortalama paket kaybı,

(b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı.

Eğer daha büyük arabellek boyutu kullanılacak olsaydı paket kayıp oranının düşmesi ve dolayısıyla etkin çıktı oranının artması beklenirdi. Şekil 6.12'ye göre, büyük arabellek kullanımı ile en uygun arabellek boyutu kullanımına göre daha düşük paket kayıp oranı elde edilmiştir. Ancak Şekil 6.12b ve Çizelge 6.4'de verilen simülasyon sonuçlarından, sistem etkin çıktı oranının, yaklaşık 2 kat büyük arabellek kullanımına rağmen yükseltilemediği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, büyük arabellek kullanımıyla, ara belleklere belli bir noktadan sonra daha fazla paketin depolanarak paketlerin büyük arabelleklerde daha fazla beklemlerine yol açılmış olmasıdır.

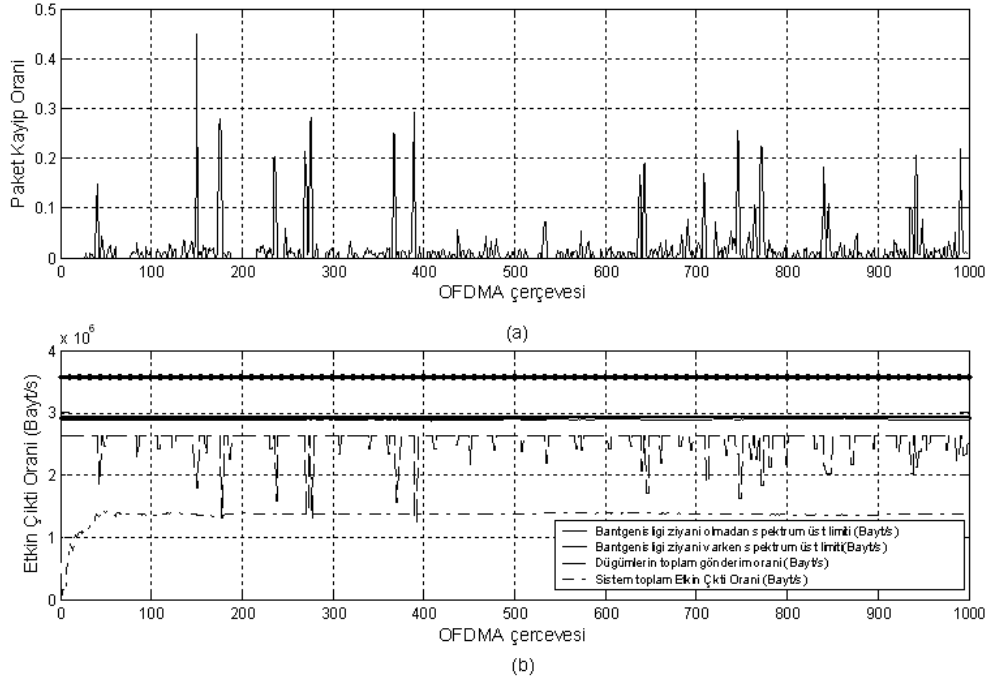


Şekil 6.12 Ağın daha büyük arabellek kullanımı ve tüm yeni algoritmaların etkin olduğu durumu için OFDMA çerçeve sayısına karşın, (a) tüm ağın son 3 çerçevedeki ortalama paket kaybı, (b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı.

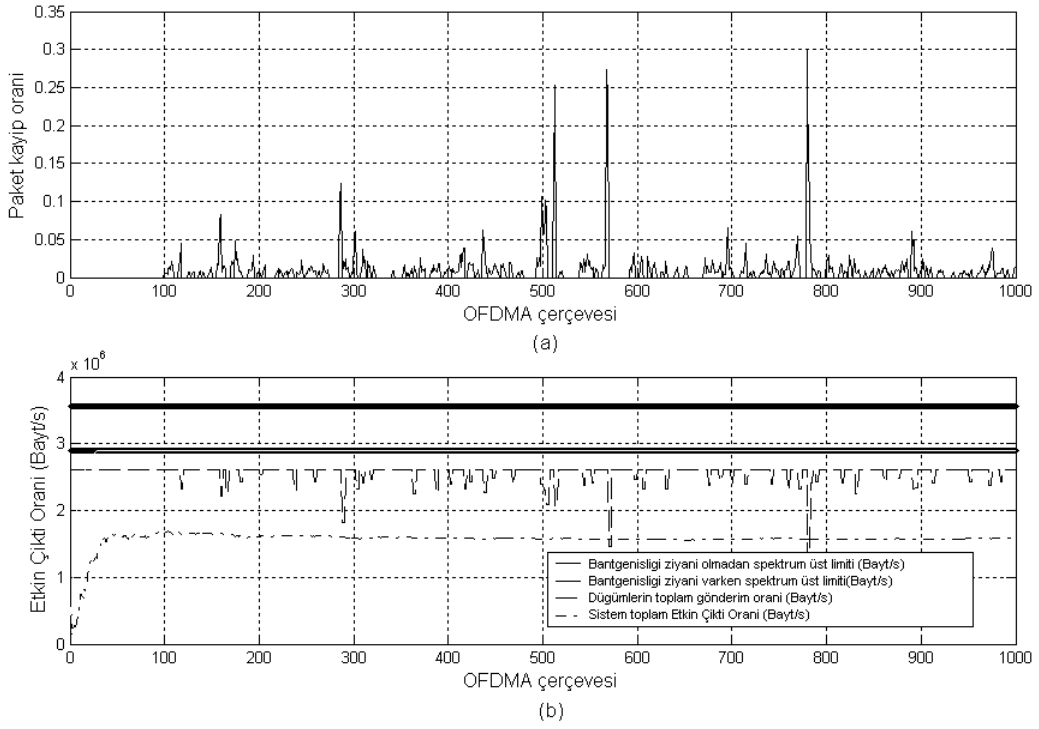
AR metodu aktif edildiğinde, tüm düğümlerin toplam veri iletim oranı, ağın o anki durumuna ve son periyottaki paket kayıp oranına göre güncellenerek yükseltilmekte ya da düşürülmektedir [61]. Bu değişim, AR metodunun aktif olduğu simülasyon grafiklerinden, (Şekil 6.12b, Şekil 6.13b ve Şekil 6.14b'de üstteki

kesikli çizgilerin sırasıyla Şekil 6.12a, Şekil 6.13a ve Şekil 6.14a'daki paket kayıp oranlarına olan simetriklerinin gözlemlenmesiyle) takip edilebilmektedir.

Ağın hesaplanan arabellek kullanımı ve tüm yeni algoritmaların etkin olduğu durumu için OFDMA çerçeve sayısına karşın paket kaybı ve sistem etkin çıktı oranı Şekil 6.14'te verilmiştir.



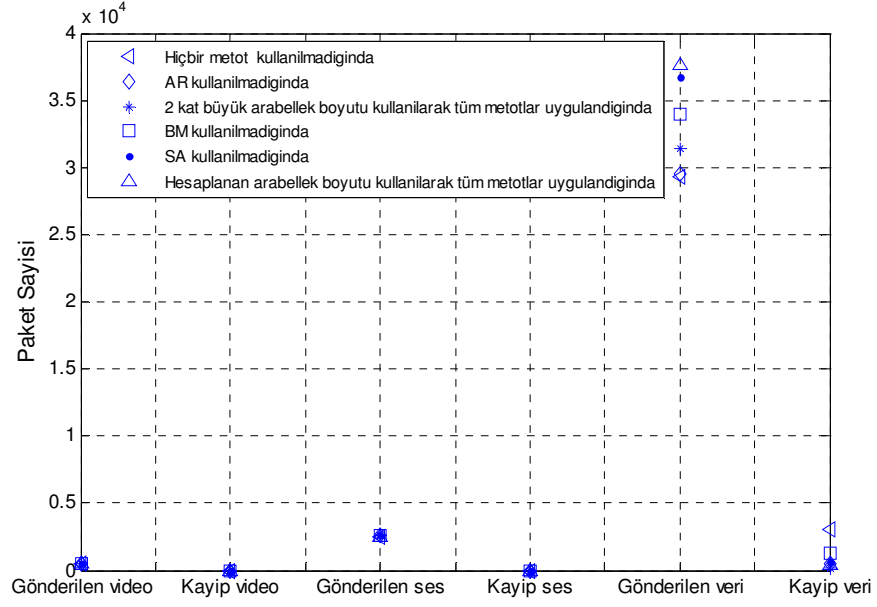
Şekil 6.13 Ağın yalnızca SA algoritması etkin olmayıp diğer tüm algoritmaların etkin olduğu durumu için, OFDMA çerçeve sayısına karşın, (a) tüm ağın son 3 çerçevedeki ortalama paket kaybı, (b) bant genişliği teorik üst limiti, veri paketi üretim/gönderim oranı ve sistem etkin çıktı oranı.



Şekil 6.14 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

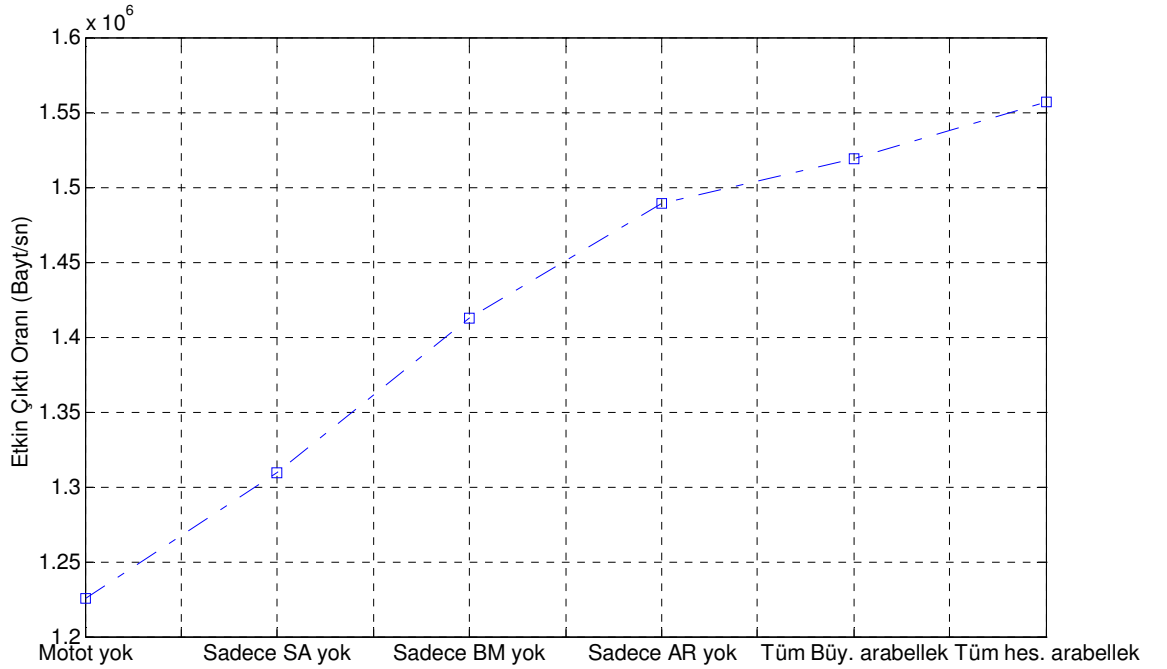
BM algoritması devreden çıkarıldığında ise, arabelleklerde daha fazla sıkışıklık oluşmasına meydan verileceğinden, daha fazla veri paketi kaybı oluşacaktır. Şekil 6.15'te gözlemlendiği üzere, 1000 OFDMA çerçevesi süresinde başarıyla gönderilen paket sayıları ve kayıp paket sayıları, ses ve video gibi gerçek zamanlı paketler için her durumda yaklaşık aynı değerlerde seyrederken, bu değerler gerçek zamanlı olmayan veri paketleri için kullanılan metotlara göre değişiklik göstermektedir.

Bunun nedeni, gerçek zamanlı paketlere ayrı alt kanal ataması yapılmasıdır. Bu durumda sistem toplam etkin çıktı oranını belirleyen ana faktör, Şekil 6.15'te her algoritma için farklılık gösterdiği görülen, veri paketi başarılı gönderim ve kayıp sayılarıdır.



Şekil 6.15 Önerilen metotların ağa uygulanması ya da uygulanmaması durumlarında tüm metotlarla birlikte rotalama için “En Hızlı Yol algoritması” kullanılarak 1000 OFDMA çerçevesi boyunca başarılı şekilde gönderilen video, ses ve veri paketleri sayıları.

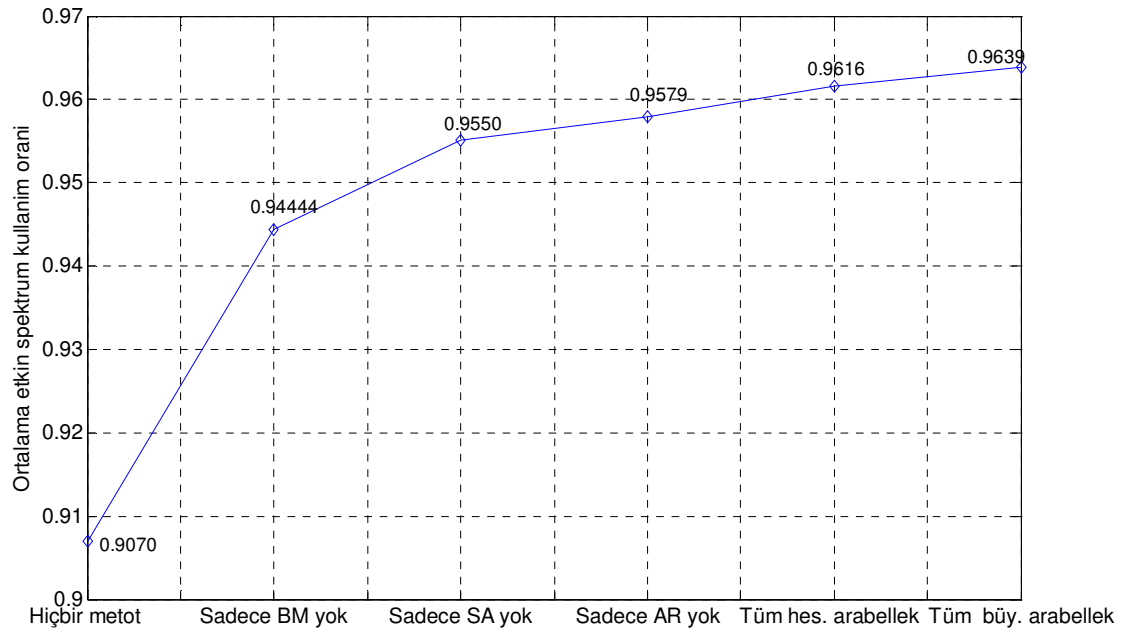
Şekil 6.16’da, simülasyondan elde edilen etkin çıktı oranları ve etkin çıktı oranının en çok tüm metotların devreye sokulduğu durumda arttırıldığı görülmektedir.



Şekil 6.16 Yeni metotların uygulanması /uygulanmaması durumlarında etkin çıktı oranında sağlanan artış miktarları.

Sistem etkin çıktı oranı başarımını etkileyen en önemli kıstaslardan biri de spektrumun etkin kullanımıdır. Yani kaybolacağı tahmin edilen bir paketi göndermektense 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 6.17’de verilmiştir. En büyük etkin spektrum kullanım oranı ise yine tüm metotların etkin olduğu ve hesaplanan arabellek boyutunun kullanıldığı durumda sağlanmıştır.



Şekil 6.17 Yeni bilişsel yöntemler ile sistemdeki etkin spektrum kullanımı.

6.5. Farklı Düğüm Sayıları için Paket Kayıp Oranlarının Teorik Analizi

MCAF kullanımı ile ağdaki toplam paket sayısının düğümlere bekleme süreleriyle orantılı olarak dağıldığı düşünülürse, paketlerin düğümlere dağılımı;

$$\begin{aligned}
 &Düğüm_1 \rightarrow (12 \text{ paket}), Dügüm_2 \rightarrow (25 \text{ paket}), Dügüm_3 \rightarrow (38 \text{ paket}), \\
 &Dügüm_4 \rightarrow (50 \text{ paket}), Dügüm_5 \rightarrow (64 \text{ paket}), Dügüm_6 \rightarrow (75 \text{ paket}), \\
 &Toplam \rightarrow 264 \text{ paket}
 \end{aligned}$$

şeklinde modellenecektir (Bkz. (6.14)). Burada, Düğüm₁ paketlerini henüz göndermiş ve en boş arabelleğe sahip olan düğüm, Düğüm_N ise en dolu arabelleğe sahip şu anki gönderici olan düğümdür.

Diğer N-1 düğümden birinde paketin kaybolma olasılığı (6.22) ve (6.23)'te verildiği şekilde hesaplanabilecektir.

$$\begin{aligned}
 P_{kayıp}(n) &= \frac{\frac{\text{Düğüm}_n \text{ 'in paket dağılım oranı}}{\text{Paket dağılım toplamı}} \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{\text{Arabellek Boyutu}} \\
 &= \frac{\frac{(n)}{N \times (N+1)} \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{2} \\
 &= \frac{2 \times (n) \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{\text{Arabellek Boyutu} \times N \times (N+1)}
 \end{aligned} \tag{6.22}$$

Bir paketin (6.22) kullanılarak n. düğümden kaybolma olasılığı hesaplandıktan sonra, paketin rota üzerindeki düğümlerden herhangi birinde kaybolma olasılığı (6.23) 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.

$$\begin{aligned}
 P_{kaybolma} &= \frac{1}{N-1} \times P_{kayıp}(1) + \frac{1}{N-1} \times P_{kayıp}(2) + \dots + \frac{1}{N-1} \times P_{kayıp}(N-1) \\
 &= \frac{1}{(N-1)} \left(\sum_{n=1}^{N-1} P_{kayıp}(n) \right)
 \end{aligned} \tag{6.23}$$

(6.23) kullanılarak; N=6, arabellekteki bölme sayısı 264 ve ağda toplam 264 paket olduğu durum için;

$$\begin{aligned}
P_{kaybolma} &= \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \times P_{kayıp}(n) \\
&= \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{N-1} \times \frac{2 \times (n) \times \text{Toplam paket sayısı}}{\text{Arabellek boyutu} \times N \times (N+1)} \\
&= \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{6-1} \times \frac{2 \times (n) \times 264}{264 \times 6 \times (6+1)} \\
&= \frac{1}{5} \times \left[\frac{1}{21} + \frac{2}{21} + \frac{3}{21} + \frac{4}{21} + \frac{5}{21} \right] \\
&= 0.142 = \% 14.2
\end{aligned} \tag{6.24}$$

elde edilir. (6.23) ve (6.24)'te kullanılmış olan $P_{kayıp}(n)$ değeri paketin n. düğümde kaybolma olasılığıdır ve (6.22)'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 (6.25)'te verilen şekilde, paketin sahip olabileceği tüm "bir sonraki düğüm kombinasyonlarını seçme olasılıkları" ve "paketin burada kaybolma olasılıklarının" çarpımının toplamıyla bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
P_{Kaybolma_BM} &= \frac{\binom{N-1}{1} P_{kayıp}^1 + \binom{N-1}{2} P_{kayıp}^2 + \binom{N-1}{3} P_{kayıp}^3 + \dots + \binom{N-1}{N-1} P_{kayıp}^{N-1}}{\sum_{n=1}^{N-1} \binom{N-1}{n}} \\
&= \frac{\sum_{n=1}^{N-1} \left\{ \binom{N-1}{n} \times P_{kayıp}^n \right\}}{\sum_{n=1}^{N-1} \binom{N-1}{n}}
\end{aligned} \tag{6.25}$$

Bu durumda $N = 6$ ve $P=0.142$ için

$$\begin{aligned}
P_{kaybolma_BM} &= \frac{\binom{5}{1} p^1 + \binom{5}{2} p^2 + \binom{5}{3} p^3 + \binom{5}{4} p^4 + \binom{5}{5} p^5}{\binom{5}{1} + \binom{5}{2} + \binom{5}{3} + \binom{5}{4} + \binom{5}{5}} \\
&= \frac{5p^1 + 10p^2 + 10p^3 + 5p^4 + p^5}{5+10+10+5+1} \\
&= 0.03 = 3.00\%
\end{aligned} \tag{6.26}$$

elde edilir. Bu değer, Çizelge 6.3'te 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 $P_{\text{kaybolma_SA}}$ ile verilmiştir. $P_{\text{kaybolma_SA}}$, “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 (6.27)'de verildiği şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kaybolma_SA}} &= \left(p_{\text{kayıp}}^1 \times (1 - p_{\text{kayıp}})^{(N-1)-1} \times \frac{1}{N-1} \right) + \left(p_{\text{kayıp}}^2 \times (1 - p_{\text{kayıp}})^{(N-1)-2} \times \frac{2}{N-1} \right) + \dots \\
 &+ \left(p_{\text{kayıp}}^n \times (1 - p_{\text{kayıp}})^{(N-1)-n} \times \frac{n}{N-1} \right) \\
 &= \sum_{n=1}^{N-1} p_{\text{kayıp}}^n \times (1 - p_{\text{kayıp}})^{(N-1)-n} \times \frac{n}{N-1}
 \end{aligned} \tag{6.27}$$

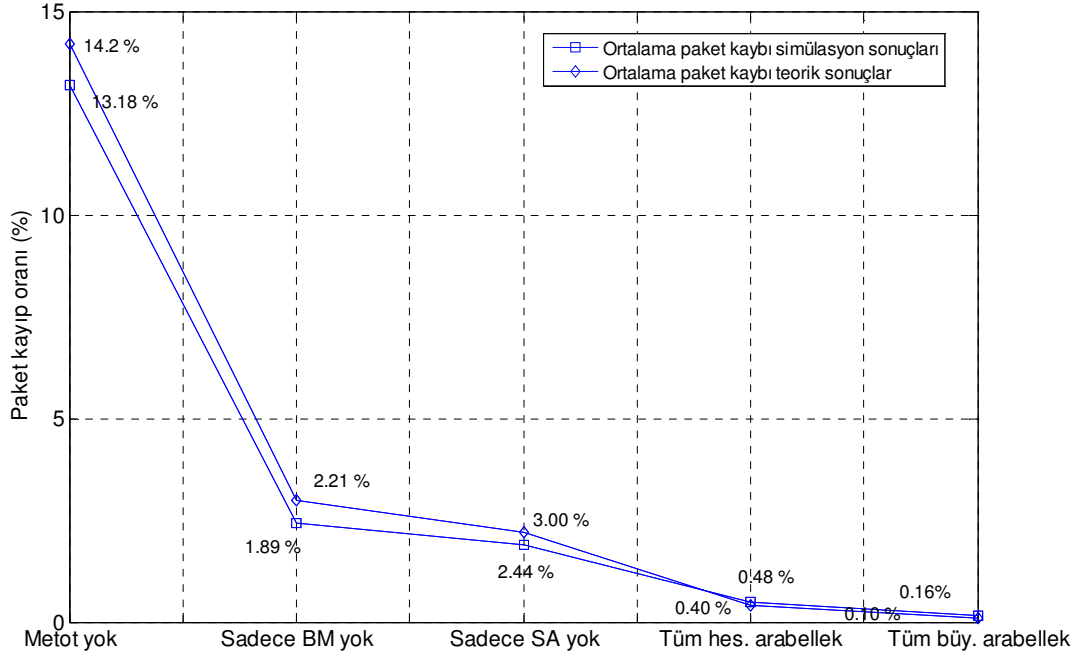
$N = 6$ ve $P_{\text{kayıp}} = \%14.2$ (Bkz. 7.24) için (6.27) kullanılarak $P_{\text{kaybolma_SA}} = \%2.21$ olarak elde edilir. Bu sonuç ta yine Çizelge 6.3'te karşılık gelen (Tüm-BM) veri paketi kayıp oranı simülasyon sonucuna çok yakın bir değerdir.

BM ve SA algoritmalarının ikisinin birden aynı anda devreye sokulması durumunda (6.25) ve (6.27)'nin birleştirilmesiyle, (6.28) elde edilir. (6.23) – (6.29)'da kullanılan $P_{\text{kayıp}}$ değeri, yine (6.22)'de hesaplandığı şekilde kullanılmıştır. (6.28)'de kullanılan $P_{\text{kayıp_BM_SA}}$ 'nin hesaplanması ise (6.29)'da verilmiştir.

$$P_{\text{kaybolma_TÜM}} = \sum_{n=1}^{N-1} \left(\frac{\binom{N-1}{n} \times (P_{\text{kayıp_BM_SA}})^n}{\sum_{r=1}^{N-1} \binom{N-1}{r}} \times (1 - P_{\text{kayıp_BM_SA}})^{(N-1)-n} \times \frac{n}{N-1} \right) \tag{6.28}$$

$$P_{\text{kayıp_BM_SA}} = \frac{\left(\sum_{n=1}^N P_{\text{kayıp}}(n) \right) - \frac{2 \times (N-1) \times \text{Toplam Paket Sayısı}}{N \times (N+1)}}{(N-1)} \tag{6.29}$$

$N = 6$ ve 264 arabellek bölmesi için (hesaplanan arabellek boyutuna göre) (6.28)'den $P_{\text{kaybolma_TÜM}} = \%0.40$ olarak bulunur 500 bölmeli daha büyük arabellek boyutu kullanıldığında ise $\%0.10$ paket kaybı teorik sonucuna ulaşılır. Bu sonuçlar da yine Çizelge 6.3'te 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 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.18 Metotların teorik ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması.

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 6.18'den görüldüğü gibi, bu hesaplamadan çıkan sonuçlar simülasyondan elde edilmiş olan ve Çizelge 6.3'te verilen sonuçlarla da tutarlılık göstermektedir [14; 58].

6.6. Değişken Düğüm Sayılı Ağlarda Etkin Çıktı Oranı Artırım Analizi

Sistemin OFDMA ve önerilen MCAF metotları kullanıldığı durumlardaki etkin çıktı oranları teorik hesaplamaları sırasıyla (6.30) ve (6.31)'de verilmiştir.

$$P_{OFDMA_{ort}} = \frac{\text{Toplam paket sayısı}}{N \times \text{Arabellek Boyutu}} \quad (6.30)$$

$$P_{MCAF_{ort}} = \frac{\left(\sum_{n=1}^{N-1} (n) \times \frac{2 \times \text{Toplam Paket sayısı}}{N \times (N+1)} \right)}{(N-1) \times \text{Arabellek Boyutu}} \quad (6.31)$$

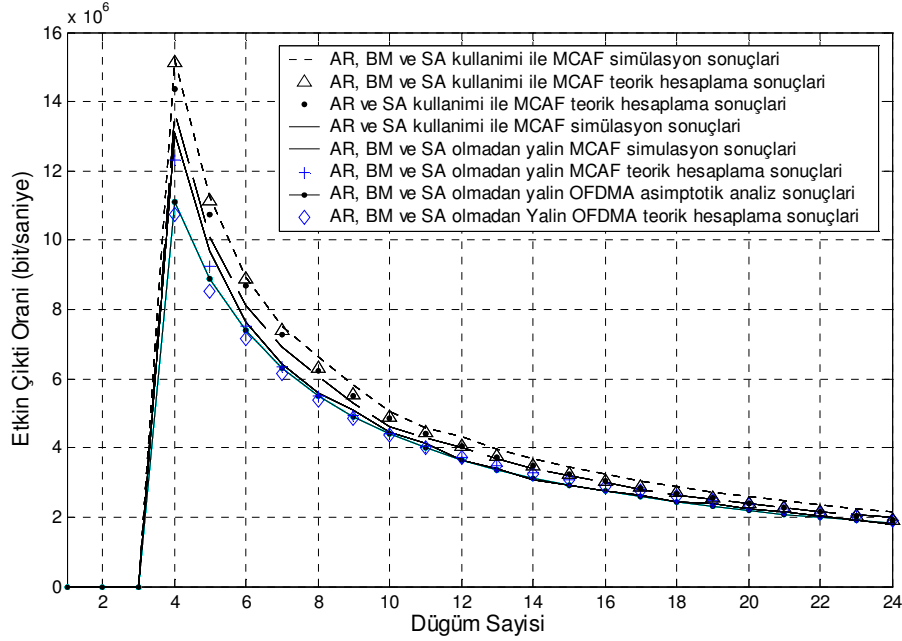
$$THR_{\text{Band_genişliği_ziyayı_ile}}(N) = \frac{\frac{AHC}{AHC_N} \times \left[\frac{N}{N_{sim}} \times (SVD P_{N_{sim}} \times VDPS + SVCP_{N_{sim}} \times VCPS) + (SDTP_{N_{sim}} + LDTP_{N_{sim}}) \right]}{\times \frac{NOS - N - N \times VPSR}{NOS - N_{sim} - N_{sim} \times VPSR} \times (1 - p_{ort}(N) \times DTPS}}{\text{Süre}_{sim}(sn.)} \quad (6.32)$$

(6.32)'de kullanılan P_{ort} değeri için, hesaplamanın THR_{OFDMA} yada THR_{MCAF} etkin çıktı oranlarından hangisi için yapıldığına göre, sırasıyla (6.30) ya da (6.31) kullanılır.

(6.32)'de $(S/L)(VD/VC/DT)/P_{N_{sim}}$, (Gönderilen/Kaybolan) (Video/Ses/Veri) Paket sayıları ifadelerinin kısaltması olarak kullanılmıştır. Teorik hesaplamaların sonucunda elde edilen etkin çıktı oranı değerleri simülasyon sonuçlarıyla kıyaslamalı olarak Şekil 6.19'daki grafikte gösterilmiştir.

$$THR = AHC \times 8 \times \left[200 \times N \times (SCC - VCPS \times (N - 1)) + THR_{MCAF_{\text{Band_genişliği_ziyayı_ile}}}(N) \right] \quad (6.33)$$

30 alt kanala sahip olan bu sistemde, video, ses ve veri paketi gönderimleri için spektrumu paylaşan N adet düğüm bulunur. Sistemde video paketleri için her 200 çerçevede 50 alt kanal kullanıldığından ($VPSR=1/4$ 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'ın 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 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19 “En Hızlı Yol algoritması” kullanılarak, bant genişliği ziyanı dahil edilmeden elde edilen OFDMA ve MCAF simülasyon sonuçları ile teorik sonuçların, aynı parametre değerleri kullanımıyla kaynaklardaki geleneksel sonuçlar ile kıyaslanması.

Şekil 6.19’da 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 örtüşmüştür. Kaynak [15] ve kaynak [16]’daki çalışmaların bu tez çalışmasında kullanılan parametre değerleri için uygulanmasıyla elde edilen (Bkz. Şekil 6.10e) ve “AR, BM, SA olmadan yalın OFDMA asimptotik analiz sonuçları” etiketiyle Şekil 6.19’a 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 düşük düğüm sayıları için, MCAF’ın; AR,BM ve SA olmadan uygulanması durumunda dahi, yalnız OFDMA kullanımına kıyasla daha yüksek etkin çıktı oranı başarımı sağladığı, BM ve SA algoritmaları uygulandığında ise etkin çıktı oranı başarımını daha da yüksek seviyelere yükselttiği gösterilmiştir.

Sistemde artan düğüm sayısı ile birlikte artan toplam ses ve video paketleri nedeniyle, gerçek zamanlı olmayan veri paketleri için, toplam 30 alt kanaldan

geriye kalan daha az sayıda alt kanal ayrılacaktır. Bu nedenle, Şekil 6.19'da görüldü gibi, artan düğüm sayıları ile veri paketi kayıp oranını azaltmaya yönelik olarak önerilen algoritmaların etkileri azalmakta ve eğriler giderek birbirine yaklaşmaktadır. Etkin çıktı oranındaki geliştirmenin yüksek düğüm sayıları için de aynı etki ile sürmesi, ancak, artan düğüm sayısı ile birlikte daha fazla alt kanal sayısı kullanımının sağlanmasıyla gerçekleştirilebilir.

Önerilen metotların kullanımıyla, tüm yeni bilişsel yöntemlerin uygulandığı durumda sağlanan maksimum etkin çıktı oranı N=6 için bant genişliği ziyarı dahil edildiğinde 1556458 Bayt seviyesine, dahil edilmediğinde ise 1630438 Bayt seviyesine kadar çıkarılmıştır. Elde edilen bu değerler Şekil 6.19'da bant genişliği ziyarı devreye sokulmadan elde edilen simülasyon grafiğinden de gözlenebilir. Bu sonuç, bant genişliği ziyarı dâhil edilerek hesaplanmış olan etkin çıktı oranına geçerli N değeri için hesaplanan bant genişliği ziyarı miktarları eklenmesi ve simülasyonda o an için geçerli olan AHC ile çarpılıp sonucun bit'e çevrilmesiyle elde edilir. Bant genişliği ziyarının hesaba katılmadığı etkin çıktı oranı (6.34) deki gibi hesaplanmaktadır.

$$THR_{Band_genşliği_ziyanı_olmadan}(bit) = \frac{((THR_{Bant_genşliği_ziyanı_ile}(Byte) + ziyan_miktarı(Byte)) \times 8 \times AHC)}{N} \quad (6.34)$$

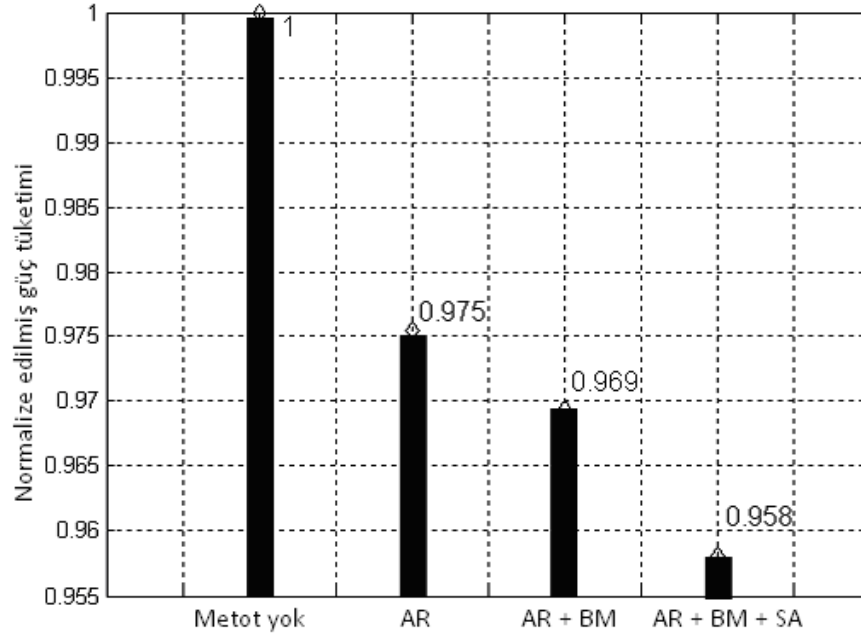
Burada THR, elde edilen etkin çıktı oranını ifade etmektedir. Basit bir tutarlılık kontrolü yapılacak olursa N=6 için; sistem etkin çıktı oranı Çizelge 6.4'te 1225488 Bayt olarak görülmektedir. Sistemde N=6 için simülasyondan elde edilen AHC =3 değeri kullanılarak, (6.8) ile hesaplanan ziyarı yok kabul edildiğinde, etkin çıktı oranı (6.35)'deki gibi hesaplanır.

$$THR_{Band_genşliği_ziyanı_olmadan(6)} = \frac{(1225488 + 640800) \times 8 \times 3}{6} = 7465152bit \quad (7.35)$$

Burada 1225488 Bayt değeri Çizelge 6.4'ten (hiçbir metot kullanılmadığı durum için elde edilen etkin çıktı oranı) alınmış, 640800 ise (6.8)'den hesaplanmıştır. Bu değer AR, BM ve SA uygulanmadan yapılan Şekil 6.19'daki yalın MCAF simülasyon sonuçlarından N=6 için okunan 7638500 bit değerine oldukça yakındır

ve Şekil 6.19'dan hesaplama sonuçlarının simülasyon sonuçları ile etkin çıktı oranı için de örtüştüğü gözlemlenmektedir.

Önerilen metotlar etkin çıktı oranını yükseltmenin yanı sıra arabelleklerin iyi yönetilip bant genişliğinin boşa kullanılmamasını sağlayarak güç tüketiminde de %4'e kadar tasarruf sağlamaktadır. Şekil 6.20'de farklı metotların kullanım durumları için tüketilen güç seviyesinin normalize edilmiş grafiği verilmiş ve yeni bilişsel yöntemlerle güç tüketiminin de düşürüldüğü gösterilmiştir [60].



Şekil 6.20 AR ve yeni bilişsel yöntemlerin (BM ve SA) uygulanma durumlarında güç tüketimi miktarlarında sağlanan düşüş.

Çalışmada kullanılan sistemde, önerilen MCAF, BM ve SA metotlarına ek olarak adaptif (uyarlamalı) oran algoritması da kullanılmış ve sistem yükünün kontrolü ile paket kaybının en aza indirgenmesi sağlanmıştır. OFDMA ile TDMA algoritmalarının birleşimini modifiye ederek oluşturulan MCAF metodu ile önerilen yeni bilişsel yöntemler (BM ve SA) birlikte kullanılarak; spektrumun paylaşımlı olarak daha etkin bir şekilde kullanıldığı, paket kaybının düşürüldüğü ve etkin çıktı oranının arttırıldığı gösterilmiştir. Ayrıca sonuçlar, kaynaklarda yapılan diğer çalışmalar ve bu çalışmada yapılan teorik hesaplamalarla karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır.

Öte yandan en uygun arabellek boyutu, farklı düğüm sayıları ve kullanılan rotalama algoritmasının ortalama sekme sayısına göre formülize edilmiştir. Bu boyutta bir arabellek kullanımının, etkin çıktı oranı açısından yaklaşık 2 kat daha büyük arabellek kullanımından bile daha iyi sonuçlara ulaştığı simülasyon sonuçlarıyla gösterilmiştir. Her bir yeni metodun etkin çıktı oranına katkısı sabit (N=6) ve değişken düğüm sayıları için ayrı ayrı incelenmiştir. Mevcut sistemde büyük değişiklikler gerektirmeden uygulanabilecek bu yeni bilişsel yöntemlerin kullanımı ile aynı zamanda ortalama güç tüketiminin de düşürüldüğü gösterilmiştir. Ayrıca, paket kayıp oranları da her bir algoritmanın devreye dahil edilme durumu için olasılıksal olarak hesaplanmış ve bu sonuçlar yine simülasyon sonuçları ile kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Sistemin etkin çıktı oranı her bir bilişsel yöntem için ayrı ayrı inceleme altına alınmış ve simülasyon sonuçlarına göre toplam etkin çıktı oranına, örneğin N=6 için; SA algoritmasının %20, BM algoritmasının %12, AR algoritmasının %5 ve tüm metotların birlikte %27 iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir. Bu iyileştirme daha düşük düğüm sayıları için daha da yüksek miktarlarda olmaktadır.

6.7. Rotalama Algoritmalarının Yeni Bilişsel Yöntemler Üzerinde Etkileri

Bir ağın etkin çıktı oranını yükseltmenin en iyi yolu spektrumu etkin kullanmak, ağ üzerinde oluşan paket kaybını azaltmak ve paketleri hedeflerine en az sekme sayısı ile ve en az gecikme ile gönderebilmektir. Bu sayede düğümler de daha küçük arabelleklere ihtiyaç duyacaktır.

Bu nedenle, rotalama algoritmaları tarafından belirlenen rotalar ve bu rotalardaki sekme sayıları etkin çıktı oranı üzerinde çok önemli bir role sahiptir. Bu amaç doğrultusunda bir vektör uzaklık algoritması olan “En Hızlı Yol” algoritması [19], “Karınca Kolonisi” algoritması [18; 53] ve çalışmada yeni geliştirilen Erişilebilirlik tabanlı uzun ömürlü rotalama algoritmaları olan “AEABR” [21] ve “ATAABR” [22] algoritmalarının simülasyonları ayrı ayrı geliştirilerek sisteme entegre edilmiştir. Sistemdeki yeni bilişsel metotların etkin çıktı oranını iyileştirme başarımları ilk olarak En Hızlı Yol bulma ve Karınca Kolonisi algoritması için inceleme altına alınmıştır. Sekme sayısı her ne kadar çok önemli bir parametre olsa da, rotalama algoritmalarının sistem başarımını etkileyen tek parametresi sekme sayısı değildir.

Rotalama algoritmaları aynı zamanda az güç tüketimi ve daha az gecikme miktarı ile aynı işi yapabilecek nitelikte olabilmelidir. Bu bölümde IEEE 802.16j ağında adı geçen rotalama algoritmalarının önerilen bilişsel yöntemlerle çalışırken gösterdikleri başarımlar OFDMA, MCAF + AR ve MCAF + AR + (BM ya da SA) için kıyaslama altına alınmıştır. Elde edilen Şekil 6.21'deki simülasyon sonuçlarında açıkça görüldüğü gibi, gecikme miktarları ile sekme sayıları grafikleri şekil olarak birbirine çok benzemektedir [54]. Bu durum, sekme sayısının gecikme üzerinde ne kadar baskın bir faktör olduğunun açık bir göstergesidir.

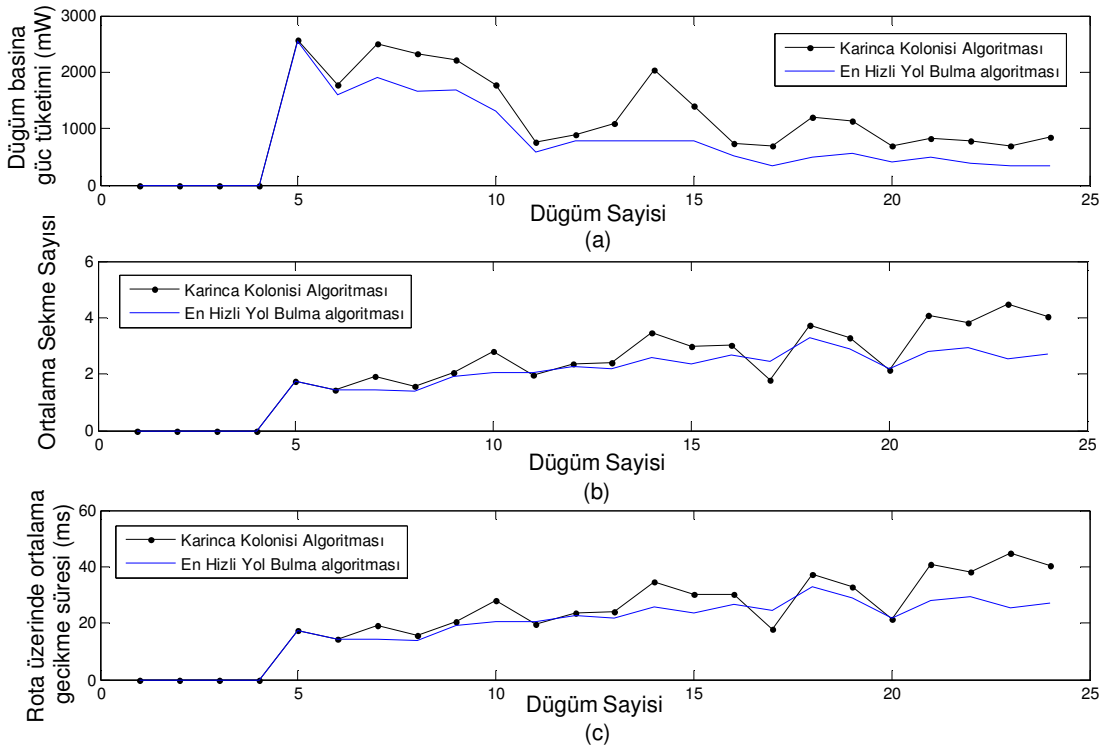
Bu noktada bir seçim yapılması söz konusudur. Şöyle ki; uzak noktalara paket gönderimi ile düşürülen sekme sayısı aynı zamanda güç tüketimini arttırmakta ve hat hızını düşürmektedir. Her paket gönderiminde doğru rotalama algoritmasının kullanımı ile en iyi pozisyona sahip düğüm seçilmelidir.

Bu nedenle önerilen etkin çıktı yükseltme metotlarının başarımları farklı rotalama algoritmaları için analiz edilmiştir. İlk olarak “En Hızlı Yol” ve “Karıncı Kolonisi” algoritmaları için kıyaslama altına alınmış, daha sonra ise bu kıyaslamadan güçlü olarak çıkan algoritma (En Hızlı Yol algoritması) ABR ve önerilen uzun ömürlü rotalama algoritmaları olan AEABR ve ATAABR ile tamamen aynı şartlar altında kıyaslamaya alınmıştır.

6.7.1. Karınca kolonisi ve en hızlı yol algoritmalarının başarıma etkileri

Ağdaki paketler son hedefe minimum sekme sayısı ile ulaşmalıdır. Bu sayede spektrum daha etkin kullanılacak, daha az sekme ile geçecek zaman toplamı azalacak, aynı zamanda güç tüketimi düşürülecektir. Dolayısıyla, önerilen metotlarla etkin çıktı oranı daha çok arttırılacaktır. Bu, rota belirleme algoritmaları olarak bilinen En Hızlı Yol algoritması [19] ve Karınca Kolonisi algoritması [18; 53] ile sağlanır.

Bu rotalama algoritmaları, IEEE 802.16j ağında kıyaslama altına alınmış, ortalama ve anlık sekme sayıları, yayılım ve işleme gecikmeleri, güç tüketimleri ve aynı koşullar altında toplam etkin çıktı oranı üzerindeki etkileri bakımından incelenmişlerdir. Sekme sayıları, yayılım ve işleme gecikmeleri ile güç tüketimleri için 10 iterasyon ile elde edilen ortalama sonuçlar Şekil 6.21'de verilmiştir.



Şekil 6.21 Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmalarının simülasyon ağına 4-24 arasındaki düğüm sayılarıyla aynı düğüm pozisyonları için ve aynı şartlar altında 10'ar kez uygulandıklarında elde edilmiş olan ortalama a) düğüm başına güç tüketimi b) sekme sayısı c) yayılım ve paket işleme gecikmeleri toplamı.

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, sistem etkin çıktı oranı üzerinde baskın bir etkiye sahip olan ortalama sekme sayısı, Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmalarında düşük düğüm sayıları için birbirinden çok farklı değerlerde değildir. Ancak, artan düğüm sayısı ile birlikte aradaki farkın arttığı ve En Hızlı Yol algoritmasının daha çok tercih edilebilir rotalar seçtiği gözlenmiştir [54]. Ortalama güç tüketimi ve gecikme miktarları için de aynı şekilde En Hızlı Yol algoritması ile daha iyi sonuçlar elde edilmiş olması nedeniyle gerçek zamanlı ses ve görüntü iletişimde En Hızlı Yol algoritmasının daha kullanışlı olacağı belirlenmiştir [54].

Karıncı Kolonisi ile elde edilen, (6.36) ile hesaplanan ve Şekil 6.22a'da sunulan ortalama yayılım gecikme miktarı her zaman En Hızlı Yol algoritması ile elde edilen gecikmenin üzerinde olmuştur. Sonuç olarak (6.38)'den [19] elde edilen (6.39) kullanılmış, $\alpha=2$ (serbest uzay için yol kaybı üssü) alınmış ve yapılan hesaplamalarla Karınca Kolonisi tarafından seçilen rotalarla daha fazla güç tüketimi yapıldığı Şekil 6.23'te gösterilmiştir [54].

$$Gecikme_{yayılım} = \sum_{n=1}^N \frac{paket\ boyutu}{hat\ hızı_n} \quad (6.36)$$

$$hat\ hızı = B \times \log_2 \left(1 + \left(\frac{Sinyal}{gürültü} \right) \right) \times uzaklık^{(-\alpha)} \quad (6.37)$$

$$uzaklık = \left(\frac{Güç}{(N \times (\exp^\alpha - 1))} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6.38)$$

$$Güç = uzaklık^\alpha \times (N \times (\exp^\alpha - 1)) \quad (6.39)$$

Şekil 6.21'de gösterilen ortalama güç tüketimi (mW) ortalama sekme sayısı ve ortalama yayılım ve paket işleme gecikmeleri (ms) grafiksel gösterimlerinde, G.711 ses kodlayıcı (64 kbps) ile oluşacak gecikmeler (6.40) ve (6.41)'deki gibi hesaplanabilir.

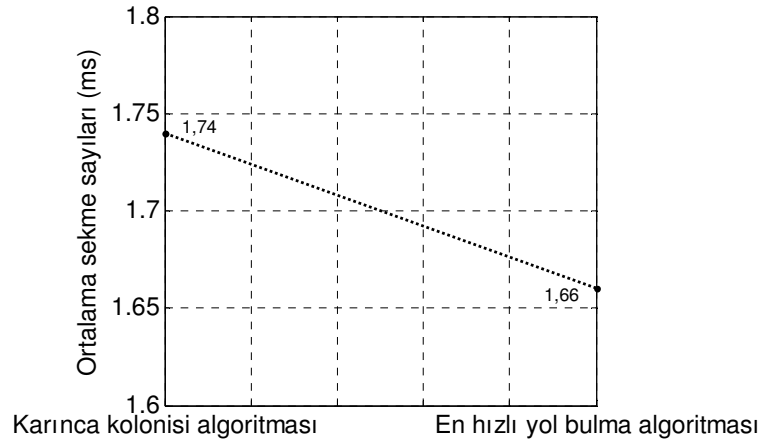
$$gecikme_{yayılım} = \sum_{n=1}^N \frac{paket\ boyutu\ (Bayt)}{\left(Band\ genişliği \times \log_2 \left(1 + \left(\frac{Sinyal}{gürültü} \right) \right) \times uzaklık^{(-\alpha)} \right)_n} \text{ sn.} \quad (6.40)$$

$$gecikme_{işleme} = \left(\frac{paket\ boyutu\ (Bayt)}{(64/8 \times 1024) Bayt} \times Sekme\ sayısı \right) \text{ sn.} \quad (6.41)$$

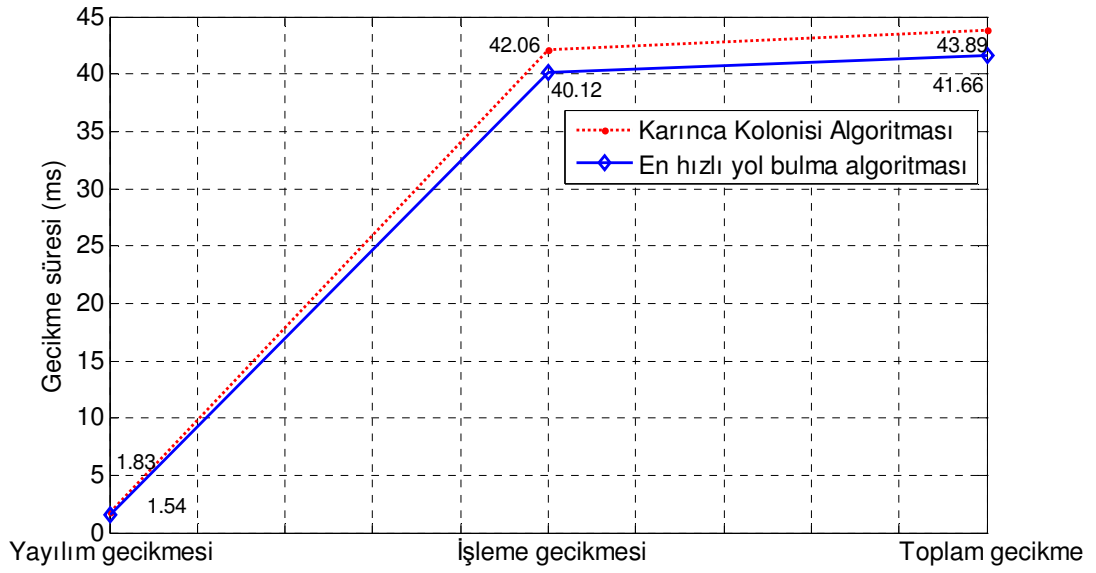
Paket işleme gecikmesi, G.711 ses kodlayıcı kullanan [38] her bir sekmede gerçekleşeceğinden, bir sekmede gerçekleşecek olan paket gecikme miktarı, sekme sayısı ile çarpılmaktadır. Yayılım ve işleme gecikmelerinin toplamından elde edilecek olan gecikme ise (6.42)'deki gibi hesaplanacaktır:

$$\begin{aligned} Gecikme_{toplam} &= Yayılım\ Gecikmesi + İşleme\ Gecikmesi \\ &= \sum_{n=1}^N \frac{paket\ boyutu\ (Bayt)}{\left(Bant\ genişliği \times \log_2 \left(1 + \left(\frac{Sinyal}{Gürültü} \right) \right) \times Uzaklık^{(-\alpha)} \right)_n} \\ &\quad + \left(\frac{Paket\ Boyutu\ (Bayt)}{(64/8 \times 1024) Bayt} \times Sekme\ Sayisi \right) \text{ sn} \end{aligned} \quad (6.42)$$

Öte yandan, sabit bir düğüm sayısı (N=6) için Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmaları ile elde edilmiş olan ortalama sekme sayısı ve ortalama yayılım gecikmesi (ms) Şekil 6.22'de, ortalama güç tüketimi ise Şekil 6.23'te gösterilmiştir [59].

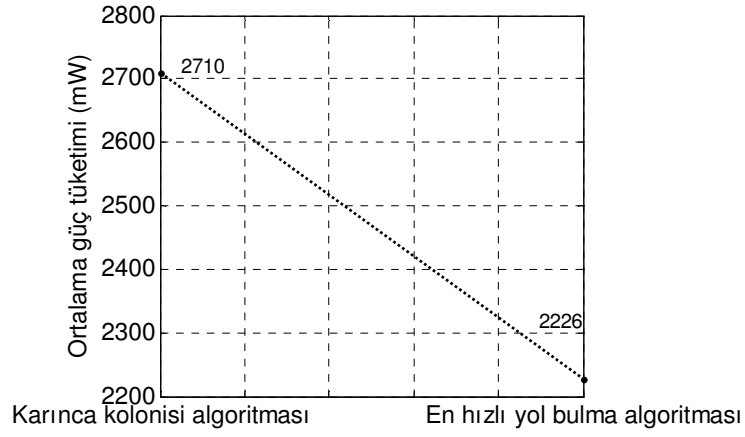


(a)



(b)

Şekil 6.22 Karıncı Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmaları ile bulunan yolların a) ortalama sekme sayıları ve ortalama yayılım gecikme miktarları b) işleme gecikmesi, yayılım gecikmesi ve toplam gecikme miktarları (ms) grafiksel karşılaştırmaları.

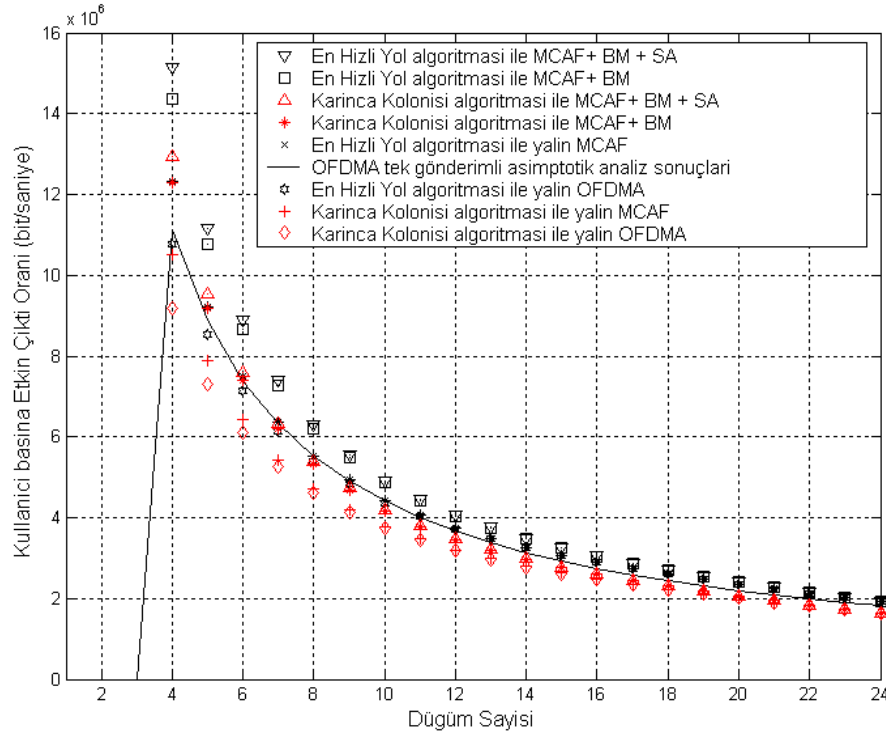


Şekil 6.23 Her bir rotanın ortalama güç tüketimi (mW) grafiksel karşılaştırmaları.

Son olarak, 4-24 arası değişen farklı aktif düğüm sayıları ile En Hızlı Yol ve Karınca Kolonisinin önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyon sonucunda Şekil 6.24'teki grafik elde edilmiştir.

Şekil 6.24'te, önerilen bilişsel yöntemlerin her iki rotalama algoritması için sistem etkin çıktı oranını arttırdığı, ancak "En Hızlı Yol algoritmasının", "Karınca Kolonisi algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Karınca Kolonisi algoritmasında sisteme adaptasyon için başta bir süre geçmesi gerekmektedir. Ayrıca, karınca tarafından uzun rotaların tesadüfen çok tercih edilerek, rotanın uzatılabilmesi de bir dezavantajdır. Ancak, sistemdeki düğümlerin, diğerlerinin durum ve pozisyonları hakkında daima fikir sahibi olması sayesinde değişen ağ durumlarına anında adapte olabilmesi ve "En Hızlı Yol algoritmasında olduğu gibi düğüm pozisyonlarına ihtiyaç duymaması Karınca Kolonisi rotalama algoritmasının en büyük avantajlarından biridir.



Şekil 6.24 Karınca Kolonisi ve En Hızlı Yol algoritmalarının, 4-24 arasında değişen düğüm sayıları için simülasyon ağına uygulandıklarında, yalın OFDMA, yalın MCAF ve MCAF ile BM ya da BM + SA uygulanması sonucunda simülasyondan elde edilen sonuçlar.

Çalışmada, etkin çıktı oranı yükseltimi için yeni önerilen bilişsel metotların, hem Karınca Kolonisi hem de En Hızlı Yol Bulma algoritması için başarılı bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir. Ancak En Hızlı Yol Bulma algoritması %21.7 daha az güç tüketimine ve %18.8 daha az yayılım gecikmesine neden olmaktadır. Yayılım gecikme süresi her durumda bir OFDMA çerçevesinden (5 ms) daha kısa olduğundan, yayılım gecikmesinin etkin çıktı oranı başarımı üzerinde büyük bir etkisi olmayacaktır. Sonuç olarak, her iki rota bulma algoritması için bulunan sonuçlara göre, önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotlarıyla En Hızlı Yol Bulma algoritmasının kullanımı ile; ortalama sekme sayısı, yayılım gecikmesi, güç tüketimi ve etkin çıktı oranı açısından Karınca Kolonisi algoritmasının kullanımına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu noktada dikkat edilmelidir ki Karınca Kolonisi algoritması, keşif ve deneyim üzerine çalışan bir algoritma olduğundan, ağın öğrenimi ve keşfi için başta daha çok zamana ve iterasyona ihtiyaç duyacaktır. En Hızlı Yol Bulma algoritmasında ise Karınca Kolonisi algoritmasının tersine düğümlerin pozisyon bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen bu

sonuçlardan anlaşılıyor ki; En Hızlı Yol algoritması kullanılarak daha az güç tüketimi, daha az yayılım gecikmesi ve daha fazla etkin çıktı oranı sağlanabilmekte ancak bunun için düğümlerin pozisyon bilgisine sahip olunması gerekmektedir.

6.7.2. Erişilebilirlik tabanlı rota bulma algoritmalarının başarıma etkileri

Erişilebilirlik tabanlı rotalama algoritmalarının her üçünü (“ABR” [20], “AEABR” [21] ve “ATAABR” [22]) ve “En Hızlı Yol algoritmasını” [19] simülatör’e dâhil ederek, eşit şartlar altında, kaynaktan hedefe giden değişik rotalar belirlendiğinde farklı araç hız aralıkları için elde edilen paket kaybı ve etkin çıktı oranı sonuçları Çizelge 6.5’te gösterilmiştir.

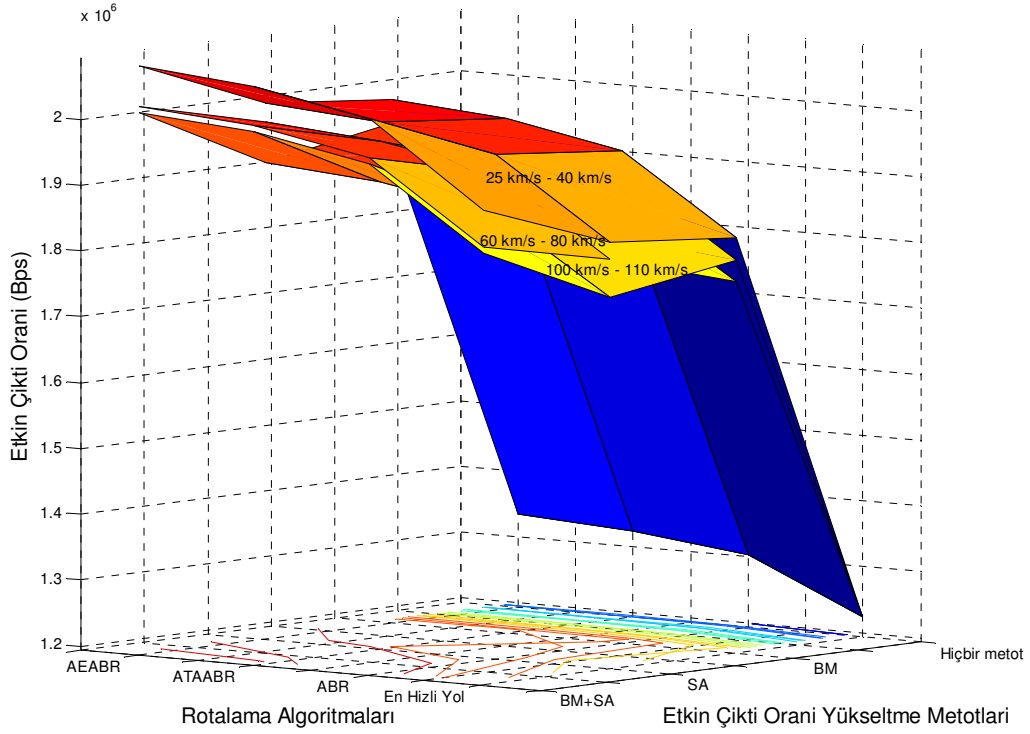
Çizelge 6.5. Rotalama Algoritmalarının 25-40 km/h, 60-80 km/h ve 100-110 km/h hızları arasında ve N=6 için göstermiş oldukları etkin çıktı oranı simülasyon sonuçları

Rotalama Algoritması		25-40 km/h				60-80 km/h				100-110 km/h			
En Hızlı Yol Bulma	Sekme Sayısı	3.16				3.16				3.16			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA
		1.22	1.32	1.30	1.33	1.22	1.32	1.30	1.33	1.22	1.32	1.30	1.33
ABR	Sekme Sayısı	2.12				2.16				2.20			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA
		1.82	1.97	1.94	1.98	1.79	1.93	1.90	1.95	1.75	1.90	1.87	1.91
ATAABR	Sekme Sayısı	2.10				2.20				2.13			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA
		1.84	1.99	1.96	2.00	1.75	1.90	1.87	1.91	1.81	1.96	1.93	1.97
AEABR	Sekme Sayısı	2.02				2.09				2.08			
	Etkin Çıktı Oranı(MBps)	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA	NO	BM	SA	BM,SA
		1.91	2.07	2.03	2.08	1.85	2.00	1.96	2.01	1.85	2.01	1.97	2.02

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.25’teki simülasyon sonuçlarına göre etkin çıktı oranı; “ABR” kullanıldığında, Karınca Kolonisinden daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiş olan En Hızlı Yol Bulma algoritmasından da iyi sonuçlar vermiştir. Tüm rotalama algoritmalarının simülasyonlarının gerçekleştirilerek sisteme uygulanmasıyla, etkin çıktı oranının, en çok bu çalışmada önerilen “AEABR” algoritması ile sağlandığı, daha sonra en iyi sonuçların ise yine bu çalışmada önerilen “ATAABR” algoritması ile elde edildiği saptanmıştır.

Şekil 6.25’te, çalışmada geliştirilmiş olan erişilebilirlik tabanlı uzun ömürlü rotalama algoritmaları “AEABR” [21] ve “ATAABR” [22]’nin uzun ömürlü 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 başarımları, önerilen AEABR algoritması ile elde edilmiştir.



Şekil 6.25 Önerilen etkin çıktı oranı yükseltme metotlarının, farklı rotalama algoritmaları ile birlikte kullanımıyla ve farklı araç hızları için elde edilen sistem etkin çıktı oranları.

6.8. Etkin Çıktı Oranı Yükseltme Metotlarının Düğüm Başına Veri Oranı

Her ağ yapısında olduğu gibi, kablosuz gezgin ağlarda da eldeki kaynakların etkin kullanımı, aşırı yüklemenin engellenmesi için büyük önem taşır. Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim (CSMA) tabanlı plansız araçsal ağlar (VANET) için kablosuz bant genişliği tüm düğümlere adil bir şekilde paylaşılmalıdır. VANET'te ağın kendisi ve elde olan bant genişliği dinamik bir yapıdadır. Bu nedenle ağ sıkışıklık kontrolü sağlanmalı ve yayın iletişiminin düşük öncelikli uygulamaca ele geçirilip önemli uygulamaların spektrumu kullanamaz durumda bırakılması önlenmelidir.

Bu bölümde, etkin çıktı oranının yükseltilmesi amacıyla önerilmiş olan MCAF metodunun spektrum paylaşırma adilliği mercek altına alınmıştır. Bu metot ile elde edilen düğüm başına veri oranı benzetim ve hesaplama sonuçları, kaynaklarda gerçekleştirilmiş diğer çalışmalarla eşit şartlar altına kıyaslanmış ve doğrulanmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçlar ile MCAF metodunun paket kayıp

oranında sağladığı düşüş ve etkin çıktı oranında sağladığı yükseltmenin yanı sıra düğümler arasında adil bir bant genişliği paylaşımını da sağladığı gösterilmiştir.

Kablosuz araç ağlarında düğümler sürekli olarak hareket halinde olduklarından konum ve paket durumları önceden kestirilemez. Bu nedenle düğümlerin merkezi bir birim tarafından yönetilmesi çok zordur. Tüm kontrol, düğümlerin kendi organizasyonları ile sağlanmak zorundadır. Öte yandan, plansız ağlarda adil olmayan bir spektrum paylaşımı yapıldığı bilinmektedir. Kaynak [62]'de CSMA yaklaşımını IEEE 802.11 protokolünün, RTS (gönderim isteğinde bulunma) ve CTS (kanal gönderim için temiz) protokolleri ile akış başına planlama ile birlikte kullanıldığında, bu adaletsizliğin kısmen azaltılabildiği gösterilmiştir. Ancak VANET'lerde yayın iletişimi baskın geldiğinden, akış başına planlama mekanizması bu ağlarda uygulanamamaktadır. Bu nedenle, adil spektrum paylaşımı için yeni arayışlara girilmiştir.

Elde edilen adil paylaşımlı veri oranları ile düğüm başına düşen veri oranı sonuçları, kaynaklarda yapılan diğer bir çalışma [62] ile arasındaki tüm sistem farklılıkların da göz önünde bulundurulmasıyla hesaplanmış, sonuçlar kıyaslanarak doğrulanmıştır. Bu farklılıklar; kullanılan ağ protokolünün toplam kapasite farklılığı ya da bu kapasitenin ne kadarının başarılı paket gönderimleri ile etkin olarak doldurulabildiği, sekme sayılarının hesaba katılıp katılmadığı, kapasitenin paket gönderimleri için doldurulmuş kısmının ne kadarının kaybolmadan hedefe ulaştırılabildiği gibi parametreleri içerir.

6.8.1. Protokoller ve simülasyon programları

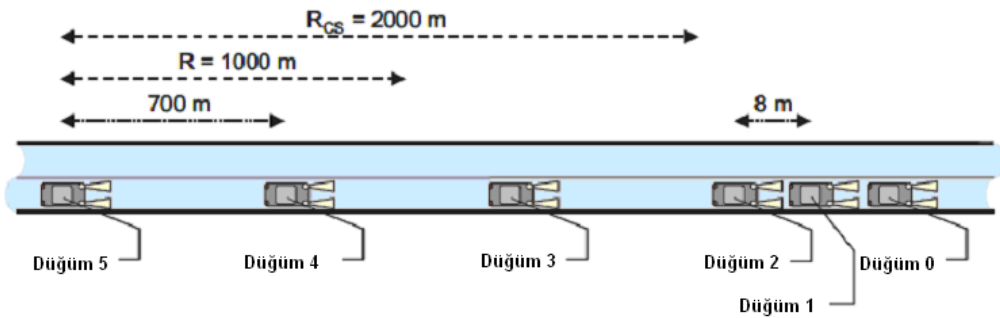
6.8.1.1. IEEE 802.16j sistemleri

IEEE 802.16j protokolü için elde edilmiş olan sistem kapasitesi 28.512.000 bps olarak hesaplanmıştır [8;9;13;14]. Bu çalışmada, IEEE 802.16j protokolü üzerinde geliştirilmiş olan sistemin etkin çıktı oranı benzetim ve teorik sonuçlarının asimptotik hesaplama ile elde edilmiş olan sonuçlarla örtüştüğü gösterilmiş, önerilen yeni bilişsel metotlarla düğüm başına etkin çıktı oranı arttırılmıştır. Öte yandan, hiçbir ek algoritmanın kullanılmadığı yalın ağda, kullanılmayan bant genişliği miktarından da kaynaklı olarak 2613600 Bps seviyesinde ortalama paket

üretimi olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak [62]'de kullanılan benzetim sonuçlarının düğüm başına veri oranı, bu çalışmada önerilen MCAF metodu ile yapılan benzetim ve teorik sonuçları ile kıyaslama altına alınmıştır. Ancak bunun için, IEEE 802.16j sistemi üzerinde elde edilen simülasyon sonuçlarının, Kaynak [62]'de IEEE 802.11 sistemi üzerinde elde edilmiş olan sonuçlarla tamamen eşit şartlar altında kıyaslanmış olması gerekir. IEEE 802.16j için bu çalışmada geliştirilen simülasyon sisteminde, En Hızlı Yol Bulma algoritması simülasyonu sonucunda 6 düğüm için rota başına ortalama 3 sekme elde edilmiş olduğundan, düğümün kaynak [62]'deki gibi tek sekmeli olarak bir sonraki düğüme başarılı veri gönderim oranının saptanmasında elde edilen değer de bu sekme sayısı ile çarpılması gerekir.

6.8.1.2. IEEE 802.11 sistemleri

Kaynak [62]'de spektrumun adil paylaşılabilmesinin ve bu problemin çözümüne dair Şekil 6.26'daki örnek senaryo ele alınmıştır. Burada 3 düğüm (0, 1 ve 2) birbirine yakın konumlanmış ve diğer 3 düğüm ise 700 m aralıklarla arka arkaya yerleştirilmiştir. Tüm düğümlerin sürekli olarak yayınlayacağı paketler olduğu düşünülmektedir. Çalışmada 1000 metrelik iletişim menzilleri ile rastgele olmayan çift yönlü yeryüzü yayılımı modeli kullanılarak, CSMA menzili (R_{cs}) 2000 metre alınmıştır. Kaynak [62]'de, önerilen UFB (adil olanak yayımı) algoritması kullanılmadığında bant genişliğinin düğümler arasında Çizelge 6.6'daki gibi adaletsizce paylaşıldığı gösterilmiştir.



Şekil 6.26 Rastgele olmayan sokak senaryosu ($R= 1$ km) [62].

Çizelge 6.26. Rastgele olmayan senaryo örneğinde UFB algoritması kullanılmadan elde edilen veri oranları [62]

Düğüm	5	4	3	2	1	0
Veri oranı (kbps)	937	1	2	337	339	339

Burada sadece CDMA yaklaşımından 6 düğüm için elde edilmiş simülasyon sonuçları verilmiş ve adil olmayan bir spektrum dağılımı yapıldığı gösterilmiştir. 0-2 düğümleri tüm bant genişliğini her biri yaklaşık 338 kb/s kullanımı ile paylaşmışlardır. Düğüm 0-2 grubuna RCS menzilinden uzakta olan Düğüm 5 ise, kablosuz ağı 937 kb/s veri gönderimi ile ele geçirmiş durumdadır. Bu durum Düğüm 3-4 ün spektrumu kullanamayacak durumda bırakılmasına ve sadece 1-2 kbps veri gönderebilmesine olanak sağlamıştır.

Bu adaletsizliğin nedeni ise, Düğüm 3 ve Düğüm 4'ün kendi RCS menzili içerisinde olan ve kendilerinden haberdar olmayan diğer gruplarla rekabet içerisinde olmalarıdır. Bu nedenle, Düğüm 3 ve Düğüm 4 hattın diğer düğümlerce tutulduğunu sürekli olarak sezmektedir. Bu esnada Düğüm 5 diğer düğümlerin de spektrum ihtiyacı olduğunu sezememekte ve sürekli olarak hat boşmuş gibi gönderim yapmaya devam etmektedir.

Kaynak [62]'de gösterilmiştir ki spektrum paylaşımı, düğümlerin paket içerikleri ve önceliklerine göre değil, konumları ve yerel çevrelerine göre yapılmaktadır. Örnek olarak, Düğüm 3 gönderilmesi gereken çok önemli bir pakete sahip olsa da, Düğüm 0-2 tarafından kullanılmakta olan spektrumdan pay alamayacaktır. Bu nedenle [62]'de, VANET'teki her bir düğüm için, olanak tabanlı sıklık kontrol mekanizması uygulanması önerilmiştir. Bu yaklaşımla dağınık bir sistem ile her düğüme, içerdiği ve göndermek istediği paketin önemine göre farklı bir veri oranı atanabilmektedir. Kaynak [62]'de önerilmiş olan ve kendi kendini organize eden bir yaklaşım olan UFB ile, düğümlerin spektrumu kullanamayacak durumda bırakılmalarının önüne geçilerek sistem başarımı arttırılmaya çalışılmıştır. Buna ek olarak düşük olanak değerine sahip paketlerin düşürülmesiyle de sıklık kontrolü sağlanmıştır. Bu sayede sistem yükü belirli bir eşik değerinin altında tutulmaya çalışılmaktadır. [62]'de Standard 1 Mbps veri hızındaki IEEE 802.11 sistemi uygulanmış ve önerilen UFB metodunun özel bir gönderim teknolojisi

gerektirmediği belirtilmiştir. Bu senaryo için Çizelge 6.7’de verilen parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 6.7 Simülasyonda kullanılan trafik parametreleri [62]

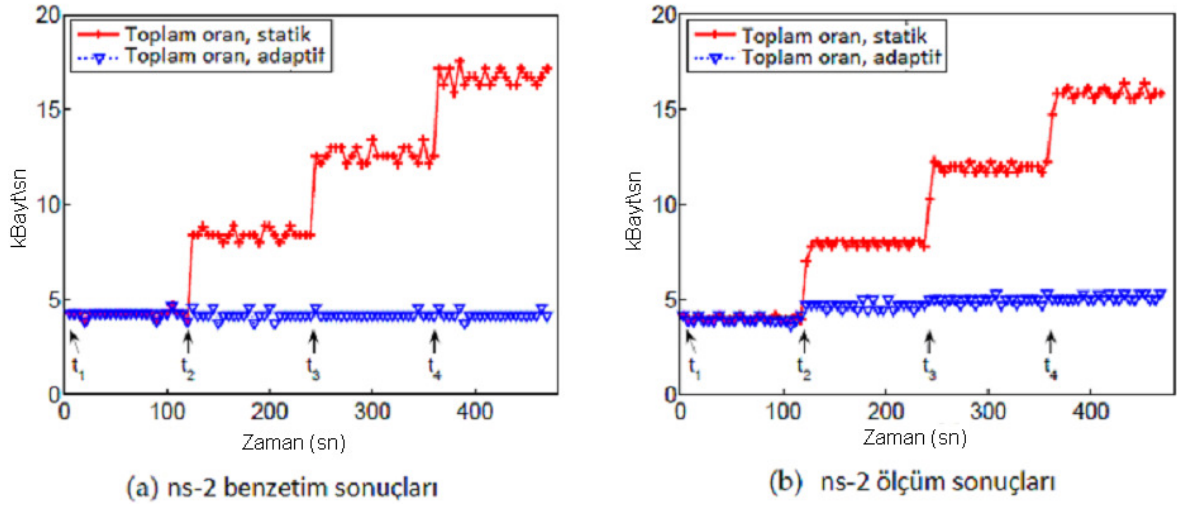
Parametre	Değer
Radyo yayılım modeli	Rasgele
Mac Modeli	IEEE 802.11
Gönderim Menzili (R)	1000 m

Kaynak [62]’de araçsal çevrede yapılan ölçümler, mevcut kablosuz ağ donanımının hiçbir modifikasyon gerektirmeden 1 Mbit/s ile kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Tipik senaryolar, teste sokulmuş ve 4 düğümün içirildiği özel bir senaryo değerlendirilmiştir.

Bu testte, birbirine yakın konumlara yerleştirilmiş olan bu 4 düğümün tamamı başlangıçta kapalıdır. Daha sonra düğümler 120 saniyelik aralıklarla teker teker aktive edilmiştir yani $t_1 = 0$ s anında Düğüm 1 gönderime başlamakta, $t_2 = 120$ s anında Düğüm 2, $t_3 = 240$ s anında Düğüm 3 ve $t_4 = 360$ s anında Düğüm 4 gönderime başlamaktadır.

Şekil 6.27’deki ölçüm sonuçlarının ve simülasyon sonuçlarının elde edilmesinde her ne kadar düğümler hareketsiz olarak ele alınmış olsa da, sistemde dinamik olarak artan bir düğüm sayısı görülmektedir. Etkin çıktı oranı, kaynak [62]’deki çalışmada bir düğüm üzerindeki gönderilen ve alınan veri oranları toplamı olarak ölçülürken, bu tez çalışmasında kayıp paketler de göz önünde bulundurularak sadece başarıyla gönderilen veri oranı olarak ölçülmüştür.

Kıyaslama esnasında da adillik açısından kaynak [62]’de yapılan çalışma için gönderilen ve alınan veri toplamları değil bu çalışmadaki gibi sadece başarılı olarak son hedefine gönderilen (Şekil 6.27’de verilmiş olan toplam veri oranının yarısı alınarak) veri oranları hesaba alınacaktır.



Şekil 6.27 Düğüm başına düşen veri oranı a) simülasyon sonuçları b) ölçüm sonuçları [62].

Model, statik oran ve adaptif oran olmak üzere 2 farklı yapılandırma için ölçülmüştür. Statik yayın aralığında, bu tez çalışmasında olduğu gibi düğümler gönderimlerini statik aralıklarla yapmaktadırlar. Adaptif yayın aralığında ise gönderim aralıkları yayın tekniğine göre adapte olarak ayarlanır.

Kaynak [62]'de UDP yük boyutu hem statik hem de adaptif yapılandırma için 1400 Bayt olarak alınmıştır. Sonuçlar, hem ağ simülasyonu ile hem de deneysel ölçümler ile elde edilmiştir. Bir düğümde gözlemlenen, gönderilen ve alınan toplam veri oranlarının zamana göre grafikleri Şekil 6.27'de verilmiştir.

Şekil 6.27'den, statik gönderim aralığı kullanıldığında, aktif düğüm sayısının artmasıyla birlikte veri oranının da doğrusal olarak arttığı gözlemlenmektedir. Statik yayın aralığı için toplam veri oranı (6.43)'teki gibi hesaplanabilir.

$$DR_{wifi} = Veri_oranı_{wifi_tek_düğüm} \times N \div 2 \times 1024 \times 8 bit \quad (6.43)$$

Bu değer düğüm başına düşen veri oranı değeri olduğundan, toplam veri oranı, elde edilen sonucun düğüm sayısı ile çarpımından bulunmaktadır. Ayrıca, (6.46) ve (6.47)'de "paketi herhangi bir düğümde kaybetme olasılığı" da hesaba katılarak

paket kayıp oranının kaynak [62]'de yapılan çalışmada elde edilen sonuç için de bu çalışmada olduğu gibi hesaba katılması sağlanmıştır.

Statik veri oranı için elde edilecek sonuçlarda, Şekil 6.27'de olduğu gibi, artan düğüm sayısı ile saptanan düğüm başına adil paylaşımli veri oranının da artması beklenmektedir.

Kaynak [62]'de, UFB tekniğinin adil bir spektrum paylaşımına olanak tanınması ve kablosuz ağdaki yükü kontrol edebilmesi üzerinde durulmuş,. 6 düğüm (0 ila 5) ile elde edilmiş olan simülasyon sonuçlarına göre, Çizelge 6.8'de görüldüğü gibi düğüm başına yaklaşık 140 kbps veri oranı ile adil bir spektrum paylaşımı sağlandığı gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. UFB ile rastgele olmayan model için düğümlere dağılan veri oranları simülasyon sonuçları [62].

Düğüm	5	4	3	2	1	0
Olanak	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Veri oranı(kbps)	138	148	135	138	136	138

Bu yolla sonuç olarak, her bir düğüme yaklaşık 140 kb veri oranı düşmüş ve düğümler arası adalet büyük ölçüde sağlanmıştır. Tüm sistemlerin birbirine göre farklılıkları ve bu farklılıkların etkileri göz önüne alınarak bu tez çalışmasında yalın sistem için 6 düğüm ile elde edilmiş olan düğüm başına veri oranının da Çizelge 6.8'deki gibi 138- 140 kbps civarında olması ve bu oranın kaynak [62]'deki gibi artan aktif düğüm sayısına bağlı olarak artması beklenmektedir.

6.8.1.3. MCAF ile düğüm başına veri oranı dağılımının UFB ile kıyaslanması

Bu tez çalışmasında, IEEE 802.16j ağı için gerçekleştirilen çalışma ile 4-24 arası düğüm sayılarıyla elde edilen düğüm başına veri oranları, Şekil 6.19'da, hem yalın ağ, hem de önerilen BM ve SA metotlarının devreye sokulması durumları için verilmiştir. Bu bölümde ise, MCAF için veri oranı saptaması yapılırken, sonuçlar, etkin çıktı oranının yükseltilmesi için önerilmiş olan BM ve SA metotları devreye sokulmadan yalnızca MCAF ve AR metotları ile elde edilmiştir.

Öte yandan, hesaplama katılacak olan IEEE 802.16j ile IEEE 802.11 sistemleri üzerinde yapılmış olan ve kıyaslamaya alınan çalışmaların, kullanılan spektrum paylaşımı, arabellek yönetimi ya da rotalama algoritmalarının farklılığından kaynaklanmadığı halde sistem başarımı sonucunu etkileyecek olan farklılıklar şu şekilde listelenebilir:

Sistem kapasiteleri, IEEE 802.16 için 28512000 bps olarak hesaplanmışken [8, 9, 13, 14, 57, 58], IEEE 802.11 için 1 Mbps alınmıştır [62]. Alt kanalların tam olarak doldurulmamasından kaynaklı olarak bant genişliği kaybının hesaba katılıp katılmaması etkin çıktı oranı üzerinde oldukça etkilidir. Çünkü paketler alt kanala tam olarak sığmadığında alt kanalda artan kısım kullanılmayacak ve o kısımdan etkin çıktı oranı elde edilemeyecektir. Bu kullanılmayan spektrum (bant genişliği kayıp miktarı) MCAF'ta hesaba katılmışken kaynak [62]'de hesaba katılmamıştır. N düğüm ile oluşacak olan bant genişliği kayıp miktarı ($Kayıp_B.G_N$), (6.8)'deki gibi hesaplanmaktadır. Kaynak [62]'deki gibi N=6 için ve bu çalışmada kullanılan parametre değerleri ile elde edilecek sonuç ise (6.44)'te verilmiştir. Hesaplanmış olan bu kayıp bant genişliği, (6.45)'deki şekilde kayıpla birlikte elde edilmiş olan etkin çıktı oranına eklenerek MCAF için kaynak [62]'deki gibi kayıpsız olan etkin çıktı oranı hesaplanmış olur [13,14].

$$\begin{aligned} Kayıp_B.G_6 \text{ Bps} &= (6 \times 594) - (10 \times 36) \times 200 \\ &= 640800 \text{ Bayt/s} \end{aligned} \quad (6.44)$$

$$THR_{B.G_kayıpsız} \text{ bit}(N) = \frac{((THR_{Kayıp_ile}(\text{Byte}) + Kayıp_B.G_N(\text{Bayt})) \times 8 \times AHC)}{N} \quad (6.45)$$

Bir diğer faktör ise, bu çalışmada hesaba katılmış olup, teorik ve benzetim sonuçları ile sonuçları doğrulanan, ancak kaynak [62]'deki çalışmada hesaba katılmamış olan, kayıp paket oranıdır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilmiş olan kayıp paket oranının, UFB'de olduğu gibi yok sayılması amacıyla, $P_{kayıp}$ (6.23)'teki şeklinde hesaplanır. Burada geçen $P_{kayıp}(n)$ parametresi ise yine (6.22) kullanılarak hesaplanır.

$$Veri_oranu_{wif\ddot{i}}(N) = \frac{Veri_oranu_{wimax}}{\left(\frac{KAPAS\ddot{I}TE_{wimax}}{KAPAS\ddot{I}TE_{wif\ddot{i}}} \times \frac{\frac{AR_{wimax_B.G_kayps\ddot{z}} \times 8}{KAPAS\ddot{I}TE_{wimax}}}{(Veri_oranu_{wif\ddot{i}_tek} \times N) \times (1 - P_{kaybolma}) / 2 \times N \text{ kB}} \right)} \text{ Bps} \quad (6.46)$$

$$Veri_oranu_{wif\ddot{i}}(N) = \frac{Veri_oranu_{wimax}}{1024} \times \left(\frac{KAPAS\ddot{I}TE_{wimax}}{KAPAS\ddot{I}TE_{wif\ddot{i}}} \right) \times \left\{ (Veri_oranu_{wif\ddot{i}_tek} \times N) \times \left[1 - \frac{1}{(N-1)} \left(\sum_{n=1}^{N-1} \frac{2 \times (n)}{N \times (N+1)} \right) \right] / 2 \times 1024 \times 8 \times N \text{ bits} \right\} \text{ kbps} \quad (6.47)$$

Elde edilen tüm parametre değerleri, UFB algoritması için düğüm başına veri oranı (6.46) ve (6.47)'de uygulanarak (6.48)'deki şekilde elde edilir. Burada IEEE 802.11 ve IEEE 802.16 sistemlerinde gerçekleştirilen çalışmaların koşulları; Sistem toplam kapasite farklılıkları, bant genişliği ziyan miktarları ve Paket kayıpları açısından denkleştirilmiştir. Verilen parametre değerlerinin uygulanmasıyla (6.48)'de görüldüğü gibi N=6 için düğüm başına veri oranı (THR_{WIFI}(6)) MCAF ile de 143.3 kbps olarak elde edilmiştir. Bu değer UFB ile elde edilen 140 kbps değerine oldukça yakın bir değerdir. Bu yolla, MCAF ile UFB'de olduğu gibi adil veri oranı dağılımının da sağlandığı gösterilmiştir.

$$Thr_{wif\ddot{i}}(6) = \frac{7383049 \text{ bps}}{1024} \times \left(\frac{28512000 \text{ bps}}{1024 \times 1024 \text{ bps}} \times \frac{\frac{(2613600 \text{ Bps} + (640800 + 9900) \text{ Bayt}) \times 8}{28512000 \text{ bps}}}{\frac{4 \times 6 \times (1 - 0.1429) / 2 \times 1024 \times 8 \times 6 \text{ bits}}{1024 \times 1024 \text{ bps}}} \right) \quad (6.48)$$

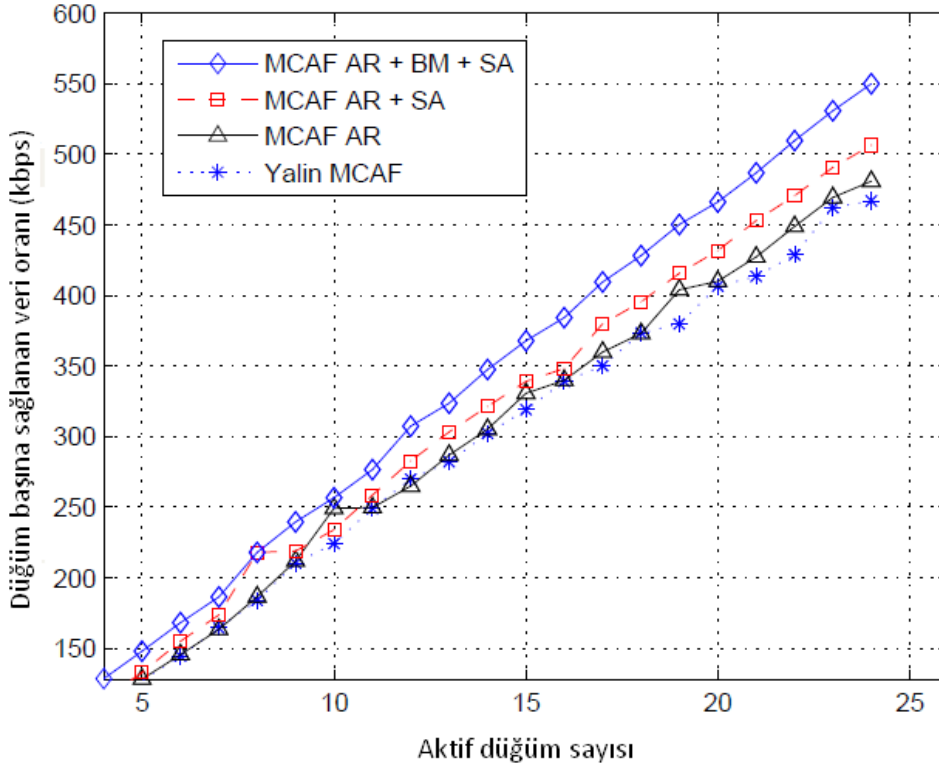
$$= 143.3 \text{ kbps}$$

Buna göre, tüm düğümler yaklaşık 143 kbps veri dağılımına sahip olacağından, MCAF ile Çizelge 6.9 elde edilecektir.

Çizelge 6.9. MCAF ile düğümlere dağılan veri oranı sonuçları

Düğüm	5	4	3	2	1	0
Veri oranı(kbps)	143	143	143	143	143	143

Bu adillik, MCAF metodu ile, arabelleği sıkışıklık yaşayan her düğüme spektrum erişimi için eşit hak verilmesi ve AR metodu ile düğümlere sadece kendi paylarına düşecek kadar veri üretimi ve gönderimi izni verilmesi (Bkz. (6.10)) ile sağlanmıştır. AR ile bir düğümün paket kaybına uğraması durumunda, sadece paketini kaybeden düğüm değil, ağdaki tüm düğümlerin belirlenen yeni gönderim oranı ile gönderim yapması adilliği çok daha iyi boyutlara taşımıştır.



Şekil 6.28 4-24 arası farklı düğüm sayıları için elde edilen düğüm başına adil dağılımlı veri oranı miktarı

Simülasyon ve hesaplama sonuçları ile N=4 ila N=24 için elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.28'de verilmiştir. Kaynak [62]'de yalnızca 6 düğüm için elde edilmiş olan sonuçlar bu çalışma ile 4-24 arası farklı düğüm sayıları için de belirlenmiştir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak alt kanal sayısı, kod oranı, kullanılan modülasyon tipi gibi parametrelerin sistem etkin çıktı oranı üzerindeki etkilerinin analizi yapılmış, etkin çıktı oranını en çok etkileyen faktörlerin alt kanal sayısı ve kullanılan modülasyon tipi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, kullanılan modülasyon tipinin, farklı kod oranı değerleri için pozitif yönde, ancak giderek azalan bir etkisi olduğu saptanmıştır.

Geliştirilen ayrı bir simülasyon programı ile, IEEE 802.16 ağlarında, servis sağlayıcı kapasitesi, paket boyutu, kablosuz ağ kapasitesi, baz istasyonu menzili, baz istasyonu gecikmesi, uzaklık ve MTU gibi parametrelerinin paket toplam gecikmesi üzerindeki etkileri, incelenmiştir. WIMAX üzerinden ses iletişimi için, uçtan uca toplam gecikme üzerinde en güçlü etkiye sahip parametrelerin; paket boyutu, iletişimde kullanılacak baz istasyonu sayısını belirleyen baz istasyonu menzili ve her bir baz istasyonunda oluşan paket işleme gecikmesi olduğu saptanmıştır. MTU değerinin artırılması ise, paketlerin anahtarlarda birbirleriyle girdikleri mücadelelerde daha büyük paketlerin beklenecek olmasından kaynaklı olarak gecikmeye hafif bir artış vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kablosuz ortam, omurga ağ ya da servis sağlayıcılar için belirli eşik değerini geçen hat hızları her zaman gerekli değildir. Çünkü sözü geçen bu hat hızlarının belirlenmiş olan bir değerden sonra arttırılmasıyla elde edilen gecikme miktarının, yine sabit bir şekilde seyrettiği görülmüştür. Öte yandan sistemimizde ses paketleri için 64 Bayt gibi çok küçük boyutlarda ses paketleri kullanıldığından, toplam gecikme miktarı çok düşük iletim hızlarında bile artmamaktadır.

Çalışmada geliştirilen, anahtarlama algoritmaları simülasyon programlarıyla, ağdaki paketlerin rotalarının belirlenmesi için bilinen anahtar seçim algoritmaları; (en kısa yol seçimi, minmaks yol seçimi, kaynağa yakın anahtarın seçimi, yol kaybına göre yapılan seçim ve güç eşğine göre yapılan seçim) analiz edilmiş, simülasyon sonuçlarıyla, yol kaybına göre yapılan rota seçimlerinin en çok, güç eşğine göre yapılan rota seçimiyle örtüştüğü saptanmıştır. Bu nedenle, en az yol kaybı için rota seçiminin, düğüm pozisyonlarına göre değil, güç eşğine göre yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, asıl amacı uzun ömürlü rotalar sağlamak olan ABR algoritmasıyla diğer tüm anahtar seçim algoritmalarından daha az yeniden rota yapılandırma sayısı ile çok daha uzun

ömürlü rotalar seçildiği gösterilmiştir. Simülasyonlar sonucunda, anahtar seçim algoritmaları içinde en az sayıda yeniden rota yapılandırma sayısına en kısa toplam uzaklığa göre yapılan seçimlerin sahip olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, “uzun ömürlü rotalama algoritması” olarak bilinen ABR, “güç eşiğine göre rota seçim” mantığını temel alır bir şekilde geliştirilmiş ve yeni rotalama algoritmaları önerilmiştir. Önerilen Erişebilirlik Tabanlı Rotalama Alternatif Geliştirimi (AEABR) algoritmasının hem bağlantı dışı kalma süreleri bakımından, hem de rota ömrü bakımından ABR algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiği, önerilen diğer bir rotalama algoritması olan Erişebilirlik Tiki Ortalamalı Erişebilirlik Tabanlı Rotalama (ATAABR) algoritmasının ise bağlantı dışı kalma süresi bakımından ABR’den daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Çalışmada diğer bir taraftan, etkin çıktı oranının artırımı için önerilen yeni bilişsel metotlar ile, düğümlerde çevreyi gözleme, 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, düğümlerden hangisinin arabelleğinin en dolu olduğunu ve hangi düğümün paketlerini kaybetmemek için arabelleğini bir an önce boşaltması gerektiğini saptayarak, spektrum erişim hakkını o çerçeve süresi boyunca en dolu ara belleğe sahip olan bu düğüme atamakla yükümlüdür. AR, arabellek doluluk durumuna ve paket kayıp oranına göre paket üretim ve gönderim oranını ayarlamakla, BM, düğümlerin arabelleklerinde bulunan paketlerin organizasyonlarını sağlama ve bu paketlerden, öncelikle, arabelleği sıkışıklık yaşamayan ve paket alımına müsait olan düğümlere ait paketlerin gönderimini sağlamakla yükümlüdür. 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.

Paket iletimi sırasında, kullanılan alt kanalların bir kısmının doldurulamayarak, bant genişliğinin ziyan edilmesinin önüne geçmek için, ses, veri ve video paket boyutları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca paketlerin hem kaybolmamaları, hem de arabelleklerde gereğinden fazla bekletilmemeleri için gerekli olan en iyi arabellek boyutları da hesaplanarak, hesaplanan boyutlardaki paketlerin ve arabelleklerin etkin çıktı oranında sağladığı iyileştirmeler gösterilmiştir.

Bu metotların uygulanmasıyla, mevcut IEEE 802.16j ağında, paket kayıp oranının düşürüldüğü ve etkin çıktı oranının %36'ya varan oranlarda artırıldığı, diğer çalışmaların kaynaklarda elde edilen sonuçlarıyla, bu çalışmada elde edilen simülasyon sonuçlarıyla ve teorik sonuçlarla kıyaslanarak 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, yeni önerilmiş olan AEABR ve ATAABR uzun ömürlü rotalama algoritmalarının, etkin çıktı oranı yükseltimi için önerilen metotlar üzerinde farklı araç hızları için sağladıkları etkiler, simülasyonları gerçekleştirilerek, ABR, Karınca Kolonisi algoritması ve En Hızlı Yol Bulma algoritması gibi bilinen diğer rotalama algoritmaları ile aynı şartlar altında kıyaslanmıştır. Önerilen yeni rotalama algoritmalarının, etkin çıktı oranının yükseltimi için önerilen, MCAF, Spektrumsal Yardımlaşma ve Arabellek Yönetimi metotları ile birlikte kullanıldıklarında, etkin çıktı oranında; ABR, En Hızlı Yol Bulma ve Karınca Kolonisi rotalama algoritmalarına göre daha fazla artırım sağladığı gösterilmiştir.

Geliştirilmiş olan uzun ömürlü rotalama algoritmalarından ATAABR, ABR'ye göre bir mesajlaşma ek yükü getirmezken, AEABR tablolara eklenen yeni alanlar nedeniyle bir mesajlaşma ek yüküne neden olmaktadır. AEABR'nin neden olduğu bu mesajlaşma ek yükünün etkin çıktı oranında bir düşüşe neden olup olmayacağını, bir düşüşe neden olacaksa bu düşüşün ne kadar olacağını sonraki çalışmalarda incelenmesi gerekir.

İleriki çalışmalarda ayrıca, hareket halindeki düğümlerin 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, MCAF metodunun, etkin çıktı oranı üzerindeki pozitif etkisini, artan düğüm sayısı ile birlikte yine aynı oranda sürdürmesinin sağlanması üzerinde durulabilir. 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 bakılıp, 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.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Mitola III, J. and Maguire, G., 1999, Cognitive radio: Making software radios more personal, IEEE Personal Communications, vol.6, no.4, 13-18.
- [2] 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.
- [3] Xu, H. and Li, B., 2010, Efficient resource allocation with flexible channel cooperation in OFDMA CR Networks, INFOCOM, IEEE, March 2010, San Diego, USA, p.1-9.
- [4] Srinivasa, S. and Jafar, S.A., 2006, The throughput potential of CR: A theoretical perspective, ACSSC, IEEE, October 2006, Pacific Grove, CA, p.221-225.
- [5] Genc, V., Murphy, S. and Murphy, J., 2008, Performance analysis of transparent relays in 802.16j MMR networks, WIOPT, IEEE, April 2008, Berlin, Germany, p.273-281.
- [6] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Digital Object Identifier : 10.1109/IEEESTD.2004.226664, 857p.
- [7] University of Arizona, 2009, Spectrum Sharing with Adaptive Power Management for Throughput Enhancement in Dynamic Access Networks, Technical Reports Series No. TR-UA-ECE-2009-1, Tucson, 26p.
- [8] KUMAR, A., 2008, Mobile broadcasting with WIMAX, Elsevier Inc., USA, 596p.
- [9] Gray, D., 2006, Mobile WIMAX-part I: A technical overview and performance evaluation, WIMAX Forum. http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf.
- [10] Gray, D., 2006, Mobile WIMAX–Part II: A comparative analysis, WIMAX Forum. http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part2_Comparative_Analysis.pdf.
- [11] 802.16j, 2009, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 1: Multiple Relay Specification, Digital Object Identifier: 10.1109/IEEESTD.2009.5167148, 290p.
- [12] 802.16e, 2005, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1, Digital Object Identifier: 10.1109/IEEESTD.2006.99107, 822p.

- [13] Preveze, B. and Şafak, A., 2010, Throughput maximization of different signal shapes working on 802.16e mobile multi-hop network using novel cognitive methods, WIMO, Springer, June 2010, Ankara, Turkey, p.71-86.
- [14] Preveze, B. and Şafak, A., 2010, Throughput improvement of mobile multi-hop wireless networks, International Journal of Wireless & Mobile Networks, vol.2, no.3, 120-140.
- [15] Girici, T., 2009, Asymptotic throughput analysis of multicast transmission schemes, International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), vol.63, no.10, 901-905.
- [16] Song, G. and Li, Y., 2006, Asymptotic throughput analysis for channel-aware scheduling, IEEE Trans. Commun., vol.54, no.10, 1827-1834.
- [17] Mach, P. and Bestak, R., 2008, WiMAX throughput evaluation of conventional relaying, Telecommunication Systems Journal, vol.38, no.1-2, 11-17.
- [18] Sivajothi, M. and Naganathan, E.R., 2008, An ant-colony based routing protocol to support multimedia communication in ad-hoc wireless networks, International Journal of Computer Science and Network Security, vol.8, no.7, 21-28.
- [19] Yi, X. and Wanye, W., 2008, Finding the fastest path in wireless networks, ICC, IEEE, May 2008, Beijing, China, p.3188-3192.
- [20] Toh, C., 1997, Associativity based routing for ad hoc mobile networks, Wireless Personal Communications, vol.4, no.2, 103-139.
- [21] Preveze, B. and Şafak, A., 2009, Alternative enhancement of associativity based routing (AEABR) for mobile networks, MONAMI, Springer, October 2009, Athens, Greece, p.67-77.
- [22] Preveze, B. and Şafak, A., 2009, Associativity tick averaged associativity based routing (ATAABR) for real time mobile networks, ELECO, IEEE, November 2009, Bursa, Turkey, p.II-208- II-212.
- [23] Frank, H.P.F. and KATZ, M. D., 2006, Cooperation in wireless networks: principles and applications, Springer, Netherlands, 639p.
- [24] Maier A. and Thompson J., 2005, Cooperative diversity in wireless networks., International Conference on 3G and Beyond (3G2005), IEE, November 2005, London, UK, p.35-39.
- [25] Thomas, C. R. W., 2007, Cognitive networks, Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 199p.
- [26] Safak, A. ve Preveze, B., 2008, WIMAX sisteminin throughput başarımının analizi, ELECO, IEEE, Kasım 2008, Bursa, Türkiye, Poster Sunumu.
- [27] Sarı, H., 2007, Broadband wireless access: technical challenges, standards and technologies, Mobile WIMAX Symposium, IEEE, March 2007, London, UK, p.1-38.

- [28] Sengupta, S., Chatterjee, M. and Ganguly, S., 2008, Improving quality of VoIP streams over WIMAX, IEEE Trans. Computers, vol.57, no.2, 145-156.
- [29] Şafak, A. and Preveze, B., 2008, Analysis of delay factors for voice over WIMAX, ISCIS, IEEE, October 2008, Istanbul, Turkey, p.1-6.
- [30] Cicconetti, C., Lenzini, L., Mingozzi, E., and Eklund C., 2006, Quality of service support in IEEE 802.16 networks, IEEE Network, vol.20, no.2, 50-55.
- [31] Hoskote Y., Erraguntla V., Ruhl G., Tschanz J., Wilson H. and Xu J., 2003, A TCP offload accelerator for 10 Gb/s ethernet in 90-nm CMOS, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 38, no. 11. 1866-1875.
- [32] Shu'aibu D.S and Shed-Yusof S.K, 2008, A cross layer approach for packet scheduling at downlink of WIMAX IEEE802.16e, European Journal Of Scientific Research, vol.45, no.4, 529-539.
- [33] Hunt J., 2010, Think Broadband, How fast is your broadband router? <http://www.thinkbroadband.com/news/4144-how-fast-is-your-broadband-router.html>
- [34] Reviriego P., Sanchez Machin A., Maestro J.A. and Blealdehy C.J., 2010, Increasing the MTU size for Energy Efficiency in Ethernet, ISSC, IEEE, June 2010, Cork, Ireland, p.124-128.
- [35] Ball C. F., Humburg E., Ivanov K. and Tremel F., 2005, Comparison of IEEE802.16 WIMAX Scenarios with Fixed and Mobile Subscribers in Tight Reuse, IST SUMMIT, June 2005, Dresden, Germany, p.12-17.
- [36] Chang X., Liu J., Lu J., Rong Z. and Dong X., 2007, System evaluation methodology for VoIP service, Project Report, China, 6p.
- [37] Jerry D. G., 2001, Multimedia communications: directions and innovations, Academic Press, London, UK, 298s.
- [38] Preveze, B., 2001, Simulation on efficiency of IP protocol in networks, Ms. Thesis, Çankaya University, Institute of Science and Engineering,, Ankara, 53.p.
- [39] Prego, T. M. and Netto, S. L., 2009, Efficient search in the adaptive code book for ITU-T G.729 codec, IEEE Signal Processing Letters, vol.16, no.10, 881-884.
- [40] Preveze, B. and Eyyüboğlu, H. T., 2004, A simulated analysis of delay factors for VoIP, International Conference on Intelligent Knowledge Systems, IKS, International IKS Society, August 2004, Çanakkale, Turkey, p.1-8.
- [41] Mehta, P. C. and Udani, S., 2001, Overview of Voice over IP, Technical Reports Series No. MS-CIS-01-3, University of Pennsylvania, 36p.
- [42] 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, vol.7, no.6, 160-164.

- [43] Shalangwa, D. A. and Jerome, G., 2010, Path Loss Propagation Model for Gombi Town Adamawa State Nigeria, *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol.10, no.6, 186-190.
- [44] Sreng, V., Yanıkömeroğlu, H. and Falconer, D., 2003, Relayer Selection Strategies in Cellular Networks with Peer-to-Peer Relaying, *VTEC*, IEEE, June 2003, Florida, USA, p.1949-1953.
- [45] Woo, S. and Singh, C.M, 2000, Longest Life Routing Protocol (LLRP) for Ad Hoc Networks with Highly Mobile Nodes, *WCNC*, IEEE, September 2000, Chicago, USA, p.1306-1310.
- [46] Said, A. S., Fawaz, Masoud A. M., Ayman, M., Riyad, A. and GHASSAN, K., 2006, Analysis of enhanced associativity based routing protocol, *Journal of Computer Science*, vol.2, no.12, 853-858.
- [47] Perkins, C.E. and Bhagwat, P., 1994, Highly dynamic destination-sequenced distance vector (DSDV) for mobile computers, *Sigcomm*, ACM, August 1994, London, UK, p.234-244.
- [48] Banerjee, S. and Misra, A., 2002, Minimum energy paths for reliable communication in multi-hop wireless networks, *MobiHoc*, ACM, June 2002, Laussane, Switzerland, p.146-156.
- [49] Miller, J., 2009, Fastest path analysis in a vehicle to infrastructure intelligent transportation system architecture, *Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, June 2009, Xi'an, China, p.1125-1130.
- [50] Royer, E. M., Melliar-Smith, P. M. and Moser, L. E., 2001, An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks, *ICC*, IEEE, June 2001, Helsinki, Finland, p.857-861.
- [51] Sanda, M. and Araki T., 2009, Development of prototype WIMAX base station, *SEI Technical Review*, Series No. 68, Georgia, 6p.
- [52] Preveze, B. ve Şafak, A., 2010, Bilişsel ağlarda maksimum yol hızı ve minimum güç tüketiminin düğüm sayısına göre analizi, *MTS3*, Çankaya Üniversitesi, May 2010, Ankara, Türkiye, s.77-86.
- [53] Kesintürk, T. ve Söyler, H., 2006, Global karınca kolonisi optimizasyonu, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, cilt.21, no.4, s.689-698.
- [54] Preveze and B., Şafak, A., 2010, Comparison of ant colony and fastest path algorithms for fixed and variable number of nodes in multi-hop networks, *SIU*, IEEE, April 2010, Diyarbakır, Turkey, p.535-537.
- [55] Preveze, B. and Şafak, A., 2010, Comparative analysis of novel long life routing methods in mobile networks, *PIMRC*, IEEE, September 2010, İstanbul, Turkey, p.1596-1602.
- [56] Lee K., Jung B. C., Rhee I., Chong S. and Sung D. K., 2008, Revisiting the transmission range model in mobile networks based on IEEE 802.11a/g. *Technical Report*, Korea, 3p.

- [57] Preveze, B. and Şafak, A., 2011, Effects of long life routing algorithms on WIMAX system throughput, AEU International Journal of Electronics and Communications, (submitted to).
- [58] 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).
- [59] Preveze, B. and Şafak, A., 2010, Effects of ant colony and fastest path routing algorithms on performance improvement of novel cognitive methods, ICWMC, IEEE, September 2010, Valencia, Spain, p.478-483.
- [60] Preveze, B. and Şafak, A., 2010, Yeni Etkin Çıktı Oranı Yükseltme Metotlarının Güç Tüketimi. ELECO 2010 bildiriler kitabı. Bursa, 1-4 Aralık 2010. [CD_ROM]. IEEE, Bursa.
- [61] Iannone, L. and Fdida, S., 2006, Can multi_rate radios reduce end to end delay in mesh network? A simulation case study, MobiHoc, ACM, May 2006, Florence, Italy, p.15-22.
- [62] Wischhof, L., 2007, Self-organizing communication in vehicular ad hoc networks, Ph.D. Thesis, Hamburg Technical University, Aachen, Germany, 225p.

Ek-1 Türkçe – İngilizce Terimler Sözlüğü

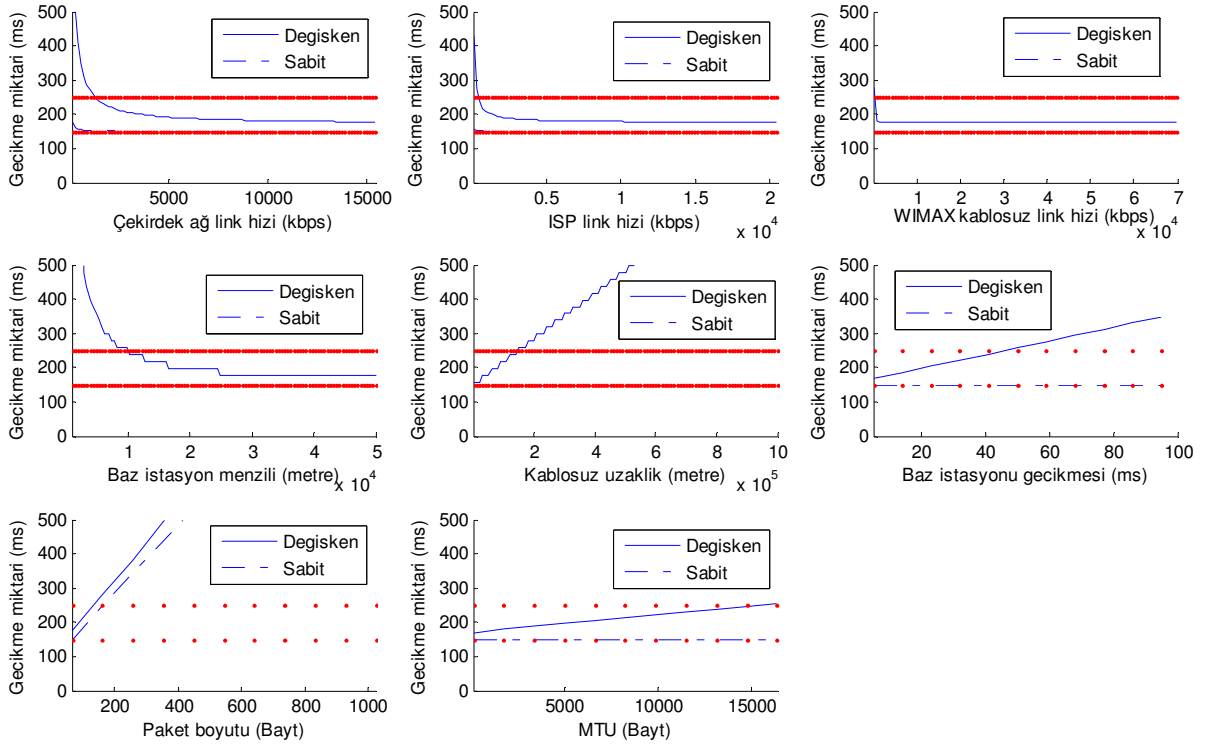
TÜRKÇE	English
Adaptif oran	Adaptive rate
Adil olanak dağılımı	Utility fair bradcating
Alıcı	Receiver, destinaton
Anlık-plansız	Ad- Hoc
Arabellek yönetimi	Buffer management
Atanabilir minimum birim	Minimum allocatable unit
Başlık	Header
Benzetim	Simulation, simülasyon
Bit hata oranı	Bit error rate
Boş	Null
Boş alt taşıyıcı	Null subcarrier
Bölme	Slot
Çözümle ve ilet	Decode and forward
Darbe kodu modülasyonu	Pulse code modulation
Delta yükseltim algoritması	Delta improvement algorithm
Dik frekans bölmeli çoklama	Orthogonal frequency division multiplexing
Dik frekans bölmeli çoklu erişim	Orthogonal frequency division multiple access
Döngü eklemi	Cycling prefix
Döngü tekrar kontrolü	Cycling redundancy check
Dörtlü genlik modülasyonu	Qauadrative amplitude modulation
En çok sıkışan ilk erişir	Most congested access first
En uzun ömürlü rotalama protokolü	Longest life routing protocol
Erişebilirlik tabanlı rotalama	Associativity based routing
Erişebilirlik tabanlı rotalama alternatif geliştirmesi	Alternative enhancement for associativity based routing
Erişebilirlik tiki	Associativity tick
Erişebilirlik tiki ortalamalı erişebilirlik tabanlı rotalama	Associativity tick averaged associativity based routing
Eşit dağılım	Uniform distribution

Eşit oranlı birleştirme	Equal ratio combining
Etkin çıktı oranı	Throughput
Geliştirilmiş erişebilirlik tabanlı rotalama	Enhanced associativity based routing
Gerçek zaman protokolü	Real time protokol
Gönderim için temiz sinyali	Clear to send
Gönderim isteğinde bulunma	Request to send
Görüş çizgisi	Line of sight
Gözlemle	Observe
Hızlı fourier çevrimi	Fast fourier transform
Hücre çapı	Diameter of cell
İndirme etkin çıktı oranı	Downlink throughput
İnternet servis sağlayıcı	Internet service provider
İleri yönlü düzeltme	Forward error correction
İndirme	Downlink
Kablosuz bağlılık	Wireless fidelity access (wi-fi)
Kara ver	Decide
Karınca kolonisi algoritması	Ant colony algorithm
Katlanmalı turbo kod	Convolutional turbo code
Kısmi kullanımlı alt taşıyıcı	Partially used subcarriers
Kodlayıcı	Codec
Kontrol toplamı	Check sum
Kullanıcı veri bloğu protokolü	User datagram protocol
Mikrodalga erişimi için küresel çalışabilirlik	Worldwide interoperability for microwave access (wimax)
OFDMA çerçeve boyutu	Frame length
Ortalama fikir derecesi	Mean opinion score
Ortalama paket boyutu	Average packet length
Ortalama sekme sayısı	Average hop count
Ölçeklenebilir OFDMA	Scalable ofdma
Plansız araçsal ağlar	Vehicular ad-hoc networks
Sabit oranlı birleştirme	Fixed ratio combining
Sembol başına bit sayısı	Bits per symbol
Sembol karışımı	Intersymbol interference

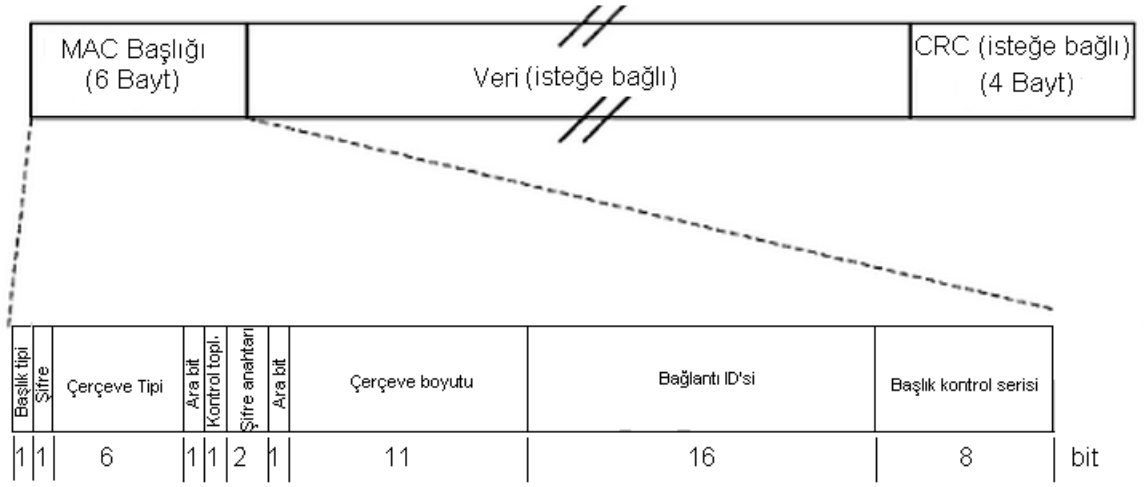
Serbest uzay yol kaybı	Free space path loss
Servis kalitesi	Quality of service
Sinyal gürültü oranı	Signal to noise ratio
Sinyal gürültü oranına göre birleştirme	Signal to noise ratio combining
Tam kullanımlı alt taşıyıcı	Fully used sub carrier
Taşıyıcı dinleyen çoklu erişim	Carrier sence multiple access
Transfer edilebilir maksimum birim	Maksimum transferrable unit
Uygulama programı ara yüzü	Application program interface
Varsayılan	Default
Veri kuyruk gecikmesi	Data queuing delay
WIMAX üzerinden ses gönderimi	Voice over wimax
Yap	Act
Yayılm gecikmesi	Propogation delay
Yönet	Orient
Yükleme	Uplink
Yükleme etkin çıktı oranı	Uplink throughput
Yükselt ve ilet	Amplify and forward

Ek-2 Uygun parametre değerleri ile elde edilmiş gecikme analizi simülasyonu sonuçları

Baz istasyonu menzili varsayılan değeri 10 km yerine 30 km, kablosuz uzaklık varsayılan değeri ise 149 km yerine 50 km alınıp diğer parametre değerleri değiştirilmeden bırakılarak elde edilen gecikme analizi simülasyonu sonuçları aşağıda verildiği gibidir.



EK-3 IEEE 802.16 ağında kullanılan paket yapısı ve MAC başlık yapısı [6]



IEEE 802.16 ağında kullanılan paket yapısı, yukarıda görüldüğü gibidir.