

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TDMA TABANLI KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ ORTAM
ERİŞİM KONTROL PROTOKOLLERİ İÇİN GENEL BİR
ANALİTİK VE BENZETİM MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alper KARAHAN

Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Danışman: Prof. Dr. İsmail ERTÜRK

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TDMA TABANLI KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ ORTAM
ERİŞİM KONTROL PROTOKOLLERİ İÇİN GENEL BİR
ANALİTİK VE BENZETİM MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alper KARAHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Haziran 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 01 Temmuz 2010

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İsmail ERTÜRK

(.....)

Üye

Doç. Dr. Celal ÇEKEN

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Turan ÖZCERİT

(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda bilginin kaynaklarının giderek artmasıyla verilerin toplanması, analiz edilmesi ve saklanması büyük önem kazanmıştır. Teknolojinin gelişmesi, yeni kablosuz iletişim yöntemlerinin kullanıma girmesi ve elektronik cihazların küçülmesi, Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) yapılarının da gelişimini hızlandırmıştır. Bu uygulamalarda kablosuz, küçük boyutlu ve enerji bağımlı düğümlerin kullanılması, çeşitli ön değerlendirme koşullarını da beraberinde getirmiştir. Ağların uygulama alanları arttıkça, tasarım aşamasında aksaklıkların öngörülmesi ve çözüm yollarının aranması büyük önem arz etmeye başlamıştır.

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli birikimlerini benimle paylaşan, tezimin her aşamasında sorunlarımı dinleyerek, çalışmalarına yön veren ve yoğun akademik yaşamında değerli zamanını her türlü problemimi çözmeye ayıran tez danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. İsmail ERTÜRK'e; akademik hayata başladığımdan bu yana tüm çalışmalarında ve tezimin yazımında bilgilerini ve zamanını paylaşan, hocam sayın Yard. Doç. Dr. Sedat ATMACA'ya, üniversite yıllarımdan bu yana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman aradığımda yanımda bulduğum değerli dostlarım Süleyman ÇAKICI ve Ergin ERYILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan anneme, babama ve bana her konuda katlanarak çalışmalarında manevi desteğini eksik etmeyen değerli eşim Zübeyde'ye saygı, sevgi ve sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER	vi
ÖZET	viii
İNGİLİZCE ÖZET	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Başlatılma Sebepleri.....	3
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları	4
1.4. Tez Düzeni.....	5
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YAPILARI	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. KAA'ların Özellikleri ve Gelişimi.....	6
2.3. KAA Protokol Mimarisi ve OEK Analitik ve Benzetim Modelleri Oluşturmada Önemi	8
2.3.1. Fiziksel katman	8
2.3.2. Veri bağı katmanı.....	8
2.3.3. Ağ katmanı.....	9
2.3.4. Ulaşım katmanı	9
2.3.5. Uygulama katmanı	10
2.4. KAA OEK Protokollerinin Sınıflandırılması	10
2.4.1. Çekişme tabanlı OEK protokolleri.....	10
2.4.2. Zamanlama tabanlı OEK protokolleri	11
2.4.3. Melez yapıli OEK protokolleri	12
2.5. Sonuç	12
3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ MODELLEMESİ.....	13
3.1. Giriş.....	13
3.2. Haberleşme Ağları Modelleme Yöntemleri	13
3.3. KAA OEK Benzetim Modeli.....	15
3.3.1. OPNET Modeler benzetim programı	15
3.3.2. OPNET Modeler ile TDMA tabanlı OEK modeli oluşturulması	18
3.4. KAA OEK Analitik Modeli.....	21
3.4.1. TDMA tabanlı OEK protokolü için gecikme analizi	22
3.4.1.1. Kuyruk modelleri	22
3.4.1.2. TDMA tabanlı OEK sistemlerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi	26
3.4.1.3. TDMA tabanlı OEK sistemlerinin uçtan uca paket gecikmelerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi	34
3.4.2. TDMA tabanlı OEK protokolü için kanal kullanım analizi	35
3.4.3. TDMA tabanlı OEK protokolü için enerji tüketimi analizi.....	36
3.5. Sonuç	39

4. ÖRNEK BİR MODELLEME VE BAŞARIM DEĞERLENDİRİLMESİNİN TDMA TABANLI KAA OEK PROTOKOLÜ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	40
4.1. Giriş	40
4.2. TDMA Tabanlı OEK OPNET Benzetim Modeli	40
4.2.1. Merkezi düğüm düğüm modeli	42
4.2.1.1. Merkezi düğüm süreç modeli ve algoritması	44
4.2.2. Algılayıcı düğüm düğüm modeli	45
4.2.2.1. Algılayıcı düğüm süreç modeli ve algoritması	46
4.2.3. Benzetim Sonuçları	49
4.2.3.1. Düğüm enerji tüketimi	49
4.2.3.2. Gecikme	50
4.2.3.3. Kanal kullanım oranı	52
4.3. TDMA Tabanlı OEK Analitik Modeli	53
4.3.1. Analitik Sonuçlar	54
4.3.1.1. Düğüm enerji tüketimi	54
4.3.1.2. Gecikme	55
4.3.1.3. Kanal kullanım oranı	56
4.4. Benzetim ve Analitik Model Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Geçerlik Değerlendirmesinde Kullanımı	57
4.4.1. Düğüm enerji tüketim değerlendirme	57
4.4.2. Gecikme değerlendirme	58
4.4.3. Kanal kullanım oranı değerlendirme	59
4.5. Sonuç	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	64
EKLER	68
KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER	74
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Örnek bir kablosuz algılayıcı düğüm	7
Şekil 2.2: Algılayıcı ağların uygulama alanları.....	7
Şekil 3.1: OPNET Modeller hiyerarşik yapısı.....	16
Şekil 3.2: Nesnelere; a)Alt Ağ, b)Düğüm, c)Bağlayıcı	16
Şekil 3.3: Düğüm modülleri; a)İşlemci b)Kuyruk c)Alıcı–Verici d)Bağlantı Hattı...	17
Şekil 3.4: İşlem editörü durum makineleri.....	17
Şekil 3.5: OPNET Modeller yazılımının “proje editörü”nde topolojinin belirlenmesi	19
Şekil 3.6: OPNET Modeller yazılımında “düğüm modeli” görünümü.....	19
Şekil 3.7: OPNET Modeller benzetim programında “süreç modeli” görüntüsü.....	20
Şekil 3.8: Durum makinesinin programlanması.....	21
Şekil 3.9: Kuyruk sisteminin parametreleri ile gösterimi	24
Şekil 3.10: M/G/1 Gömülü Markov Zincirinin durum geçiş diyagramı.	30
Şekil 4.1: Temel TDMA OEK proje görünümü	41
Şekil 4.2: Temel TDMA OEK benzetiminde kullanılan paket yapıları: a) Veri paketi b) Zaman dilimi istek paketi c) Zaman dilimi cevap paketi	41
Şekil 4.3: Merkezi düğüm düğüm modeli.....	43
Şekil 4.4: Merkezi düğüm süreç modeli	44
Şekil 4.5: Merkezi düğüm süreç modeli algoritması	45
Şekil 4.6: Algılayıcı düğüm düğüm modeli	46
Şekil 4.7: Algılayıcı düğüm süreç modeli.....	48
Şekil 4.8: Algılayıcı düğüm süreç modeli akış diyagramı	48
Şekil 4.9: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi benzetim sonuçları	50
Şekil 4.10: Bir KAA düğümü için paket ortalama uçtan uca gecikme benzetim sonuçları	52
Şekil 4.11: KAA merkezi düğümü için kablosuz kanal kullanım oranı benzetim sonuçları	53
Şekil 4.12: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi analitik sonuçları	55
Şekil 4.13: Bir KAA düğümü için paket ortalama uçtan uca gecikme analitik sonuçları	56
Şekil 4.14: KAA merkezi düğümü için kablosuz kanal kullanım oranı analitik sonuçları	57
Şekil 4.15: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi.....	58
Şekil 4.16: Değişik yük değerlerine göre uçtan uca gecikme	59
Şekil 4.17: KAA'daki bir düğüm için kanal kullanım oranı	60

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1: Benzetim değişkenleri	42
Tablo 4.2: Algılayıcı düğümlerin analitik modelleri için değişken değerleri	54

SİMGELER

A	: Gelişler arası süre dağılımı
B	: Tampon sayısı (sistem kapasitesi)
\tilde{B}	: B'nin Laplace dönüşümü
C_F	: Çerçeve kapasitesi (bit)
C_S	: Zaman dilimin kapasitesi (bit)
D	: Deterministik dağılım,
$E[...]$: Ortalama
E_k	: k parametrelili Erlang dağılımı
F_L	: Çerçeve uzunluğu (sn)
F_S	: Çerçevede bulunan dilim (slot) sayısı
G	: Genel dağılım
\dot{I}_{CE}	: Boşta beklerken harcanan enerji
K	: Popülasyon büyüklüğü
m	: Servis sunucu sayısı
M	: Üstel dağılım,
n	: Sistemdeki paket sayısı
n_s	: Servis alan paket sayısı
n_q	: Servis almak için kuyrukta bekleyen paket sayısı
N	: Sistemdeki toplam düğüm sayısı
P_{idle}	: Kablosuz olarak bilgiyi beklerken birim zamanda harcanan güç
P_L	: Paketin büyüklüğü (bit)
P_{Rx}	: Kablosuz olarak bilgiyi alabilmek için birim zamanda harcanan güç
P_{Tx}	: Kablosuz olarak bilgiyi gönderebilmek için birim zamanda harcanan güç
R_{Tx}	: Kablosuz kanalda bilgi alış verişi için kullanılacak hız (bit/sn)
r	: Sistemde harcanan süre (sn)
s	: Her bir paket için servis süresi (sn)
sn	: Saniye
S	: Servis süresi dağılımı
SD	: Servis disiplini
S_L	: Zaman diliminin uzunluğu (sn)
S_t	: Bir paketin gönderilme/alınma süresi
ST	: Benzetim zamanı (sn)
T_{CE}	: Bir dilimde gönderme yapmak için harcanan enerji
T_F	: Güç tüketimi bulunacak süre içerisindeki toplam çerçeve sayısı
U	: Kanal kullanım oranı (%)
U_c	: Merkezi düğüm kanal kullanım oranı
U_n	: Düğüm kanal kullanım oranı
w	: Kuyrukta bekleme süresi (sn)
λ	: Ortalama paket varış oranı
μ	: Ortalama servis süresi oranı
τ	: Paketler arası ortalama geliş süresi
ρ	: Trafik yoğunluğu

σ : Standart sapma
 σ^2 : Varyans

Kısaltmalar

BAN : Body Area Network (Vücut Alan Ağı)
CRC : Cyclic Redundancy Check (Döngüsel Artıklık Denetimi)
CSMA : Carrier Sense Multiple Access (Taşıyıcıyı Dinleyen Çoklu Erişim)
CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Taşıyıcıyı Dinleyen çarpışmadan Kaçınan Çoklu Erişim)
DCF : Distributed Coordination Function (Dağıtık Eşgüdüm Fonksiyonu)
IAT : Inter Arrival Time (Varışlar Arası Süre)
ISM : Industries, Scientific, Medical (Endüstri, Bilimsel, Sağlık)
LLC : Logical Link Control (Mantıksal Bağ Kontrolü–MBK)
MAC : Multiple Access Control (Ortama Erişim Kontrolü – OEK)
OSI : Open System Interconnection (Açık Sistemler Bağlantısı)
RF : Radio Frequency (Radyo Frekansı)
TDMA : Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
WSN : Wireless Sensor Network (Kablosuz Algılayıcı Ağlar – KAA)
QPSK : Quadrature Phase-Shift Keying

TDMA TABANLI KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLLERİ İÇİN GENEL BİR ANALİTİK VE BENZETİM MODELİ

Alper KARAHAN

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, OEK, Analitik Modelleme, Bilgisayar Modelleme ve Benzetimi

Özet: Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) kullanım alanlarının çeşitlenmesi, başarımlarının kolayca test edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu tez çalışmasında, KAA'ların başarımlarını değerlendirmesinde kullanılan temel ölçütlerin, analitik olarak elde edilmesi, benzetimlerinin gerçekleştirilmesi ve her iki yöntemle elde edilen sonuçların kıyaslanarak geçerliliklerinin doğrulanması hedeflenmektedir.

Haberleşme ağlarını modelleme yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlükleri ve zorlukları bulunmaktadır. Her yöntem tek başına kullanıldığında sistem başarımları hakkında sadece bazı kestirimler yapılabilmesini sağlamaktadır. Modelleme yöntemlerinin birlikte kullanımı bu sorunu aşmada en etkin yoldur. Tasarlanan bir sistemin farklı iki modelinden elde edilen sonuçların birbirleriyle örtüşmesi, sistemin doğruluğunu, kararlı ve gereksinimleri karşılayacak şekilde çalışacağını gösterir ve sonuçların geçerliliğini teyit eder.

Tez çalışmasında, gerçekleştirilen genel KAA OEK (Ortam Erişim Kontrol) protokol analitik ve benzetim modelleri, merkezi yapı bir uygulama örneğinde kullanılmakta ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Analitik modeller esas alınarak düğüm enerji tüketimi, ortalama uçtan-uca paket gecikmesi ve kablosuz kanal kullanım oranı hesaplanmakta, bunlar benzetim modelinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak sistemin başarımlarını değerlendirme yapılmaktadır. Tez çalışması sonuçları, TDMA tabanlı KAA OEK için geçerlilik değerlendirmesinde kolayca kullanılabilir olduğundan, araştırmacılar ve uygulama geliştiriciler için bu konuda referans olma niteliği taşımaktadır.

**A GENERIC ANALYTICAL AND SIMULATION MODEL FOR
TDMA-BASED WIRELESS SENSOR NETWORK MEDIUM ACCESS
CONTROL PROTOCOLS**

Alper KARAHAN

Keywords: Wireless Sensor Networks, MAC, Analytical Modeling, Computer Modeling & Simulation

Abstract: The vast variety of Wireless Sensor Network (WSN) applications makes it necessary that they should be easily tested and validated. In this thesis, it is aimed at obtaining the basic criteria that are used to evaluate the performance of the WSNs using both the analytical modeling and the computer modeling & simulation as well as validating the results.

Computer network modeling techniques have some advantages and disadvantages with respect to each other according to their usage. Each method provides only basic estimations related to the system performance when used alone, however the reliability of the results can only be guaranteed by using more than one of these methods together. The use of analytical modeling and simulation techniques together is the most effective way to evaluate the performance of computer networks. Matching up the results from two different models provides a remarkable validation way and points out whether the system runs stable or not in reality.

In this thesis, a generic analytical model and a computer model & simulation of a developed TDMA based WSN Medium Access Control (MAC) protocol with centralized infrastructure are provided, and these models are used in an example application scenario. The results obtained from both models are presented and compared to each other. Node energy consumption, mean end-to-end packet delay and wireless channel utilization are selected as the network performance metrics since they can be enough for an essential system validation and evaluation. It is foreseen that this thesis work will be utilized as a reference for researchers and application developers studying on TDMA based WSN MACs.

1. GİRİŞ

Kablosuz ağ teknolojileri, son yıllardaki gelişmelerle birlikte, sundukları hareket kabiliyeti ve farklı platformlara kolaylıkla uyarlanabilme üstünlükleri sayesinde, birçok alanda geleneksel kablolu eşleniklerinin yerini almıştır. Bunun yanında, ağ teknolojilerinin çeşitlenmesi ve maliyetlerin azalması özel amaçlı kablosuz ağların gelişimini desteklemektedir.

Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) olarak adlandırılan; bir mikrodenetleyici, algılayıcı, kablosuz haberleşme arabirimi ve güç ünitesinden oluşan düğümlerin bir araya gelerek oluşturduğu ağ yapıları bunlardan biridir. KAA düğümleri istenen bir bölgeye dağıtılarak (rastgele veya sistematik), çeşitli fiziksel büyüklükleri birbirlerinden bağımsız olarak algılayabilen ve elde edilen verileri merkezi bir düğüme ileten elemanlardır. Algılama verileri çeşitli yapılar kullanılarak (multi hop, single hop) kablosuz ortam üzerinden merkezi düğüme iletilir [1].

KAA'lar oldukça fazla uygulama potansiyeline sahiptir [1–3]. Bununla birlikte, geniş çaplı ve uzun süreli ağ yapıları öngörüldüğünde (yangın, sel vb.) yaşam süresi, kendi kendine organize olabilme, dayanıklılık ve düşük hata oranı gibi gereksinimleri ön plana çıkmaktadır. KAA'ların hedeflenen görevleri yerine getirebilmesi ve sürdürülmesi genel olarak düğümlerin yaşam süreleri ile ilgilidir. Dolayısıyla, enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önem kazanmaktadır.

KAA'larda enerji tüketimi fiziksel katmanla birlikte OEK katmanının yapısına ve çalışmasına bağlıdır. OEK protokolü, düğümlerin ortama nasıl erişeceğini belirlediğinden, burada yapılan iyileştirmeler doğrudan enerji tüketimine, dolayısıyla da ağın ömrüne çok büyük etki yapacaktır. KAA yapılarında paketlerin çarpışmalarından veya tekrar iletimlerinden dolayı oldukça fazla enerji israf edilmektedir. Sınırlı kaynağa sahip olan düğümlerdeki enerjinin gereksiz yere

kullanımının azaltılması uygun bir OEK protokol tasarımı ile mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada temel, merkezi yapılı bir KAA OEK protokolü tasarlanmış ve benzetim modelinin OPNET Modeller yazılımıyla geliştirilmesi aşamaları sırasıyla anlatılarak, modelden elde edilen benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca aynı OEK protokolünün analitik modeli de çıkartılarak benzetim modelden elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Akyıldız ve diğ. 2001'de, KAA kavramını tanımlayarak, kablosuz ağ tasarımını etkileyen faktörleri açıklamışlardır [1]. Ayrıca literatürde KAA yapısındaki her bir katman için geliştirilen algoritmaları ve protokolleri de sunmuşlardır. Bu çalışma KAA alanındaki en temel çalışmalardan biridir.

Wei Ye ve arkadaşları (2002) KAA'lar için S-MAC protokolünü önermişlerdir [4]. Bu protokollede, haberleşmenin söz konusu olmadığı durumlarda gereksiz ortam dinlenmesinde harcanan enerjiyi en aza indirmek için düğümlerin kablosuz haberleşme donanımlarının periyodik olarak kapatılarak uyku durumuna geçirilmesi önerilmektedir. Çalışma ilk kez uyku durumunu literatüre kazandırmış ve bu alanda OEK geliştiren araştırmacılara yön vermiştir.

Tijs van Dam ve Koen Langendoen (2003) S-MAC protokolünde önerilen sabit iş zamanını uyarlanabilir hale getirerek çekişme tabanlı T-MAC protokolünü önermişlerdir [5]. Bu çalışmada, iş zamanının ayarlanabilir hale getirilmesiyle S-MAC protokolünden 5 kat daha fazla enerji verimi elde edilmiştir.

Halkes G.P ve Koen Langendoen (2007), özellikle KAA düğümlerinin çok yoğun yerleştirildiği bölgelerde yüksek başarımla elde etmek için yeni bir KAA OEK protokolü tasarlamışlardır [6]. Bu protokol, aynı küme içerisindeki aşırı dinlemeleri azaltarak, enerji tasarrufu sağlar ve düğümlerin konumlarını bir tabloda

tutmadığından, büyük hafızalara ihtiyaç duymaz. Ayrıca Halkes ve diğ., bu protokolün fiziksel gerçekleştirilebilirliğini TinyOS uygulamasıyla test etmişlerdir.

Haigang Gong ve diğ. (2009), KAA düğümlerinin enerji tüketimini azaltmak amacıyla olay güdümlü TDMA tabanlı yeni bir OEK protokolü tasarlamışlardır [7]. Geliştirilen bu protokol TDMA çerçeve yapısını ağdaki düğüm sayısına göre değiştirerek, enerjinin etkin kullanımını sağlamaktadır.

Kumar ve diğ. (2009) enerji ve gecikmelerin LPL (Low Power Listening) kısa açılış konuşmaları kullanılarak azaltıldığı yeni bir OEK protokolü geliştirmişlerdir [8]. Geliştirilen AREA-MAC protokolünün OMNET++ benzetimi yapılmış, ayrıca enerji ve gecikmelerin analitik modelleri de çıkarılmıştır. Bu çalışmada elde edilen enerji analitik modeli, tez çalışmasında sunulan enerji analitik modeline fikir vermiştir.

Marinkovic ve diğ. (2009) BAN (Body Area Network)'lar için TDMA tabanlı enerji etkin yeni bir OEK protokolü tasarlamış ve ADF7020 RF (Radio Frequency) alıcı-verici devreleri kullanarak tıp alanında örnek bir uygulamada fiziksel olarak gerçekleştirmişlerdir [9]. Bu protokol ile çarpışmalardan dolayı meydana gelebilecek enerji tüketimi ve donanımsal sorunlardan dolayı meydana gelebilecek hataların en aza indirilmesi hedeflenirken, aynı zamanda algılayıcı düğümleri uzun uyku durumuna sokularak enerjinin etkin kullanımını sağlanmıştır.

Zheng Guan ve diğ. (2009), zaman dilimi (time-slot) tahsisinde ve senkronizasyonda kendi kendini organize eden yeni bir CTP-MAC (Controllable Threshold Polling MAC) protokolü gerçekleştirmişlerdir [10]. Bu protokol, enerjinin etkin tüketimini hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen bu protokolün hem analitik, hem de benzetim sonuçları elde edilerek, karşılaştırmalı başarımlar değerlendirilmiştir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Başlatılma Sebepleri

Teknolojinin gelişmesi ve elektronik cihazların küçülmesi, KAA yapılarının da gelişimini hızlandırmıştır. Küçük boyutlu ve sınırlı kaynaklı düğümlerden oluşan

KAA'ların en önemli tasarım problemlerinden olan maliyet–etkin enerji tüketimi, uygun bir OEK protokolü ile çözülebilir.

OEK protokollerinin daha tasarım aşamasında iken doğruluklarının kontrol edilmesi ve en iyileştirmelerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bir KAA OEK protokolü tasarım sürecinde özellikle geçerlilik değerlendirmesi yapmak üzere, genel bir analitik model ve benzetim modelinin birlikte kullanımına duyulan ihtiyaç bu tez çalışmasının başlangıç sebebini oluşturmaktadır.

KAA düğüm enerji tüketimi, fiziksel katmanla birlikte OEK katmanının yapısına ve kullanılan algoritmaya bağlıdır. OEK protokolü, düğümlerin ortama nasıl erişeceğini belirlediğinden, burada yapılan iyileştirmeler doğrudan enerji tüketimine, dolayısıyla da ağın ömrüne çok büyük etki yapacaktır. Kablosuz iletişimde paketlerin çarpışmalarından veya tekrar iletimlerinden dolayı oldukça fazla enerji, gereksiz yere tüketilmektedir. Sınırlı kaynağa sahip KAA düğümlerindeki enerjinin gereksiz yere kullanımının azaltılması en iyilenmiş bir OEK protokol tasarımı ile mümkün olabilmektedir [11,12].

Tez çalışmasının ana hedefleri, KAA yapısının en önemli bileşenlerden OEK katmanın benzetim ve analitik modellerinin oluşturulması aşamalarının öğrenilmesi, ileriki çalışmalarda kullanılmak üzere genel bir KAA OEK analitik modelinin ve OPNET Modeler yazılımı ile benzetim modelinin oluşturulması ve örnek bir temel OEK protokolünün modellenerek başarımlar değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

Tez çalışmalarının katkıları dört ana başlık altında ifade edilebilir:

- KAA OEK protokollerinin genel bir benzetim modeli gerçekleştirilmiştir.
- KAA OEK protokollerinin genel bir analitik modeli gerçekleştirilmiştir.
- KAA OEK geçerlik değerlendirmesi için, geliştirilen genel benzetim ve analitik modellerinin birlikte kullanımı gerçekleştirilmiştir.

- Örnek bir KAA OEK protokolünün geçerlilik değerlendirmesi, benzetim ve analitik düğüm enerji tüketimi, ortalama uçtan–uca gecikme ve kablosuz kanal kullanım oranları dikkate alınarak yapılmıştır.

1.4. Tez Düzeni

Tez çalışmaları, beş ana bölümde sunulmaktadır;

Bölüm 2’de KAA’ların gelişimi hakkında genel bilgiler verilmekte, olumlu/olumsuz yönleri, uygulama alanları ve KAA OEK protokol çeşitleri sunulmaktadır.

Bölüm 3’te KAA’ları modelleme yöntemleri anlatılarak, KAA OEK protokolleri için geliştirilen genel bir analitik model ve OPNET Modeller kullanılarak oluşturulan benzetim modeli detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Bölüm 4’te ise bu genel analitik ve benzetim modellerinin örnek bir TDMA tabanlı KAA OEK protokolünün geçerlik ve başarımlarını değerlendirmesinde kullanımı sunulmaktadır.

Yapılan tez çalışmalarının sonuçları ve katkıları Bölüm 5’te değerlendirilmektedir.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ YAPILARI

2.1. Giriş

Geride bırakılan zamana bakıldığında her yüzyılda farklı olayların meydana geldiği ve ihtiyaçların da bu yönde çeşitlendiği gözlenebilir; 18.yüzyıl da endüstri devrimi ve beraberinde mekanik sistem gelişimi, 19. yüzyıl da buhar makineleri, 20. yüzyıl da ise bilginin toplanması, işlenmesi, değerlendirilmesi ve dağıtılması ön plana çıkmaktadır. Bu devam eden eğilimle 21. yüzyılın da bilgi ve bilişim çağı olacağı açıktır.

Bilgi çağında artarak önem kazanan bilgi yönetim ihtiyacı, çeşitli iletişim araçlarının da gelişimini beraberinde getirmiştir. Telefon ağlarının kurulması, radyo televizyon sistemleri, uydu teknolojileri bunlardan sadece birkaçıdır. Bu sistem ve teknolojilerin hızla yayılması haberleşme sistemlerinin gelişmesini de kaçınılmaz kılmaktadır. Sahip olunan en yeni bilgi değerlendirildiğinde, sahip olan kişi veya sisteme üstünlükler sağladığı düşünülürse haberleşme sistemlerinin kullanılması ve geliştirilmesi önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Son yıllarda geliştirilen teknolojiler takip edildiğinde tüm çözümlerin bilgisayar tabanlı yapıldığı, kapasiteyi ve hızı artırmaya yönelik çalışmaların revaçta olduğu görülecektir. Artırılan kapasitelerle birlikte toplanan ve saklanan bilgilerin dağıtımını problemi de aşmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, geleneksel bilgisayar ağlarında kullanılan kabloların yerini artık kablosuz yapılar almaya başlamakta ve sistemler bu yönde geliştirilmektedir.

2.2. KAA'ların Özellikleri ve Gelişimi

İlk algılayıcı ağ uygulaması soğuk savaş sırasında akustik algılayıcıların okyanus altında stratejik noktalara yerleştirilerek Sovyet denizaltılarının yerini tespit etme ve izleme amaçlı olarak kullanılmıştır [13]. 1980'li yıllara gelindiğinde modern

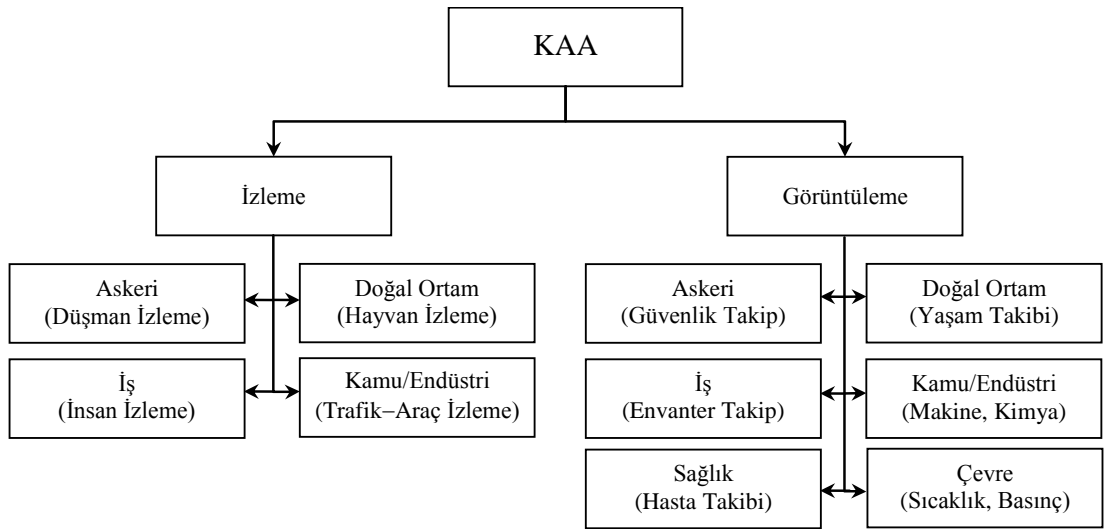
uygulamalara geçilmiş, takip eden zamanlarda elektronik malzemelerin küçülmesi ve yaygınlaşmasıyla çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Kablosuz alıcı/vericilerin enerji tüketimi bakımından daha verimli hale gelmesi ve boyutlarının giderek küçülmesi, algılayıcı ağlara kablosuzluk özelliğinin eklenmesine yol açmıştır. Şekil 2.1’de çevre gözleminde kullanılan bir kablosuz algılayıcı düğüm görülmektedir [14].



Şekil 2.1: Örnek bir kablosuz algılayıcı düğüm

KAA’ların kullanım alanları kablosuz iletişim teknolojilerinin de gelişimiyle hızla artmaktadır [15]. Şekil 2.2’de KAA yapılarının kullanıldığı alanları gösteren akış şeması yer almaktadır [16].



Şekil 2.2: Algılayıcı ağların uygulama alanları

2.3. KAA Protokol Mimarisi ve OEK Analitik ve Benzetim Modelleri Oluşturmada Önemi

KAA'lar, geleneksel bilgisayar ağlarına benzer şekilde OSI (Open System Interconnection, Açık Sistemler Bağlantısı) referans modeline göre tasarlanmaktadır. KAA protokol mimarileri incelendiğinde OSI katmanları aynı olmakla birlikte bazı katmanların olmadığı veya aynı işlevi birlikte göreceği şekilde birbirleriyle bütünleşmiş olarak kullanıldığı görülmektedir [1]. Benzetim ve analitik modeli oluşturulacak bir ağın fiziksel katmandan uygulama katmanına kadar amaca yönelik olarak metrikleri belirlenmeli ve bu çerçevede hareket edilmelidir [17].

2.3.1. Fiziksel katman

Herhangi bir haberleşme sisteminde bilgilerin donanımsal olarak bit veya sembol seviyesinde taşındığı katmandır. Frekans seçimi, taşıyıcı frekans üretimi, sinyal belirleme ve modülasyon fonksiyonlarından oluşmaktadır [18,19]. Kablosuz sistemlerde iletişim, bilgilerin gönderici (transmitter) ve alıcı (receiver) aracılığıyla havadan taşınmasıyla sağlanmaktadır. Bu taşıma sırasında çeşitli modülasyon teknikleri kullanılarak istenilen bilgi işaretleri daha uzun mesafelere daha düşük anten boyları ve güçleri ile taşınabilmektedir[20,21]. Bir bütün olarak modellemesi yapılan KAA sistemlerinde fiziksel katmanın tüm özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, seçilecek veri iletim hızı uçtan uca gecikmeleri etkileyecektir. Dolayısıyla öncelikle hız belirlenmeli daha sonra modülasyon tipi, çalışma frekansı, kanal tipi ve verici gücü seçilmelidir.

2.3.2. Veri bağı katmanı

Fiziksel katman ile ağ katmanı arasında kalan veri akışını çoklama, veri çerçevesi belirleme, ortam erişim kontrol ve hata kontrol işlemleri veri bağı katmanında gerçekleştirilir. LLC (Logical Link Control, Mantıksal Bağ Kontrolü–MBK) ve OEK olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır [20,21]. MBK, iletim hattı ile ağ arasında çeşitli eklentileri kullanarak bağlantıyı sağlar. Ayrıca veri kontrol bilgisi, döngüsel artıklık denetimi (CRC) hesaplaması, kaynak, hedef ve aradaki ağ aygıt adreslerini

içeren OEK çerçevelerini birleştirme ve ayrıştırma işlemini gerçekleştirir. İkinci kısım olan OEK alt katmanı, fiziksel katmanda bulunan radyo haberleşme cihazlarını kontrol eder. Fiziksel katmandaki alıcı ve vericilerin alma, gönderme ve uyku durumları OEK tarafından belirlenir.

Fiziksel ortama erişimin adil ve yeterli bir şekilde sağlanmasından OEK katmanı sorumludur. Batarya bağımlı KAA düğümlerinde enerjinin etkin bir şekilde kullanımı, doğrudan kablosuz düğümlerin ömürlerini etkiler. Temel olarak bir KAA'da enerji israfı, düğümün boşta iken ortamı gereksiz yere dinlemesinden, paket çarpışmalarından, istem dışı (gereksiz, kendisine gelmeyen) paketleri almadan ve kontrol paketlerinin fazlalığından kaynaklanmaktadır. Bahsedilen enerji israflarının azaltılması ise, kablosuz ortam kullanımının etkin bir şekilde kontrol edilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında geliştirilecek KAA sisteminde OEK protokolleri en önemli işlevleri yerine getirir.

OEK protokolü uygulamaya yönelik trafik özellikleri ve ağ topolojilerini dikkate alan dinamik bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Geliştirilen protokol kanal kullanım oranı (utilization) yüzdesini en üst seviyeye çıkarmalı, kabul edilebilir bir uçtan–uca gecikmeyi (delay) garanti etmeli ve esnek bir yapıya sahip olmalıdır.

2.3.3. Ağ katmanı

Ağ katmanı, düğümler arasındaki veri akışını amaca uygun bir şekilde aktarmada bağlantıları kurmaktan sorumludur. KAA'larda bilgiyi en düşük enerji ve en az atlama ile çıkış düğümüne iletmede yol belirleme işlemini yürütür [22]. Tez çalışmasında yönlendirme protokolü kullanılmayarak ağ katmanından yönlendirme verileri geldiği kabul edilerek yalnız OEK katmanı işlevi dikkate alınmıştır.

2.3.4. Ulaşım katmanı

İletişimin düzenli olarak sağlanması, akış ve tıkanıklıkların kontrolü, paket kayıplarının iyileştirilmesi ve servis kalitesi taleplerinin sağlanması ulaşım

katmanının işlevleri arasındadır [23]. Tez çalışmasında gerçekleştirilen analitik ve benzetim modellerinde ulaşım katmanı işlevleri değerlendirilmemiştir.

2.3.5. Uygulama katmanı

Algılama görevlerine bağlı olarak farklı tür ve amaçta geliştirilen uygulama yazılımları bu katmanda tanımlanmaktadır [18,24]. Benzetimlerde uygulama katmanından gelen veriler hedefe yönelik olarak seçilmeli, paketlerin istatistiksel dağılımlara göre alt katmanlara gönderilmesi sağlanmalıdır. Tez çalışmasında paket geliş süreçlerinin birbirinden bağımsız olarak oluşumunun sağlanabildiği üstel (exponential) dağılım kullanılmıştır.

2.4. KAA OEK Protokollerinin Sınıflandırılması

KAA'ların uygulama alanlarının günden güne çeşitlenmesi, ihtiyaca yönelik OEK geliştirme zorunluluğunu da beraberinde getirmiştir. Bu zorunluluk uygulama alanlarının birbirine benzememesinden kaynaklanabildiği gibi kurulacak sistemden istenen yeterliliklerden de kaynaklanabilmektedir.

Uygulamalar ve ihtiyaçlar arttıkça farklı erişim teknikleri kullanılarak KAA OEK protokolleri geliştirilmiştir. Bunlar çekişme tabanlı, zamanlama tabanlı ve melez yapılı olmak üzere üç kısımda incelenebilir.

2.4.1. Çekişme tabanlı OEK protokolleri

Çekişme tabanlı OEK protokollerinin esasları ortamı kontrol et ve ortam boş ise veriyi gönder şeklinde açıklanabilir. Genellikle IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function) yapısı kullanılmaktadır [25]. Kurulumlarının basit olması ve ağ yapısındaki değişimlere çok hızlı tepki verdiği için olay güdümlü uygulamalarda yaygın olarak tercih edilirler [4,5]. Boşta dinleme, kendisine lazım olmayan bilgileri dinleme ve iletişim sırasında çarpışmaların meydana gelmesi bu erişim mekanizmasının en büyük olumsuzluklarıdır.

Bilginin ne zaman geleceği belli olmadığından sürekli olarak ortamı dinleme zorunlulukları vardır. Bu da çekişme tabanlı OEK protokollerini enerji verimli olmaktan çıkarmaktadır.

Çekişme tabanlı OEK protokolleri, yoğun haberleşmenin yapılacağı uygulamalarda, çarpışmaların sıkça meydana gelmesi ve bunun sonucu olarak da hem gecikmenin artması hem de batarya ömrünün azalması dolayısıyla tercih edilmemelidir.

Çekişme tabanlı OEK algoritmalarına uyku modu eklenerek, boşta dinlemeler azaltılmış ve enerji verimliliğini arttırmada bir miktar başarı elde edilmiştir [4,26,27].

2.4.2. Zamanlama tabanlı OEK protokolleri

Zamanlama tabanlı OEK protokolleri iletişim zamanının belirli parçalara ayrılması esasına göre tasarlanır. Bu tür yapılarda her bir düğüm kendine ayrılmış zaman aralıklarında veri iletimini gerçekleştirir. Düğüme ait zaman diliminde gönderecek bilgisinin bulunmaması durumunda ayrılan zaman boş olarak geçirilir. Böylece oluşabilecek muhtemel bir çarpışma ve dolayısıyla tekrar göndermenin önüne geçilmiş olunur. Uyku modunun kullanılmasıyla enerji kullanımında büyük kazançlar elde edilebilir [28–30]. Zamanlama tabanlı OEK'lerle, merkezi topolojilerin kullanıldığı uygulamalarda sıklıkla karşılaşılmaktadır [31].

Uygulanmasında en büyük problem, tüm düğümlerin ortak bir zaman çerçevesine sahip olması gerekliliğidir [32,33]. İletişim sırasında zamanlamaların farklı olması istenilen zamanda bilginin gönderilememesi dolayısıyla başarıyı düşürecektir. Ayrıca zaman dilimlerinde bilgi gönderilmeyerek boş geçilmesi de istenmeyen gecikme artışlarına sebep olması dolayısıyla önemli bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

Ağda oluşabilecek değişimlere hızlı tepki verememesi bu tür sistemlerin patlamalı veri akışı gerektiren sistemlerde kullanılmasını zorlaştırır.

2.4.3. Melez yapılı OEK protokolleri

Zamanlama ve çekişme tabanlı gibi erişim yaklaşımlarının bir arada kullanıldığı OEK protokolleridir [34]. Her bir erişim mekanizmasının olumlu yönlerinin alınması, olumsuz yönlerinin en aza indirilmesi amacıyla geliştirilirler. Örneğin çekişme tabanlı erişim yönteminin olaylara hızlı tepki verme yönü alınarak boşa dinlemedeki fazla enerji tüketimi zamanlama tabanlı erişim ile azaltılabilir [6].

OEK'lerin uygulamalara göre farklılaşma gerekliliği uygun yapıların birkaçının birlikte kullanılması gerekliliğini beraberinde getirir. Melez yapılı sistemler kullanılarak zamanlama tabanlı yöntem hızlı tepki isteyen uygulamalarda, çekişme tabanlı yöntem de yoğun trafiğin olduğu uygulamalarda kullanılabilir.

2.5. Sonuç

Uygulama alanlarının günden güne çeşitlenmesi, tercih edilecek ortama erişim mekanizmalarının da özelleşmesini gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede kullanılacak CSMA ve TDMA gibi erişim sistemlerinin farklı uygulamalar için farklı kazançları bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında merkezi düğümlü KAA sistemlerinde sıklıkla kullanılan TDMA, OEK protokolü olarak tercih edilmiştir. TDMA sisteminin tercih edilme sebepleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

- KAAların en önemli problemlerinden olan güç tüketimi TDMA sistemi ile azaltılabilir. Bu sistemlerde, düğümler veri göndermediği veya almadığı durumlarda alıcı–vericilerini kapatarak güç tüketimini en aza indirir.
- Düğümlere birden çok zaman dilimi tahsis edilerek, düğümlerin farklı bant genişliği ihtiyaçları karşılanabilir.
- Kanallar kullanıcı isteklerine göre tahsis edilebildiğinden, bant genişliği daha etkin kullanılır.
- Her düğüme ayrı zaman dilimi tahsis edildiğinden paketlerin çarpışmaları en aza indirilir.

3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ MODELLEMESİ

3.1. Giriş

Bir sistemin değişik koşullar altındaki davranışlarını incelemek, kontrol etmek ve gelecekte kullanımındaki başarımı hakkında kestirimlerde bulunmak amacıyla elemanları arasındaki bağlantıları kelimeler veya matematiksel terimlerle belirleyen ifadelere model denir [35,36]. Modeller, maliyetlerinin düşük olması, tehlikeli olmayışları ve bazen gerçek sistemlerde çalışmanın mümkün olmaması gibi durumlarda sıklıkla kullanılırlar.

Haberleşme sistemlerinin büyüklükleri dikkate alındığında, gerçekleştirilmeden önce bir ya da birden fazla yöntemle doğruluklarının test edilmesi, aksaklıkların giderilmesi ve varsa en iyilemelerin yapılması gerekmektedir. Bu, hem maliyeti düşürecek hem de zamandan tasarruf sağlayacaktır.

Bu bölümde sayısal haberleşme sistemlerinin modellenmesi için kullanılan ilk örnek (prototip), benzetim ve analitik yöntemlerin olumlu, olumsuz ve üstün yönlerine değinilerek, KAA benzetim ve analitik modelleri üzerinde durulmaktadır.

3.2. Haberleşme Ağları Modelleme Yöntemleri

Haberleşme ağlarının modellenmesinde genel olarak ilk örnek, benzetim ve analitik olmak üzere üç yöntemden faydalanılır. Her yöntemin birbirlerine göre değişik üstünlükleri ve olumsuz yönleri bulunmaktadır [37].

İlk örnek (prototip) yönteminde uygulanacak tasarımla ilgili küçültülmüş bir yapı kullanılır. Gerçek sistemi temsil eden ve bütün özelliklerini taşıyan fiziksel bir çözüm oluşturulur. Bu sistemden elde edilen sonuçlar gerçek veriler olduğundan kurulacak uygulamanın başarımı ile ilgili somut kestirimler yapılabilir. Ancak ilk

örnek, kurulumunun zor olması ve zaman alması sebepleriyle çoğu zaman tercih edilmemektedir.

Benzetim yönteminde modeller, sistemde karşılaşılabilecek bütün olaylar ve ortam koşulları taklit edilerek oluşturulur. Bütün işlemler açıkça sunulur ve uygulanır. Karmaşıklığı azaltmak için süre veya değerlendirilecek ölçütler sınırlandırılabilir. Benzetim modeli, haberleşme ağlarında özellikle karmaşık kuyruk davranışlarının kolaylıkla modellenemediği durumlarda tercih edilir. Bununla birlikte uygulanması bazen zor olabilmekte, çalıştırılması zaman alabilmektedir. Ticari birçok paket yazılım kullanımıyla birlikte araştırmacılar, yeni benzetim modellerini kolayca geliştirebilmektedir [37]. Bu tez çalışmasında, haberleşme ağlarının modellenmesinde sıklıkla kullanılan OPNET Modeller benzetim yazılımı kullanılarak genel bir KAA OEK protokolünün modellenmesi ve incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Analitik modeller sistemin başarımını tanımlayan denklem veya denklemler grubu olarak tanımlanabilir [39]. Ana bilgisayarlardaki geniş çaplı donanım değişiklikleri ve iş yüklerinin sisteme yaptığı etkileri bulmada kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar sistemindeki farklı bileşenlerin hesaplanan ya da ölçülen birikimleri tanımlanır. Analitik modeller genellikle belirli bir aralıkta sistemde üretilen işlerin ölçümlerine ait veriler kullanılarak oluşturulur [37]. Analitik modeller matematiksel ifadelerden oluşur ve hızlı sonuç verirler [40]. Bununla birlikte sistem karmaşıklığının arttığı durumlarda modelin çıkarılması neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Tez çalışmasında, genel bir benzetim modeli geliştirilen KAA OEK yapısının analitik modeli elde edilmiştir.

Haberleşme ağlarını modellemede kullanılan üç temel yöntem, uygulamanın türüne göre tercih edilmelidir. Büyük çaplı ve hassas işlemler içeren bir sistem kurulacaksa ilk örnek yöntemi tercih edilir. Tek yöntemin kullanılmasından elde edilecek sonuçlar bazen model geliştirilirken yapılan muhtemel hatalar dolayısıyla doğru/güvenilir sonuçlar vermeyebilir. Bunun yanında herhangi iki modelleme yöntemini birlikte kullanarak sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, kurulacak sistemin doğrulanmasını ve kesin sonuçlar elde edilmesini sağlar.

3.3. KAA OEK Benzetim Modeli

Günümüzde kablosuz ağların ve KAA uygulamalarının tasarlanması, modellenmesi, başarımların değerlendirilmesi ve en iyileştirmelerinin yapılması amacıyla birçok benzetim aracı kullanılmaktadır. Benzetim aracı, geliştirilecek sistemin ihtiyaçlarına uygun olarak seçilmelidir. Bu amaçla, ticari (OPNET, OMNET++), akademik (Prowler, OMNET++), genel kullanıma açık (GLOMOSIM, ns-2) ve açık kaynak kodlu (Tossim) olarak geliştirilmiş benzetim araçları bulunmaktadır [41]. Bu tez çalışmasında, doğruluğu ve geçerliliği araştırmacılar tarafından kabul edilmiş ve alt bölümde kısaca anlatılan OPNET Modeler benzetim yazılımı kullanılmıştır.

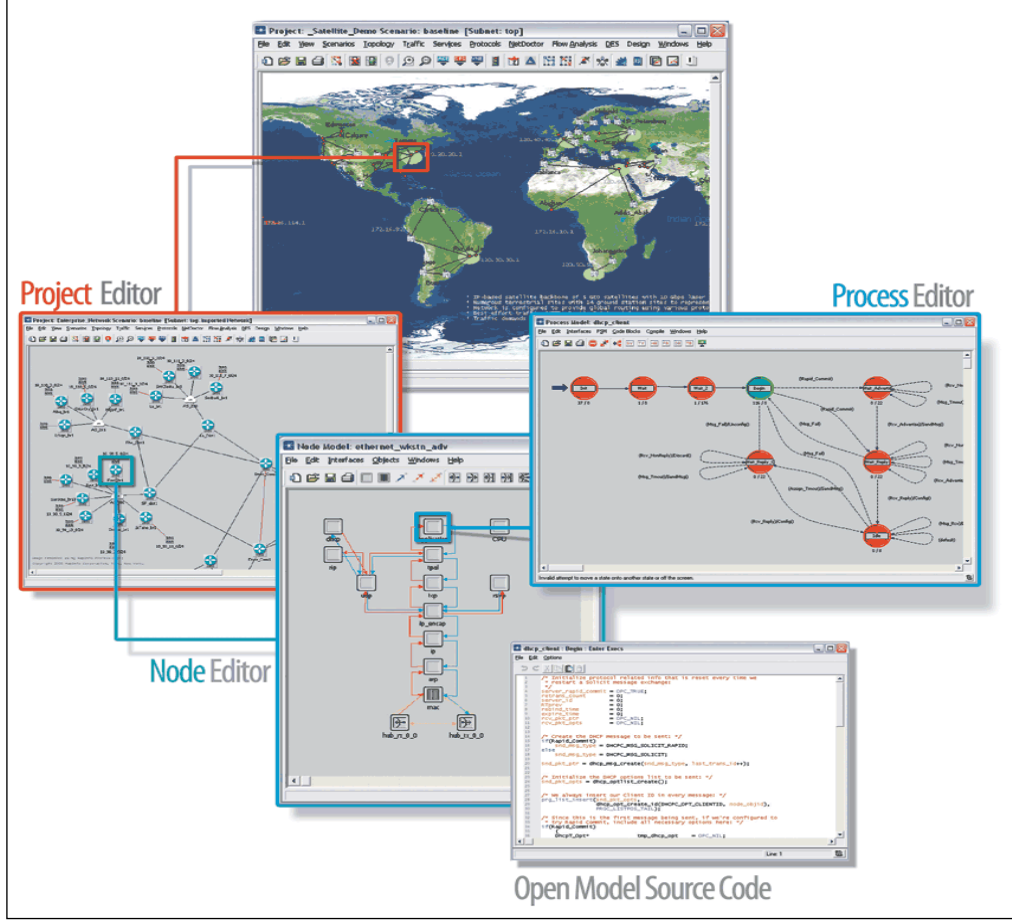
3.3.1. OPNET Modeler benzetim programı

OPNET Modeler, kablolu ve kablosuz tüm haberleşme sistemlerinin benzetiminin yapılabildiği görselliğe sahip, ticari bir yazılımdır. Çoğu işletim sisteminde çalışabilmekte ve sistemin modellenmesi, veri toplanması, benzetim yapılması ve benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir [42]. OPNET'te modellenen sistemlerin davranış ve başarımların analizleri ayrık olay (discrete-event) benzetim yöntemi ile gerçekleştirilir. Bu yetenekleri sayesinde OPNET, standart ağ modellemesinde, ağlar arası iletişimin modellenmesinde, kablolu-kablosuz ve hareketli-hareketsiz haberleşme protokollerinin geliştirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir [35].

OPNET Modeller hem standart haberleşme protokollerini (ATM, TCP/IP, IP, vb) içerir hem de kullanıcının yeni protokoller ve modeller geliştirmesine olanak sağlar. Ayrıca kullanıcılar standart modellere ekleme veya çıkarmalar yaparak yeni modeller oluşturabilmekte ve yeni geliştirdikleri modelleri kütüphaneye ekleyebilmektedir.

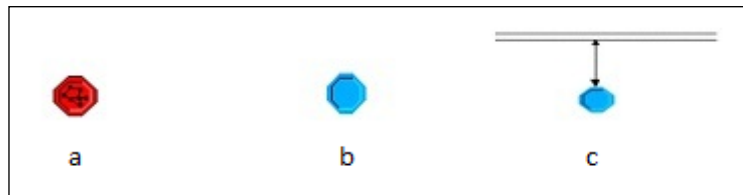
C programlama dili tabanlı olan ve kendine has komutları da içeren OPNET, kullanıcıların model oluşturabilmesi için hiyerarşik bir yapı kullanmakta ve modelleme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Bir haberleşme sisteminin benzetiminin yapılması birçok editörün bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu editörler

sırasıyla ağ (project) editörü, düğüm (node) editörü ve süreç (process) editörüdür. Şekil 3.1’de OPNET’in hiyerarşik yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1: OPNET Modeller hiyerarşik yapısı [42]

Modelleme yapısının en üst seviyesi olan proje editöründe topoloji ile ilgili tüm tanımlamalar belirlenir ve yönetilir. Ağ yapıları oluşturularak bağlantı hatları, alt ağlar, ve coğrafi içerikler oluşturulur (Şekil 3.2). Ayrıca bu editörde temel benzetim parametreleri ve toplanacak istatistik tipleri de seçilmektedir.



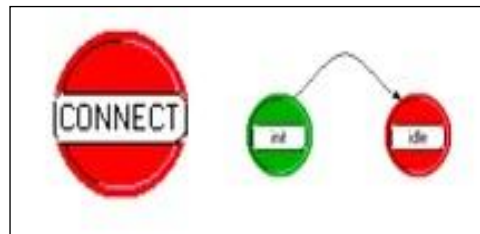
Şekil 3.2: Nesneler; a)Alt Ağ, b)Düğüm, c)Bağlayıcı

Düğüm editöründe, ağ editöründe topolojileri oluşturulan aygıtların iç yapılarına girilmekte ve model yapıları özelleştirilmektedir. Modül olarak adlandırılan nesnelere aracılığıyla geliştirilecek aygıtların iç yapıları oluşturulur. Temel olarak işlemci, kuyruk, alıcı ve vericiler, modüllerin birbirlerine bağlanmasını sağlayan bağlantı hatlarından (stream) oluşur. Şekil 3.3’de düğüm modelinin bazı modülleri görülmektedir.



Şekil 3.3: Düğüm modülleri; a)İşlemci b)Kuyruk c)Alıcı-Verici d)Bağlantı Hattı

Süreç editörü hiyerarşik modelleme yapısının en alt kısmında yer alır. Bu editörde nesnelere yapıları, işlevi, parametreleri ve davranışları tanımlanır, kontrol edilir ve değiştirilebilir [42]. Durum makineleri sayesinde yapılacak işlemler ayrıntılı olarak modellenmektedir. Zorlanmış ve zorlanmamış olmak üzere iki çeşit durum makinesinden ve bunlar arasındaki bağlantıları oluşturan geçişlerden oluşmaktadır. Süreç editöründe durum makineleri oluşturulurken, geliştirilen haberleşme yapısında oluşabilecek her türlü işlem olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi durumda hem planlanan işlemler doğru bir şekilde gerçekleştirilemeyecek hem de sistemde tıkanıklıklar meydana gelecektir. Şekil 3.4’te durum makineleri ve aralarındaki geçişler görülmektedir.



Şekil 3.4: İşlem editörü durum makineleri

Tasarlanan bir benzetim modelinde kullanılacak her türlü değişkenler ve fonksiyonlar süreç editöründe tanımlanmaktadır. Durum makineleri ve aralarındaki

geçişlerin belirlenmesiyle hangi durumda hangi işlemin yapılacağı “proto-C” dili aracılığıyla durumlar içine yazılarak gerçekleştirilir. Bu özelliğinden dolayı süreç editörü sistemin çalışmasını belirleyen ve etkileyen bir yapıya sahiptir.

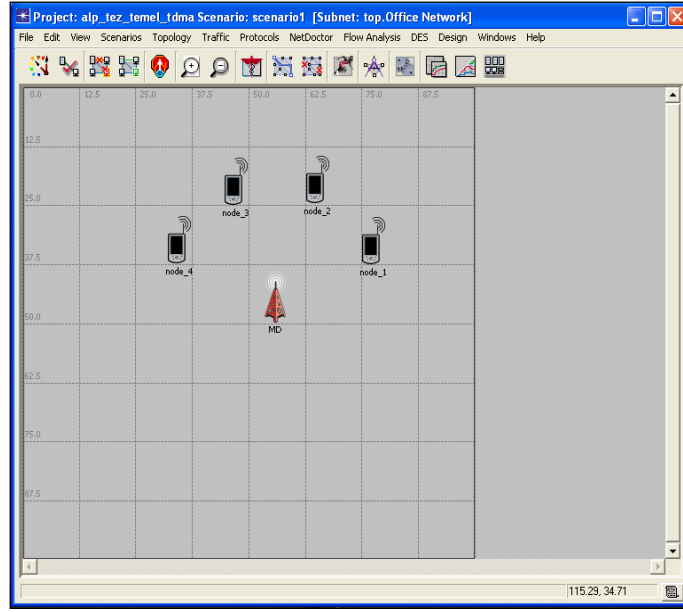
OPNET Modeller benzetim programında yukarıda açıklanan üç ana editör dışında aşağıda ifade edilen özel amaçlara sahip editörler de bulunmaktadır;

- Paket editörü; değişik formatlarda paket oluşturulmasını sağlar.
- Link editörü; özel bağlayıcılar oluşturur.
- Yol editörü; nesnelere için yollar belirler.
- Probe editörü; animasyon sırasında istatistiklerin alınmasını sağlayan bağlantı noktalarını belirler.
- PDF editörü; olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulmasını sağlar.
- Anten editörü; çeşitli özel anten modellerinin elde edilmesini sağlar.

3.3.2. OPNET Modeller ile TDMA tabanlı OEK modeli oluşturulması

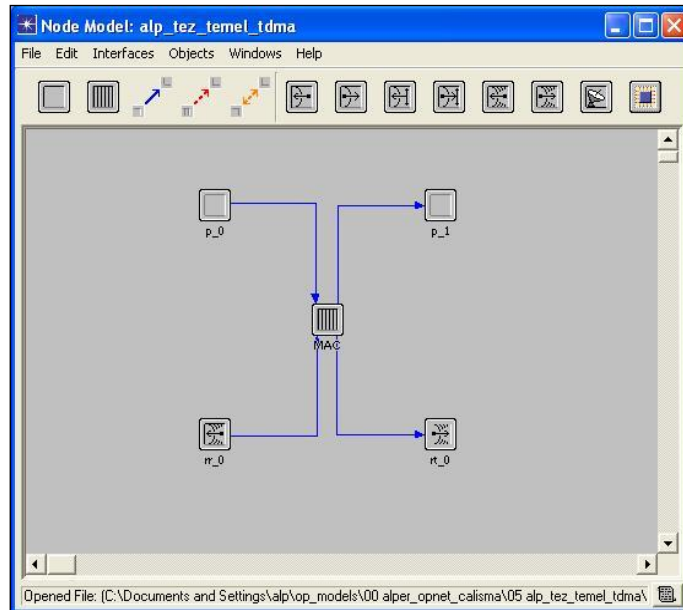
OPNET Modeller benzetim programında KAA OEK modeli oluşturulurken aşağıda belirtilen işlem basamakları sırasıyla takip edilmelidir;

- OEK protokolünün proje editöründe oluşturulması:
OPNET ile KAA'lar için bir OEK geliştirilmeye başlarken öncelikle proje editöründe yeni bir proje oluşturulmalı, çalışılacak alan ve elemanlar seçilmelidir (Şekil 3.5). Topolojinin belirlenmesinin ardından her bir düğüm için iç yapılar oluşturulmalı; diğer bir ifade ile düğüm modelleri belirlenmelidir.



Şekil 3.5: OPNET Modeler yazılımının “proje editörü”nde topolojinin belirlenmesi

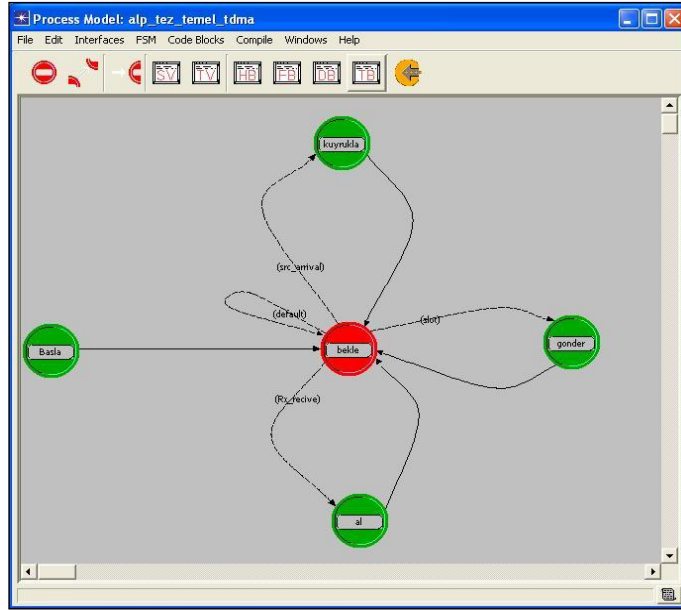
- OEK protokolü düğüm modelinin oluşturulması:
Topolojinin belirlenmesinin ardından her bir elemanın iç yapısı oluşturulmak üzere düğüm modelinde kullanılacak kaynaklar, hedefler, işlemciler, kuyruk yapıları, iletişim kanalları belirlenmeli ve modüller arasındaki bağlantılar amaca uygun olarak gerçekleştirilmelidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: OPNET Modeler yazılımında “düğüm modeli” görünümü

- OEK protokolü süreç modelinin oluşturulması:

Düğüm modeliyle şekillenen iletişim aygıtlarının davranışları durum şemaları aracılığıyla belirlenir. Tüm olasılıklar göz önünde bulundurularak durumlar arasında geçişler oluşturulur (Şekil 3.7). Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus tıkanıklıkların önüne geçilmesi için durumların birbirleri arasındaki bağlantıların ve zorlanmış (forced)/zorlanmamış (unforced) durumların seçilmesidir. Durumlar kesinlikle boşa kalmamalıdır. Zaman ile ilişkili işlemler yapılacaksa (örneğin bir durumda belirli bir süre beklenecekse) “kırmızı” durum (zorlanmamış), gelen paketleri alma ve gerekli değerlendirmeleri yapma gibi zamandan bağımsız işlemler yapılacaksa “yeşil” durum (zorlanmış) seçilmelidir. Ayrıca herhangi bir yerde beklemedeyken durumlar arası geçiş oluşabilmesi için “kendisine dönen” varsayılan bir geçişten faydalanılması da unutulmaması gereken bir diğer husustur.

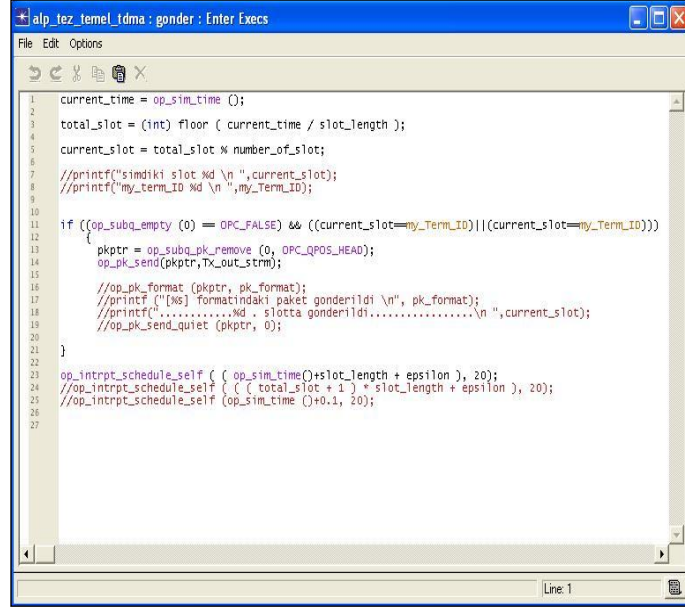


Şekil 3.7: OPNET Modeller benzetim programında “süreç modeli” görüntüsü

- OEK protokolünde proto-C kodları kullanarak süreç modelinde kullanılan durum makinelerinin programlanması:

OPNET ile sistem modellemesinin son aşaması, C kodları ile durum geçişlerinin programlanmasıdır (Şekil 3.8). OPNET’te C veya C++ komutlarının yanında kendine özgü, çeşitli özel işlevleri yerine getiren (paket

üretilmesi, gönderilmesi vs.) komutlar da bulunmaktadır. Her bir durum için gerçekleştirilmesi istenen tüm işlemler bu kısımda uygun program kodları yazılarak ifade edilir.



```
1 current_time = op_sim_time ();
2
3 total_slot = (int) floor ( current_time / slot_length );
4
5 current_slot = total_slot % number_of_slot;
6
7 //printf("simdiki slot %d \n ",current_slot);
8 //printf("my_term_ID %d \n ",my_term_ID);
9
10
11 if ((op_subq_empty (0) == OPC_FALSE) && ((current_slot==my_term_ID)||(current_slot==my_term_ID)))
12 {
13     pkptr = op_subq_pk_remove (0, OPC_QPOS_HEAD);
14     op_pk_send(pkptr,TX_out_strm);
15
16     //op_pk_format (pkptr, pk_format);
17     //printf ("[%s] formatındaki paket gönderildi \n", pk_format);
18     //printf(".....%d. slotta gönderildi.....\n ",current_slot);
19     //op_pk_send_quiet (pkptr, 0);
20
21 }
22
23 op_intrpt_schedule_self ( ( op_sim_time()+slot_length + epsilon ), 20);
24 //op_intrpt_schedule_self ( ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + epsilon ), 20);
25 //op_intrpt_schedule_self (op_sim_time ()+0.1, 20);
26
27
```

Şekil 3.8: Durum makinesinin programlanması

3.4. KAA OEK Analitik Modeli

Bir OEK protokolünün ve içerdiği algoritmaların analitik modelinde ortama erişim için kullanılan iletişim kuralları, haberleşme kanalının kullanımı ve varsa özel durumlar modellenir. Analitik modelde boşa kalma, veri gönderme, kanal kullanılabilirliği ile ilgili olasılıklar bulunur. Bu olasılık ifadeleri kullanılarak birim zamanda aktarılan veri miktarı, haberleşme kanalının kullanım oranı ve başarılı bir iletim için gereksinimler hesaplanabilmektedir [37,38].

KAA sisteminin veya herhangi bir haberleşme ağının analitik modelinin elde edilmesinde referans bir model kullanılmalıdır. KAA'nın temel bileşenlerinden olan fiziksel katman ile diğer katmanlar arasında köprü işlevi gören en önemli birim OEK'dir. Bu nedenle, genel bir analitik model oluştururken de OEK protokolünün modeli üzerine tüm katmanların analitik modeli bina edilebilmektedir. Varsayımlarla model oluşturulabileceği gibi mevcut gerçek verilerle de modeller

oluşturulabilmektedir. Ayrıca, referans bir model, sonraki çıkarılacak modellerde bağımsız bir giriş elemanı olarak kullanılabilir [37,38].

Modellenecek bir ağda öncelikle değerlendirmede kullanılacak parametrelerin belirlenmesi gereklidir. Model çalışmasının amacı da böylelikle ortaya çıkmış olacaktır. Ardından iş yükleri, kurallar ve tanımlamalara göre karakterize edilmelidir. Üçüncü olarak uygulanacak yüklerin zaman aralıkları belirlenmeli ve girişler tanımlanmalıdır.

KAA ortam erişim kontrol protokollerinin modellenmesinde, genellikle kuyruk modelleri kullanılır. Ortam erişiminde kullanılan tekniğin türüne göre farklı kuyruk modelleri oluşturularak başarımlar ölçümleri elde edilir. Sunulan tez çalışmasında da bir KAA OEK sisteminin analitik modelinin elde edilebilmesi için gerekli işlem basamakları açıklanarak, zamanlama tabanlı genel bir model sunulmaktadır.

3.4.1. TDMA tabanlı OEK protokolü için gecikme analizi

Haberleşme sistemlerinin başarımlar değerlendirilmelerinde sıklıkla kuyruk sistemleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni, aynı anda sadece bir işlemin yapılabilmesi ve diğerlerinin sırada bekletilmesidir. Kuyruk teorisi, bilgisayar sistemlerindeki kuyruklarda geçen bekleme sürelerinin hesaplanması ve böylece herhangi bir iş/süreç için sistem içerisinde harcanacak toplam bekleme süresinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır [43,44].

3.4.1.1. Kuyruk modelleri

Herhangi bir sisteme uygun kuyruk modelinin belirlenebilmesi için, bazı karakteristik özelliklerin tanımlanması gereklidir. Bu özellikler;

- Giriş Disiplini / Giriş Süreci (Arrival Process),
- Servis Süresi Dağılımı (Service Time Distribution),
- Servis Sunucu Sayısı (The Number of Servers),
- Sistem Kapasitesi (System Capacity),

- Popülasyon Büyüklüğü (Population Size) ve
- Servis Disiplini (Service Discipline)'dir.

Kuyruk sisteminin tanımlanabilmesi için yukarıda ifade edilen parametreler bilinmelidir. Bunlar genellikle, “Kendall gösterimi” (Kendall notation) adı verilen bir formda ifade edilirler. Kendall gösterimi, “A/S/m/B/K/SD” şeklindeki gibi aralarında “/” bulunan altı parametrenin İngilizce baş harflerinin kısaltılmışıdır [43]. Bu gösterimde:

- A: Gelişler arası süre dağılımını,
- S: Servis süresi dağılımını,
- m: Servis sunucu sayısını,
- B: Tampon sayısını (sistem kapasitesi),
- K: Popülasyon büyüklüğünü ve
- SD: Servis disiplinini

ifade etmektedir.

Bu gösterimdeki gelişler arası (A) ve servis süreleri (S) için genellikle aşağıdaki istatistiksel dağılım kısaltmaları kullanılmaktadır.

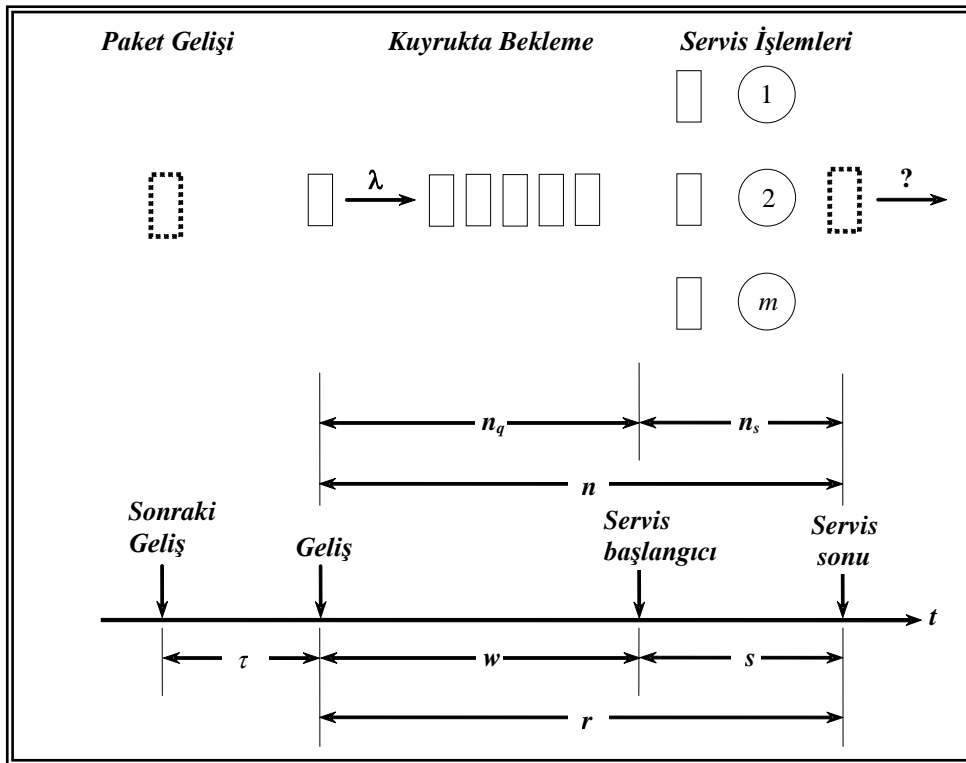
- M: Üstel dağılım,
- D: Deterministik,
- G: Genel dağılım ve
- E_k : k parametrelili Erlang dağılımı.

Örneğin, “M/G/1/5/100/LCFS” gösterimi, gelişler arası sürenin üstel dağılımlı, servis süresinin genel dağılımlı, 1 servis sunuculu, tampon büyüklüğü en fazla 5 olan, toplamda “100 iş için hizmet” verilebilen ve “Son Gelen İlk Hizmet Görür” (LCFS) servis disiplinini kullanan bir kuyruk sistemini tanımlamaktadır.

Kuyruk sistemin değişkenlerinin belirlenmesinin ardından, analitik olarak başarımlı ölçütlerine ait çözümünün yapılması amacıyla çeşitli ifadeler belirlenmiş, böylece

anlaşılabilirlik kolaylaştırılmıştır (Şekil 3.9) [47,48]. Bilgisayar ağları modellemesinde kullanılan bu tanımlamalar aşağıda belirtildiği şekildedir [45].

- τ : Varışlar arası süre (interarrival time), kuyruğa ardışık olarak gelen iki paket arasındaki süredir.
- λ : Ortalama geliş oranı (mean arrival rate), $1/E[\tau]$ 'dir.
- s : Her bir paket için servis süresidir.
- μ : Her bir servis sunucu için ortalama servis oranı, $1/E[s]$ 'dir.
- n : Sistemdeki paket sayısını gösterir (kuyruk uzunluğu) ve bu sayıya servis alan ve kuyrukta bekleyen işler dahildir.
- n_q : Servis almak için kuyrukta bekleyen paket sayısıdır.
- n_s : Servis alan paket sayısını göstermektedir.
- r : Cevap süresi (response time) veya sistemde harcanan toplam süredir. Cevap süresi, servis süresini ve servis almak için kuyrukta beklenen süreyi içerir.
- w : Kuyrukta bekleme süresidir ve geliş süresi ile servisin başlangıç süresi arasında farka eşittir.



Şekil 3.9: Kuyruk sisteminin parametreleri ile gösterimi

Yukarıda verilen tanımlamalarla birlikte kuyruk sisteminin uyması gereken bazı kurallar da bulunmaktadır [45]:

1. Kararlılık durumu: Kuyruk sistemine giren ve sistemi terk eden işler arasında denge bulunmalıdır. Aksi durumda kuyruktaki bekleyen paketlerin sayısı artacak ve sistem kararsız hale gelecektir. Kararlılık durumu için ortalama geliş oranı ortalama servis oranından küçük olmalıdır (Denklem (3.1)).

$$\lambda < m\mu \quad (3.1)$$

Denklemde “m” servis sunucu sayısını göstermektedir.

2. Sistemde ve kuyruktaki paket sayıları: Sistemdeki paket sayısı, kuyruktaki paket sayısı ile işlem gören paket sayılarının toplamıdır (Denklem (3.2)). n , n_q ve n_s rastgele sayılar olduğundan hesaplamalarda ortalama değerleri kullanılır (Denklem (3.3)).

$$n = n_q + n_s \quad (3.2)$$

$$E[n] = E[n_q] + E[n_s] \quad (3.3)$$

3. Kuyruktaki paket sayısı ve zaman: Sisteme gelen paketler, yetersiz tampondan dolayı kaybolmuyorsa (yani tampon kapasitesi sonsuz ise) ortalama paket sayısı;

- Sistemdeki ortalama iş sayısı = Geliş oranı x Ortalama servis süresi
 - Kuyruktaki ortalama iş sayısı = Geliş oranı x Ortalama bekleme süresi
- olarak hesaplanır.

4. Sistemdeki ve kuyruktaki süreler: Bir paketin sistemdeki bekleme süresi kuyruktaki bekleme süresi ile hizmet alma süresinin toplamıdır (Denklem (3.4)).

$$r = w + s \quad (3.4)$$

$r + w$ ve s rastgele sayılar olduğundan hesaplamalarda ortalamaları kullanılmaktadır (Denklem (3.5)).

$$E[r] = E[w] + E[s] \quad (3.5)$$

3.4.1.2. TDMA tabanlı OEK sistemlerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi

Öncelikle analitik modeli çıkarılacak OEK protokolünün, hesaplanması gereken değerlendirme ölçütleri seçilerek, gerekli giriş değişkenleri belirlenir. Kuyruk teorisi kullanılarak modellenecek OEK için gelişler arası süre ve servis süresi dağılımları, analitik model çıkarmada temel teşkil edeceğinden detaylı bir şekilde belirlenmelidir.

Bu tez çalışmasında hedeflenen genel KAA OEK protokolü, zamanlama tabanlı olduğundan, M/D/1 kuyruk modeline uymaktadır [45,46,49], çünkü işlem zaman aralıkları sabit ve belirlidir. “M (*Memoryless*)” paketler arası varış süresinin (interarrival time) üstel, “D (*Deterministic*)” servis süresinin sabit, “1” ise servis sunucunun bir adet olduğunu göstermektedir. Ayrıca M/D/1 kuyruk modeli de, genel kuyruk çözümleri arasında M/G/1 yapısına uymaktadır [43,45]. Bunun nedeni, servis süresine herhangi bir istatistiksel dağılımın uygulanabilmesidir. Bu modelde M/D/1 modeline benzer şekilde, “M” üstel dağılımı, “G” genel dağılımı ve “1” servis sunucu sayısının bir olduğunu göstermektedir.

M/G/1 kuyruk sistemini çözmek amacıyla geliştirilmiş çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Residual Life, Embedded Markov Chain, Supplementary Variables vs.) [45]. Tez çalışmasında oluşturulan analitik modelde, Gömülü Markov Zinciri (Embedded Markov Chain) yönteminden elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise “Residual Life” yönteminin sadece bir değişkeni bulması ve “Supplementary Variables” yönteminin çözümünün zor olmasıdır.

Sistemdeki paket sayılarını ifade eden denklemlerin uygun şekilde çıkartılması M/G/1 kuyruk modelinin tanımlanabilmesi için başlangıç şartı sayılabilir. Bunun için zaman içerisinde özel gözlem noktalarının belirlenmesi gereklidir. En uygun gözlem noktası paketin sistemden çıktığı andır. Paketin çıkış noktasının dışında kalan diğer gözlem noktaları, sisteme giren paketlerin ne zaman sistemden ayrılacağına rastgele

(stokastik) olmasından dolayı daha karmaşık matematiksel ifadelerin oluşmasına yol açmaktadır. M/G/1 kuyruk sistemine paket çıkış noktalarından bakılırsa, sistemden çıkan bir paketten sonra kalan paketlerin sayısını ifade eden denklemler, ayrık Markov Zincirini (Discrete Markov Chain), diğer bir ifade ile sürekli–zaman sürecinde M/G/1 kuyruk sisteminin Gömülü Markov Zincirini (Embedded Markov Chain) oluşturur [43,45].

Bu tez çalışmalarında M/G/1 kuyruk sistemini çözmek için Gömülü Markov Zinciri (Embedded Markov Chain) yöntemi kullanılmış ve bu modelden elde edilen sonuçlardan M/D/1 modeline ait başarımleri aşağıdaki şekilde çıkartılmıştır [43,45,46].

Sistemdeki paket sayılarını ifade eden denklemlerin uygun şekilde çıkartılması M/G/1 kuyruk modelinin tanımlanabilmesi için başlangıç şartı sayılabilir. Bunun için zaman içerisinde özel gözlem noktalarının belirlenmesi gereklidir. En uygun gözlem noktası paketin sistemden çıktığı andır. Paketin çıkış noktasının dışında kalan diğer gözlem noktaları, sisteme giren paketlerin ne zaman sistemden ayrılacağına stokastik (rastgele) olmasından dolayı daha karmaşık matematiksel ifadelerin oluşmasına neden olmaktadır. M/G/1 kuyruk sistemine paket çıkış noktalarından bakılırsa, sistemden çıkan bir paketten sonra kalan paketlerin sayısını ifade eden denklemler, ayrık Markov Zincirini (Discrete Markov Chain), diğer bir ifade ile sürekli–zaman sürecinde M/G/1 kuyruk sisteminin Gömülü Markov Zincirini (Embedded Markov Chain) oluşturur [43,45].

M/G/1 kuyruk sisteminin Gömülü Markov Zinciri ile tanımlanabilmesi için herhangi bir t anında sistemde bulunan paket sayısını ifade eden $Q(t)$ ile, t anında servis sunulan bir paket varsa, bu paket için harcanan servis süresini gösteren $R(t)$ 'nin bilinmesi gereklidir. Burada $Q(t)$ ayrık, $R(t)$ ise süreklidir. Birbirlerinden farklı olmaları ise kuyruk analizini zorlaştırmaktadır. Eğer sisteme paket çıkışlarından hemen sonra bakılırsa durum tanımlaması sadece bir değişken ile yapılabilmekte ve bu şekilde Gömülü Markov Zinciri oluşturulabilmektedir. Bu durumu daha açık ifade edebilmek için; $t_0 = 0, t_1, t_2, \dots$ anları, paketlerin sistemden çıkış noktaları olarak

düşünüldüğünde ve $Q(t_n+0)=Q_n$ şeklinde tanımlandığında, $Q(n)$, kuyruktan n .paketin çıkışından hemen sonraki $Q(t)$ değeri olur. Burada çıkış noktaları olan $\{t_n, n=0,1,2,\dots\}$ anlarında $R(t)$ sıfıra eşittir. Bu durumda M/G/1 kuyruk modeli, sadece kuyruk büyüklüğü $Q(n)$ ile Gömülü Markov Zinciri kullanılarak ifade edilebilir [45].

Gömülü Markov Zincirinin $p_{i,j}$ geçiş olasılıklarının tanımlanabilmesi için, bir servis süresi boyunca n paket gelme olasılığı a_n olarak tanımlanır. Burada $a_n = P[X_n = n]$ bir servis periyodu boyunca $B(t)$ dağılımı ile ifade edilen n geliş olasılığını göstermektedir. Servis süresi t ile belirtilirse, bu durumda $X, \lambda t$ parametresine sahip Poisson dağılımı ile olur ve a_n aşağıdaki gibi ifade edilir (3.6);

$$a_n = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} f_B(t) d(t), \quad n=0,1,2,\dots \quad (3.6)$$

M/G/1 kuyruk sisteminde X_n rastgele değişkeni, bir servis süresi (S_n) boyunca kuyruğa giren paket sayısını gösterirse, Q_n ile Q_{n+1} arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur;

$$Q_{n+1} = \begin{cases} Q_n + X_{n+1} - 1, & Q_n > 0 \\ X_{n+1}, & Q_n = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklem (3.7)'in ilk ifadesinde; $(n+1)$ paketin sistemden ayrılmasıyla geriye kalan paketlerin sayısı, n . paketin sistemden ayrılmasıyla geriye kalan paketlerin sayısı (Q_n) ile $(n+1)$ paketin servis süresi boyunca sisteme gelen paket sayısı X_{n+1} toplamından 1 çıkarılarak bulunur. İkinci ifadede ise; t_n anında gelen paketin sistemden ayrılmasıyla, kuyrukta kalan paket sayısı $Q_{n+1} = 1 - 1 + X_{n+1}$ olur.

Yukarıdaki iki ifade göz önüne alındığında $\{Q_n, n=0,1,2,\dots\}$ ifadesinin bir Markov zinciri oluşturduğu görülmektedir. Bu Markov zincirinin parametre uzayı çıkış

noktalarını oluştururken, durum uzayı $S = \{0,1,2,\dots\}$ sistemdeki paket sayısını ifade etmektedir. Parametre uzayının gömülü yapısından dolayı, bu Markov zinciri ‘Gömülü Markov Zinciri’ olarak adlandırılır [43,45,47].

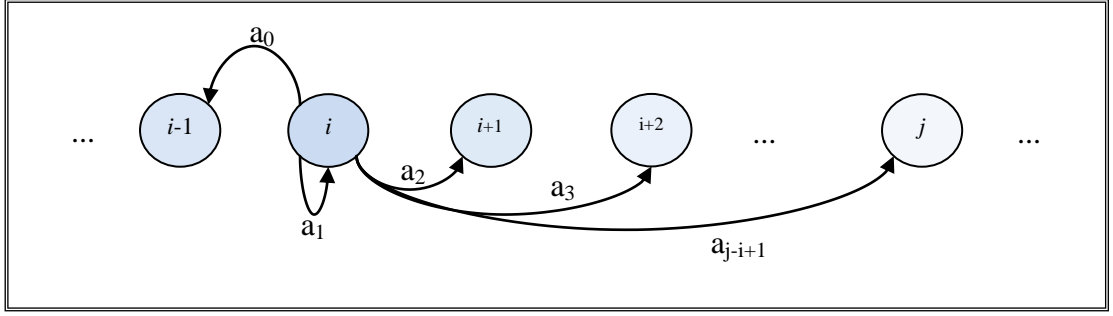
Gömülü Markov Zincirinin $p_{i,j}$ geçiş olasılıkları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\begin{aligned}
 p_{i,j} &= P(Q_{n+1} = j | Q_n = i) \\
 &= \begin{cases} P(X_{n+1} = j-i+1), & i > 0 \\ P(X_{n+1} = j), & i = 0 \end{cases} \quad (3.8) \\
 &= \begin{cases} a_{j-i+1}, & i > 0 \\ a_j, & i = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Denklem (3.8)’da verilen geçiş olasılıkları kullanılarak aşağıdaki geçiş olasılık matrisi P elde edilir.

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & \dots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \vdots \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots \\ a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots \\ 0 & a_0 & a_1 & a_2 & \dots \\ 0 & 0 & a_0 & a_1 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)’da verilen geçiş olasılıkları kullanılarak Şekil 3.10’te gösterilen durum geçiş diyagramı elde edilir.



Şekil 3.10: M/G/1 Gömülü Markov Zinciri durum geçiş diyagramı.

M/G/1 kuyruk sisteminden elde edilen Gömülü Markov Zinciri periyodik değildir ve indirgenememektedir. Sistemdeki servis sunucu, paket gelişlerine yetecek kadar hızlı olduğunda veya ortalama servis süresinin, gelişler arası süreden daha küçük olduğu durumlarda 0. durum sürekli tekrar eder.

Gömülü Markov Zincirinin kararlı durum dağılımı (Steady-state distribution, limiting distribution) ve kararlı durum eşitlikleri Denklem (3.9)'daki geçiş olasılık matrisi ile aşağıdaki gibi elde edilir;

$$p_i = p_{i+1}a_0 + p_i a_1 + \dots + p_1 a_i + p_0 a_i \quad (3.10)$$

$$p_i = \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} a_n + p_0 a_i, \quad i = 0, 1, \dots \quad (3.11)$$

Sistemin kararlı durum denklemlerini çözmek için fonksiyon üretme (generating function) yöntemi kullanılarak bir servis süresi boyunca gelen paket sayısının PGF (Probability Generating Function)'si ve sistemdeki paket sayısının PGF'si aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$A(z) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i z^i, \quad P(z) = \sum_{i=0}^{\infty} p_i z^i \quad (3.12)$$

Bir servis süresi boyunca gelen paket sayısının PGF 'si bulunursa;

$$A(z) = \sum_{n=0}^{\infty} P[A_k = n] z^n \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned}
A(z) &= \sum_{n=0}^{\infty} \int_{t=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} f_B(t) dt z^n \\
&= \int_{t=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t z)^n}{n!} e^{-\lambda t} f_B(t) dt \\
&= \int_{t=0}^{\infty} e^{-\lambda t} e^{\lambda t z} f_B(t) dt \\
&= \int_{t=0}^{\infty} f_B(t) e^{-(\lambda - \lambda z)t} dt
\end{aligned}$$

Laplace dönüşümünün tanımı aşağıda ifade edilen Denklem (3.14)'deki gibi olduğundan;

$$F(s) = \int_{t=0}^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad (3.14)$$

$$A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z) \text{ denklemi elde edilir.} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)'deki \tilde{B} , B 'nin Laplace dönüşümüdür. Sistemin kararlı durumdaki paket sayısının PGF'si aşağıdaki gibi olur;

$$\begin{aligned}
P(z) &= \sum_{i=0}^{\infty} \left(\sum_{n=0}^i p_{i+1-n} a_n + p_0 a_n \right) z^i \\
&= z^{-1} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + \sum_{i=0}^{\infty} p_0 a_i z^i \\
&= z^{-1} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + \sum_{i=0}^{\infty} p_0 a_i z^i \\
&= z^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=n}^{\infty} p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + p_0 A(z) \\
&= z^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n \sum_{i=n}^{\infty} p_{i+1-n} z^{i+1-n} + p_0 A(z) \\
&= z^{-1} A(z) (P(z) - p_0) + p_0 A(z)
\end{aligned} \quad (3.16)$$

$$= \frac{p_0 A(z)(1-z^{-1})}{1-z^{-1}A(z)}$$

Böylece Denklem (3.17) elde edilmiş olur.

$$P(z) = \frac{p_0 A(z)(z-1)}{z-A(z)} \quad (3.17)$$

Denklem (3.16)'de p_0 sistemin boş olduğu zaman parçasıdır. Buradan $p_0 = 1-\rho$ olarak elde edilir. Bu eşitlik Denklem (3.17)'de yerine konulursa Denklem (3.18)'daki ifade bulunur;

$$P(z) = \frac{(1-\rho)(1-z)A(z)}{A(z)-z} \quad (3.18)$$

Denklem (3.15)'da elde edilen $A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z)$ ifadesi Denklem (3.18)'de yerine yazılırsa;

$$P(z) = \frac{(1-\rho)\tilde{B}(\lambda - \lambda z)(1-z)}{\tilde{B}(\lambda - \lambda z) - z} \quad (3.19)$$

elde edilir. Denklem (3.15) kullanılarak bir servis süresince boyunca gelen paket sayılarının birinci ve ikinci momentleri bulunabilir.

$$A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z) \quad (3.20)$$

$$A'(z) = -\lambda \tilde{B}'(\lambda - \lambda z) \quad (3.21)$$

$$A''(z) = \lambda^2 \tilde{B}''(\lambda - \lambda z) \quad (3.22)$$

$$A(1) = \tilde{B}(0) = 1 \quad (3.23)$$

$$A'(1) = \lambda \tilde{B}'(0) = \lambda E[X] = \rho \quad (3.24)$$

$$A''(1) = \lambda^2 \tilde{B}''(0) = \lambda^2 E[X^2] \quad (3.25)$$

Denklem (3.24)'te $E[X]$ ortalama servis süresini göstermektedir. Denklem (3.18)'in türevi alınarak kuyruğun uzunluğu bulunabilir.

$$P(z) = \frac{(1-\rho)(1-z)A(z)}{A(z)-z} \quad (3.26)$$

$$P(z)(A(z)-z) = (1-\rho)(1-z)A(z) \quad (3.27)$$

Denklem (3.27)'nin 1. türevi alınır;

$$P'(z)(A(z)-z) + P(z)(A'(z)-1) = (1-\rho)(A'(z)(1-z) - A(z)) \quad (3.28)$$

Denklem (3.27)'in 2. türevi alınır;

$$\begin{aligned} P'(z)(A'(z)-1) + P''(z)(A(z)-z) + P(z)A''(z) + P'(z)(A'(z)-1) \\ = (1-\rho)[-A'(z) + A''(z)(1-z) - A'(z)] \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} P''(z)(A(z)-z) + 2P'(z)(A'(z)-1) + P(z)A''(z) \\ = (1-\rho)[-2A'(z) + A''(z)(1-z)] \end{aligned} \quad (3.30)$$

$z = 1$ değeri için aşağıdaki ifadeler yerlerine konulursa;

$$P(1) = 1 \quad (3.31)$$

$$A(1) = \tilde{B}(0) = 1 \quad (3.32)$$

$$A'(1) = \lambda \tilde{B}'(0) = \lambda E[X] = \rho \quad (3.33)$$

$$A''(1) = \lambda^2 \tilde{B}''(0) = \lambda^2 E[X^2] \quad (3.34)$$

$$\begin{aligned} P''(1)(A(1)-1) + 2P'(1)(A'(1)-1) + P(1)A''(1) \\ = (1-\rho)[-2A'(1) + A''(1)(1-1)] \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$2P'(1)(\rho-1) + \lambda^2 E[X^2] = (1-\rho)[-2\rho] \quad (3.36)$$

$$P'(1) = \frac{(1-\rho)(-2\rho) - \lambda^2 E[X^2]}{2(\rho-1)} \quad (3.37)$$

$$P'(1) = E[N] = \rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1-\rho)} \quad (3.38)$$

Sistemdeki ortalama paket sayısı ($E[N]$):

$$E[N] = \rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1-\rho)} \quad (3.39)$$

olarak elde edilir [43,45,49].

3.4.1.3. TDMA tabanlı OEK sistemlerinin uçtan uca paket gecikmelerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi

Sistemdeki ortalama paket sayısı (Denklem (3.39)) ve ‘‘Little kuralı’’ kullanılarak sistemde harcanan ortalama süre aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$E[N] = \lambda x E[W] \quad (3.40)$$

$$\rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1-\rho)} = \lambda x E[W] \quad (3.41)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.42)$$

$$\mu = \frac{1}{E[x]} = \frac{\lambda}{\rho} \quad (3.43)$$

$$E[W] = \frac{\rho}{\lambda} + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1-\rho)} \quad (3.44)$$

$$E[W] = E[X] + \frac{\lambda E[X^2]}{2(1-\rho)} \quad (3.45)$$

$$E[W] = E[X] + \frac{\rho E[X]}{2(1-\rho)} \quad (3.46)$$

3.4.2. TDMA tabanlı OEK protokolü için kanal kullanım analizi

Kanal kullanım oranı (utilization), kablosuz kanal kapasitesinin birim zamandaki kullanımını gösteren başarımlı ölçütüdür. TDMA sistemler için paketlerin sisteme geliş oranları (Inter Arrival Time, IAT), çerçeve büyüklüğü (Frame Length, F_L), ve paket boyutları (Packet Length, P_L) kablosuz kanalın kullanımına etki eden değişkenlerdir. Sistem kapasitesinin kullanım verimliliğini gösterdiğinden, kablosuz yapılar tasarlanırken değerlendirilmesi gereken bir başarımlı ölçütüdür. Paket büyüklüğüne ve varışlar arası süreye göre kanal kullanım oranı analitik modelleri aşağıda belirlenen parametreler kullanılarak elde edilebilir.

- R_{Tx} : Kablosuz kanalda bilgi alış verişi için kullanılacak hız (bit/sn)
- F_S : Çerçeve bulunan dilim (slot) sayısı
- S_L : Zaman diliminin uzunluğu (sn)
- P_L : Paketin büyüklüğü (bit)
- C_S : Zaman dilimin kapasitesi (bit)
- F_L : Çerçeve uzunluğu (sn)
- C_F : Çerçeve kapasitesi (bit)
- U : Kanal kullanım oranı (%)
- U_c : Merkezi düğüm kanal kullanım oranı
- U_n : Düğüm kanal kullanım oranı
- N : Sistemdeki toplam düğüm sayısı

Bir zaman diliminin en fazla taşıyabileceği bit sayısı Denklem (3.47) ile hesaplanabilir. Gönderilecek paketin büyüklüğü arttığında kanal kullanım oranı da artmaktadır. Fakat Denklem (3.47)'den elde edilen değerdeki bit kapasitesi aşıldığında merkezi düğümde çarpışmalar meydana gelecektir. Bu, haberleşme ağları

için istenmeyen bir durumdur. Paketler arası gelişlere göre kanal kullanımının belirlenebilmesi için bir zaman diliminde gönderilecek paketin büyüklüğü üst sınır değerinin altında seçilmelidir. Bu doğrultuda çerçeve kapasitesi (Denklem (3.49)), ardından da kanal kullanım oranları (Denklem (3.50) ve (3.51)) aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir.

$$C_s = R_{Tx} \times S_L \quad (3.47)$$

$$F_L = F_s \times S_L \quad (3.48)$$

$$C_F = R_{Tx} \times F_L \quad (3.49)$$

$$U = \left(\frac{P_L}{\left(\frac{IAT}{F_L} \times C_F \right)} \right) \times 100 \quad (3.50)$$

$$U = \left(\frac{P_L}{IAT \times R_{Tx}} \right) \times 100 \quad (3.51)$$

Merkezi düğüm için kanal kullanım oranı, kendisine bilgi gönderen algılayıcı düğümlere göre belirleneceğinden merkezi düğüm kanal kullanım oranı;

$$U_c = U_n \times N \quad (3.52)$$

şeklinde bulunabilir.

3.4.3. TDMA tabanlı OEK protokolü için enerji tüketimi analizi

Bir KAA düğümü verilerin alınması, gönderilmesi ve boşa bekleme durumlarında farklı büyüklüklerde güç tükettiğinden, analitik modelin elde edilmesinde bu durumlar göz önünde bulundurularak işlemler gerçekleştirilir.

KAA düğümleri incelendiğinde, düğümlerdeki enerji tüketiminin en yoğun olduğu durumlar, düğümler arasındaki veri alma ve gönderme durumlarıdır. Ayrıca diğer durumlara ait tüketim miktarları da modelde bulunmalıdır. Tüm bu değişkenler göz önüne alınarak denklemler aşağıdaki gibi çıkarılabilir;

- ST : Benzetim zamanı (sn)
- R_{Tx} : Kablosuz kanalda bilgi alış verişi için kullanılacak hız (bit/sn)
- F_S : Çerçeve de bulunan dilim (slot) sayısı
- S_L : Zaman diliminin uzunluğu (sn)
- P_L : Paketin büyüklüğü (bit)
- F_L : Çerçeve uzunluğu (sn)
- T_F : Güç tüketimi bulunacak süre içerisindeki toplam çerçeve sayısı
- S_t : Bir paketin gönderilme/alınma süresi
- T_{CE} : Bir dilimde gönderme yapmak için harcanan enerji
- R_{CE} : Bir dilimde alma yapmak için harcanan enerji
- \dot{I}_{CE} : Boşta beklerken harcanan enerji
- P_{Tx} : Kablosuz olarak veriyi gönderebilmek için birim zamanda harcanan güç
- P_{Rx} : Kablosuz olarak veriyi alabilmek için birim zamanda harcanan güç
- P_{idle} : Kablosuz olarak veriyi beklerken birim zamanda harcanan güç

Harcanacak enerji zamanla orantılı olduğundan oluşturulacak modelde de zamana bağlı fonksiyonlar kullanılmalıdır. TDMA yapılarında zamanlamalar dilimlere (slot) ve çerçevelere göre değişmektedir. Bu iki değişken belirlendiğinde teorik olarak sonsuza kadar aynı zamanlar birbirlerini takip edecektir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus Denklem (3.47)'de belirtilen, bir zaman dilimi için en fazla bit kapasitesinin dikkate alınması ve buna uygun paket boyutunun seçilmesidir. Paket boyutu bu sınırlar içinde ise, paketlere göre zaman dilimi enerji tüketimleri hesaplanarak bir çerçevede harcanan enerjinin bulunması ve istenilen herhangi bir süre için toplam enerji tüketiminin belirlenebilmesi mümkün olur. Çerçeve boyutu;

$$F_L = F_S \times S_L \quad (3.53)$$

denklemlerle bulunur. İstenen süre içerisinde düğümlerde ne kadar enerji harcanan enerji miktarının belirlenebilmesi için ise geçen çerçeve sayısının bulunması gereklidir. Varışlar arası sürenin çerçeve boyutundan küçük olduğu durumlarda çerçeve sayısı;

$$T_F = \frac{ST}{F_L} \quad (3.54)$$

şeklinde hesaplanır. Ancak yüke göre yapılan enerji tüketim hesaplarında her bir çerçevede gönderilecek paketin bulunmaması durumlarının göz önüne alınması gereklidir. Bu da ancak varışlar arası sürede geçen çerçeve sayısı belirlenerek yapılabilir. Denklem (3.54)'deki toplam çerçeve sayısı varışlar arası süre ve çerçeve yapısı oranına göre düzenlenirse;

$$T_F = \frac{ST}{F_L} \times \frac{F_L}{IAT} \quad (3.55a)$$

$$T_F = \frac{ST}{IAT} \quad (3.55b)$$

formülüyle hesaplanabilir. Varışlar arası süreye göre denklem (3.54) ve (3.55a) ifade edildiğinde ise;

$$T_F = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{ST}{F_L} & IAT \leq F_L \\ \frac{ST}{IAT} & IAT > F_L \end{array} \right\} \quad (3.56)$$

denklem kümesi elde edilebilir.

Çerçevede harcanan enerjiler, bir zaman dilimi içinde paketin ne kadar sürede gönderilebileceği ve alma, gönderme, boşa kalma durumlarına göre bu sürenin çarpılmasıyla belirlenir. Paketin ne kadar sürede gönderilebileceği;

$$St = \frac{P_L}{R_{Tx}} \quad (3.57)$$

Gönderme işleminde harcanan enerji;

$$T_{CE} = S_t \times P_{Tx} \quad (3.58)$$

Alma işleminde harcanan enerji;

$$R_{CE} = S_t \times P_{Rx} \quad (3.59)$$

Boşta beklenirken harcanan enerji;

$$\dot{I}_{CE} = (F_L - S_t) \times P_{idle} \quad (3.60)$$

denklemleriyle hesaplanır.

Alma, gönderme ve boşta kalma durumları tanımlanıp harcanan enerjilerin belirlenmesiyle toplam tüketilen enerjiler Denklem (3.61) yardımıyla çıkarılabilecektir.

$$T_E = (T_{CE} + R_{CE} + \dot{I}_{CE}) * T_F \quad (3.61)$$

3.5. Sonuç

Bu bölümde haberleşme sistemlerinin modellenmesi için kullanılan yöntemler karşılaştırılarak olumlu, olumsuz ve üstün yönleri açıklanmıştır. Büyük çaplı ve hassas işlemler içeren bir sistem kurulacaksa ilk örnek yöntemi tercih edilirken, ilk örnek yönteminin gerçekleştirilmesinin zor olduğu durumlarda benzetim yöntemi ve onu destekler nitelikte olan, ayrıca maliyet etkin ve hızlı çözüm sunan analitik yöntem kullanılması gerektiği değerlendirilmiştir. Tek yöntem kullanılması durumunda model geliştirilirken yapılan muhtemel hatalar dolayısıyla doğru/güvenilir sonuçlar elde edilemeyebilir. Bu nedenle herhangi iki modelleme yöntemini birlikte kullanarak sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca tez çalışmasında, değerlendirmede kullanılacak TDMA OEK protokolü başarımlı ölçütleri ortalama uçtan uca gecikme (End to End Delay), kanal kullanım oranı (Utilization) ve enerji tüketimi (Energy Consumption) olarak belirlenmiş, analitik ve benzetim modelleri elde edilmiştir. Elde edilen formüller örnek bir ağ uygulaması için bir sonraki bölümde kullanılmaktadır.

4. ÖRNEK BİR MODELLEME VE BAŞARIM DEĞERLENDİRİLMESİNİN TDMA TABANLI KAA OEK PROTOKOLÜ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

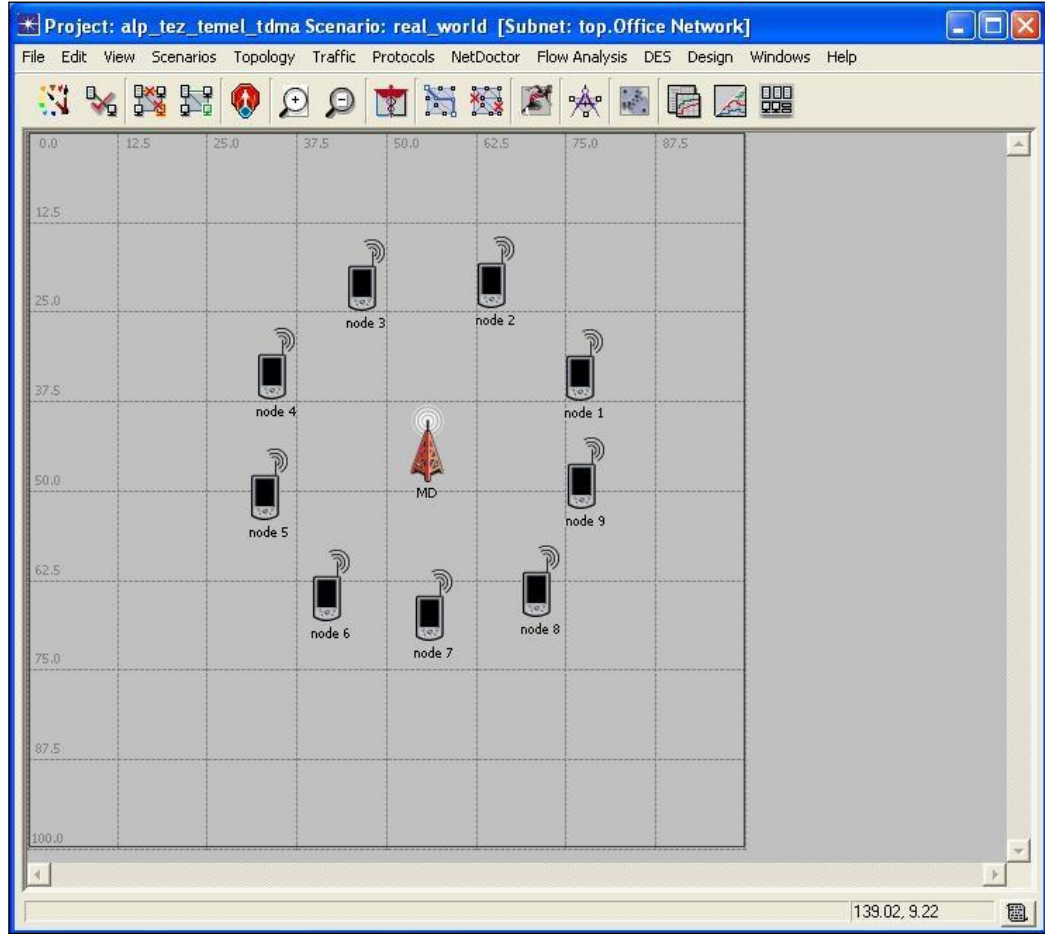
4.1. Giriş

Bu bölümde, TDMA tabanlı bir OEK protokolünün örnek bir KAA uygulamasındaki benzetimi ve analitik modeli elde edilmektedir. Benzetim modeli OPNET yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmekte ve buradan elde edilen sonuçların analitik modelden elde edilen sonuçlar ile doğrulanması yapılmaktadır. Sonuçların karşılaştırılmasında farklı yüklerde uçtan-uca gecikmeler, enerji tüketimleri ve kanal kullanım oranları başarımlar ölçütleri olarak değerlendirilmiştir.

4.2. TDMA Tabanlı OEK OPNET Benzetim Modeli

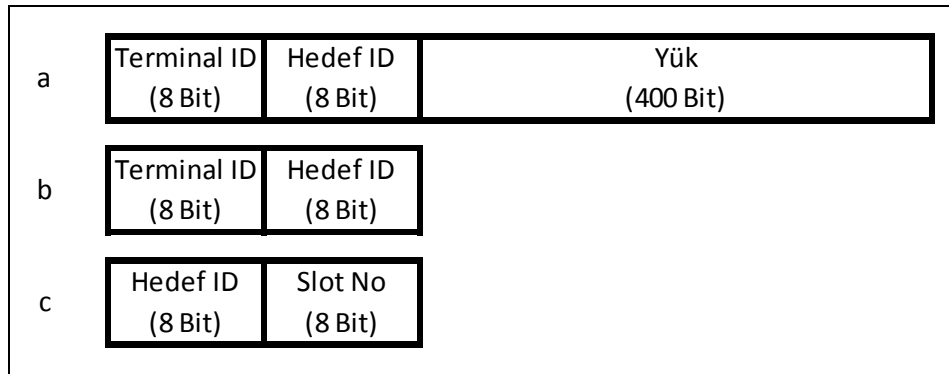
Tez çalışmasında Bölüm 3'te kısaca anlatılan OPNET Modeler kullanımı doğrultusunda Temel TDMA tabanlı OEK kullanan bir benzetim gerçekleştirilmiştir. Merkezi düğümlü olarak tasarlanan uygulama senaryosunda düğümler kendi zaman dilimlerini bilmemekte ve uyandıklarında merkezi düğümden zaman dilimi isteğinde bulunmaktadır. Merkezi istasyondan gelen cevap doğrultusunda her düğüm kendi zaman dilimi geldiğinde kuyrukta verisi varsa göndermektedir.

TDMA tabanlı sistemlerde en önemli sorunlardan birisi senkronizasyondur. Gerçekleştirilen senaryoda düğümler senkron kabul edilmiş ve senkronizasyon için herhangi bir işlem gerçekleştirilmemiştir. KAA'larda genellikle paket yapıları değişmediğinden sonuçlar yükler değiştirilerek alınmıştır. Şekil 4.2'de gösterilen üç farklı tipte paket kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Temel TDMA OEK proje görünümü

Benzetim modelinde Crossbow firmasının MICAz algılayıcı düğümünde kullanılan değişkenler referans alınmıştır [51]. Bu değişkenler Tablo 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.2: Temel TDMA OEK benzetiminde kullanılan paket yapıları: a) Veri paketi
b) Zaman dilimi istek paketi c) Zaman dilimi cevap paketi

Tablo 4.1: Benzetim değişkenleri

Değişken	Değeri
Alan	100 x 100 m ²
Düğüm Sayısı	9
Güç	10 mW
Benzetim Çalışma Süresi	3600 sn
Paket Boyutu	52 Bayt
Yük	0,01–4 (Paket/sn)
Zaman Dilimi Genişliği	50 ms
Modülasyon Tekniği	QPSK
Veri İletim Hızı (Data rate)	250 Kbps
Frekans	2400 MHz (ISM)
Çerçeve Zaman Dilimi Sayısı	10
Kanal Modeli	Engelsiz (Free Space) Yayılım Modeli
Topoloji	Merkezi Düğümlü

4.2.1. Merkezi düğüm düğüm modeli

Şekil 4.3’te görülen merkezi düğüm düğüm modeli, dört modül ve bunların birbirleri ile bağlantısını sağlayan iletim hatlarından oluşur.

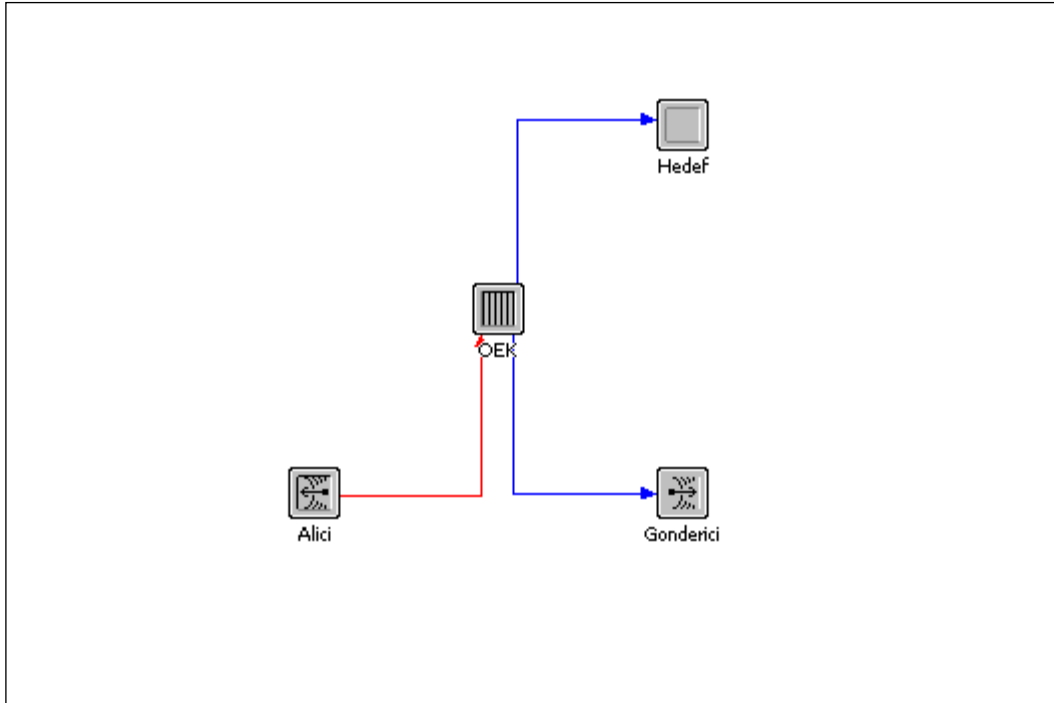
“Hedef” modülü, algılayıcı düğümlerden gelen veri paketlerini alarak, istatistiksel bilgilerin elde edilebilmesi için hedef (SINK)’e gönderir. Hedef alıcı sayesinde üye istasyonlarda üretilen paketlerin, merkezi düğümde elde edilinceye kadar geçen süreler tespit edilmektedir.

“OEK” modülü, zaman dilimi isteği toplama, bunlara cevap verme ve gönderilen veri paketlerini alıp değerlendirme olmak üzere üç farklı işlem gerçekleştirmektedir;

- Zaman dilimi isteklerini toplama:Merkezi düğüm; zaman dilimi isteklerini gelme sıralarına göre değerlendirmekte ve sıradaki boş zaman dilimini (eğer varsa) istekte bulunan algılayıcı düğümüne tahsis etmektedir.
- Algılayıcı düğümüne zaman dilimi tahsisi ve bildirimini;merkezi düğüm, zaman dilimi isteklerine bir cevap paketi ile karşılık vererek, tahsis edilen zaman dilimini algılayıcı düğümüne bildirmektedir.
- Veri paketlerinin toplanması ve değerlendirilmesi; algılayıcı düğümlerden gelen veri paketlerini alarak, istatistiksel bilgilerin elde edilebilmesi için hedef (sink)'e gönderir.

“Alici” ve “Gonderici” modülerinde OEK ile kablosuz ortam arasında bağlantı sağlanarak paketlerin kablosuz olarak diğer düğümlere gönderilmesi sağlanır.

“İletim hatları”, modülleri birbirlerine bağlayarak, aralarındaki veri iletimini tanımlamak için kullanılır.



Şekil 4.3: Merkezi düğüm düğüm modeli

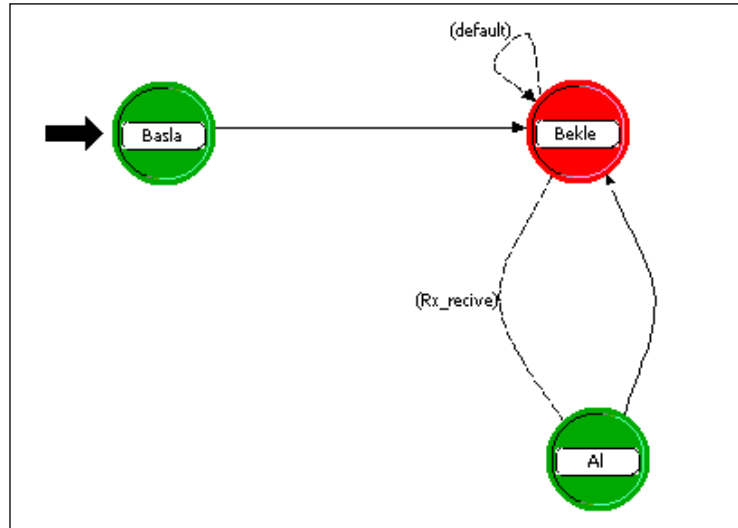
4.2.1.1. Merkezi düğüm süreç modeli ve algoritması

Şekil 4.4'te kablosuz algılayıcı düğüm modelinin içerisinde kullanılan OEK katmanının süreç modeli ve Şekil 4.5'te algılayıcı düğüm akış diyagramı görülmektedir. Buradaki her bir durum makinesinin işlevi aşağıda açıklanmaktadır;

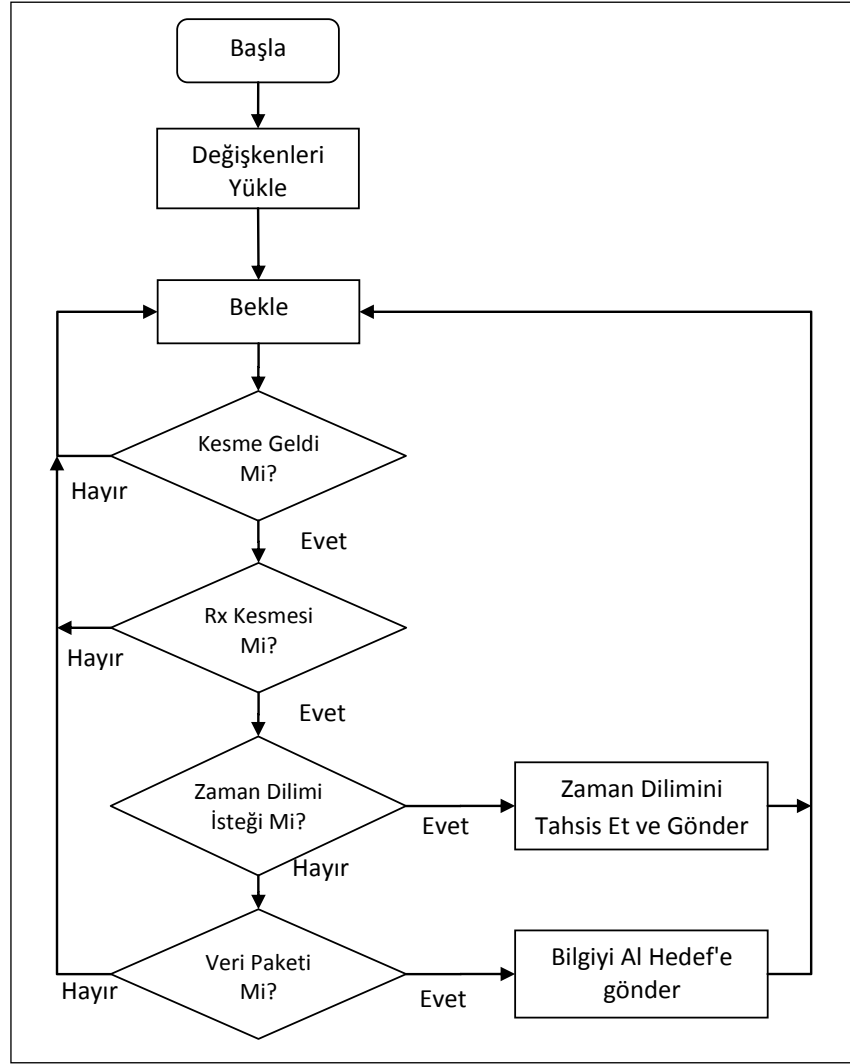
“Basla” durum makinesi, KAA düğümü çalışmaya başladığında gerekli durum değişkenlerinin ilk değerlerinin yüklenmesi ve istatistiksel tanımlarının yapılması için kullanılır.

“Bekle” durum makinesi, gönderilecek veya alınacak veri olmadığı durumlarda kesme oluşması için beklenen durumdur.

“Al-Gonder” durum makinesi, alıcı modülünden paket geldiğinde etkinleşerek, alınan paketin tipine göre, paketi hedefe veya cevap paketi oluşturarak göndericiye iletir.



Şekil 4.4: Merkezi düğüm süreç modeli



Şekil 4.5: Merkezi düğüm süreç modeli algoritması

4.2.2. Algılayıcı düğüm düğüm modeli

Şekil 4.6'da görülen algılayıcı düğüm düğüm modeli, dört modül ve bunların birbirleri ile bağlantısını tanımlayan iletim hatlarından oluşur.

“Kaynak” modülü, algılayıcı düğümde üst katmandan gelen bilgileri temsil etmek amacıyla belirlenen paket yapısında ve belirli aralıklarla paket üretir. Benzetimde başarımlar parametreleri olarak belirlenen ortalama uçtan uca gecikme, ortalama kanal kullanım oranı ve düğüm enerji tüketimi sonuçlarının alınmasında zaman aralıklarının belirlenmesi için bu modül kullanılmıştır.

“Hedef” modülü kablosuz merkezi düğümde alınan paketlerin istatistiklerinin tutulması için kullanılmıştır.

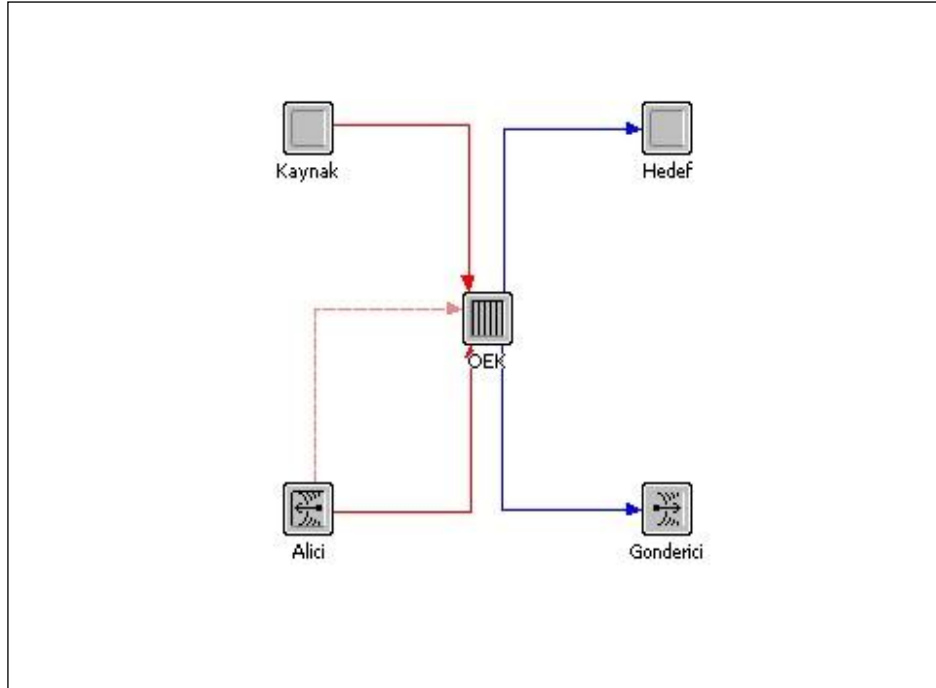
“OEK” modülü iki temel işlem gerçekleştirir;

- Algılayıcı düğüm ilk çalışmaya başladığında merkezi düğümden bandgenişliği (zaman dilimi) isteği ve
- Merkezi düğüm tarafından kendisine tahsis edilen zaman diliminde veri iletimi.

“Alici” ve “Gonderici” modüleri, OEK ile kablosuz ortam arasında bağlantının sağlanması ve paketlerin kablosuz olarak diğer düğümlere iletilmesini sağlar.

“İletim hatları”, modülleri birbirlerine bağlayarak, aralarındaki veri iletimini tanımlamak için kullanılır.

Algılayıcı düğümler, merkezi düğümden farklı olarak başlangıçta zaman dilimi isteği ve verilerin kendilerine ait zaman diliminde iletimini gerçekteştirmektedir.



Şekil 4.6: Algılayıcı düğüm düğüm modeli

4.2.2.1. Algılayıcı düğüm süreç modeli ve algoritması

Süreç modellerinde düğüm modelinde belirlenen üst yapının ayrıntıları belirlenerek özde gerçekteştirilecek işlemler tanımlanmaktadır. Benzetim senaryosunda bulunan

KAA düğümü OEK süreç modelinde ilk olarak, merkezi düğümden zaman dilimi isteğinde bulunulur. Merkezi düğümden zaman dilimi elde edildikten sonra, üst katmandan gelen bilgiler alınmakta, veri paketi ise (Şekil 4.2-a) kuyruğa yerleştirilmekte ve kendisine ait zaman dilimi sırasında veri iletimi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 4.7’de KAA OEK algılayıcı düğüm süreç modeli ve Şekil 4.8’de ise akış diyagramı görülmektedir. Buradaki her bir durum makinesinin işlevi aşağıda açıklanmaktadır;

“Basla” durum makinesi, KAA düğümü çalışmaya başladığında gerekli durum değişkenlerinin ilk değerlerinin yüklenmesi ve istatistiksel değerlerin elde edilebilmesi için gerekli tanımlamaların yapılmasını sağlar.

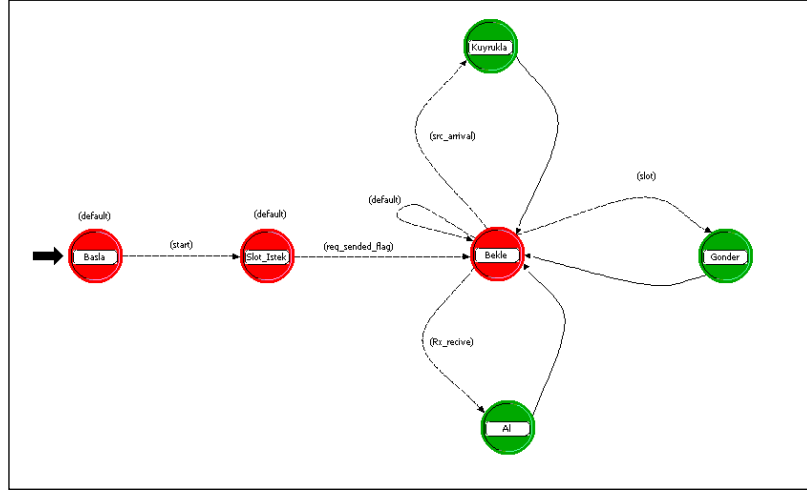
“Slot İstek” durum makinesinde, algılayıcı düğümler çalışmaya başladıklarında merkezi düğümden, kontrol zaman dilimi geldiğinde paket gönderme işlemi yapacakları zaman dilimi numarasını isterler.

“Kuyrukla” durum makinesinde üst katmandan (Kaynak) gelen paketler alınarak bilgi paketi formatındaysa kuyruğa yerleştirme işlemi gerçekleştirilir.

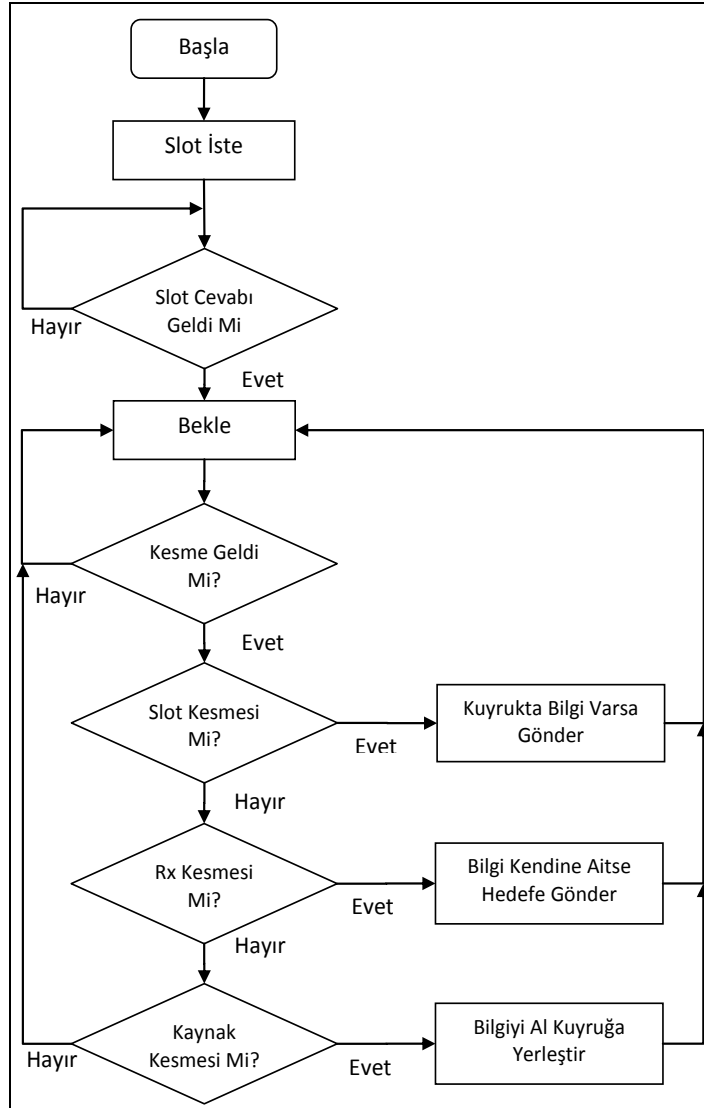
“Al” durum makinesinde kablosuz alıcı modülünden gelen veriler alınmakta ve değerlendirilmektedir.

“Gonder” durum makinesinde KAA düğümü kendisine ait zaman diliminde kuyruktaki verisini (eğer varsa) merkezi düğüme iletir.

“Bekle” durum makinesinde veri alma, gönderme veya üst katmandan paket gelmesi durumları yoksa, boşta bekleme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.7: Algılayıcı düğüm süreç modeli



Şekil 4.8: Algılayıcı düğüm süreç modeli akış diyagramı

4.2.3. Benzetim Sonuçları

Bölüm 3'te sunulan bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilen KAA OEK yapısının Tablo 4.1'de belirtilen değişkenlere göre benzetimleri gerçekleştirilmiş ve bu benzetimlerden enerji tüketimi, uçtan uca paket gecikmeleri ve kanal kullanım oranları elde edilmiştir. Bu üç ölçütün seçilme sebebi, tüm KAA yapıları için en önemli başarımların değerlendirme ölçütleri olmalarıdır. KAA'lar için en önemli sınırlılık enerji tüketimi olarak tanımlanmaktadır [1]. Enerji tüketimi ağın ömrünü belirlediğinden, tasarım aşamasında ilk düşünülmesi gereken ölçütlerden biridir. İkinci başarımların ölçütü olan uçtan uca paket gecikmesi ağdaki tıkanıklıkları belirlemekte ve paket kayıplarını önlemek için yapılması gereken iyileştirmeler konusunda yol göstermektedir. Kablosuz kanal kullanım oranı ise gerçekleştirilecek KAA sisteminin verimliliğini gösteren en önemli değerlendirme ölçütüdür. Alt bölümlerde bahsedilen bu üç ölçüt esas alınarak benzetimden elde edilen sonuçlar sunulmakta ve değerlendirmeleri yapılmaktadır.

4.2.3.1. Düğüm enerji tüketimi

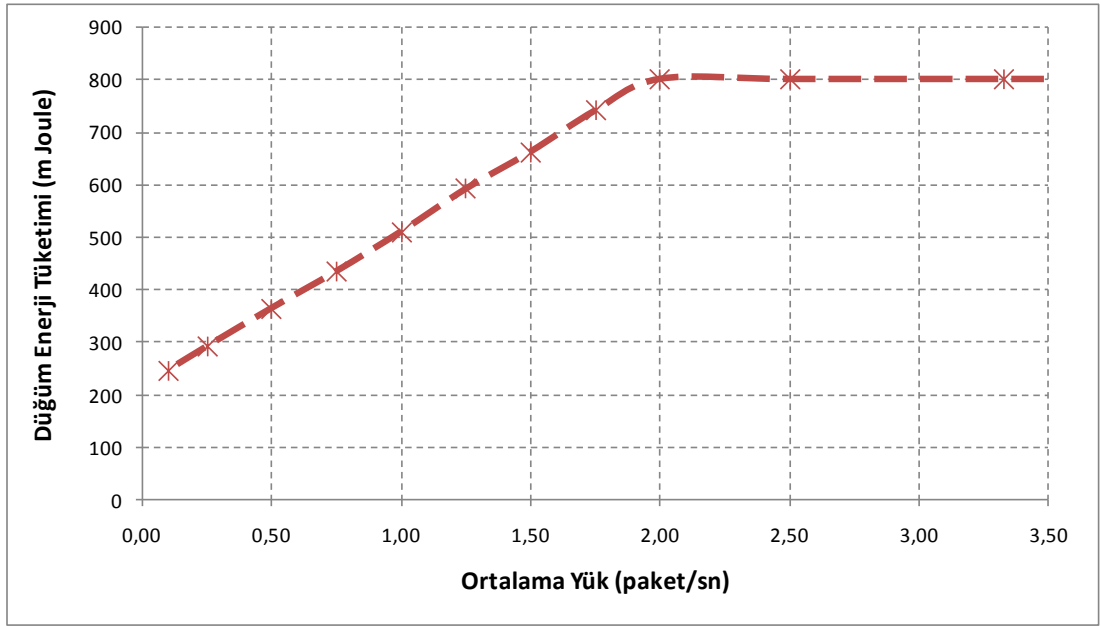
Benzetim modelinde her bir algılayıcı düğüme bir adet zaman dilimi tahsis edildiğinden enerji tüketimleri aynıdır. Merkezi düğüme ise kendisine üye olan düğümlerin sayısı kadar veri alma işlemi gerçekleştirileceğinden enerji tüketimi daha fazla olacaktır.

Bir KAA yapısında, algılayıcı düğümler harici bir pil veya batarya kullandıklarından, düğümlerin tükettikleri enerji miktarı başarımların değerlendirme ölçütü olarak alınmıştır. Merkezi düğüm genellikle enerjisini şebeken aldığından, bu düğüme tüketilen enerji miktarı, algılayıcı düğümlerde tüketilen enerji kadar kritik değildir. OPNET benzetim ortamındaki bir KAA düğümü için enerji tüketimi benzetim sonuçları Şekil 4.9'da görülmektedir.

Bu çalışmada TDMA tabanlı bir OEK sistemi kullanıldığından ve her bir düğüme sabit bantgenişliği tahsis edildiğinden, algılayıcı düğümlerin tükettiği enerji miktarı bir çerçeve boyunca sabittir. Bu nedenle benzetim süresi arttıkça tüketilen enerji

miktarının da artması beklenir. Paket boyutlarının sabit tutulduğu durumlarda bu artışın doğrusal olması gereklidir.

Bir zaman dilimi içerisinde farklı boyutlarda paketler gönderildiğinde enerji tüketimi de farklılaşacaktır. Ayrıca çerçeve süresi de düğüm enerji tüketimini etkileyen diğer bir değişkendir. Şekil 4.9’da sabit çerçeve boyutu ve sabit büyüklükte paketlere sahip TDMA yapısı kullanan OEK için enerji tüketiminin bir saatlik benzetim süresi boyunca yük 2 paket/sn oluncaya kadar doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4.9: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi benzetim sonuçları

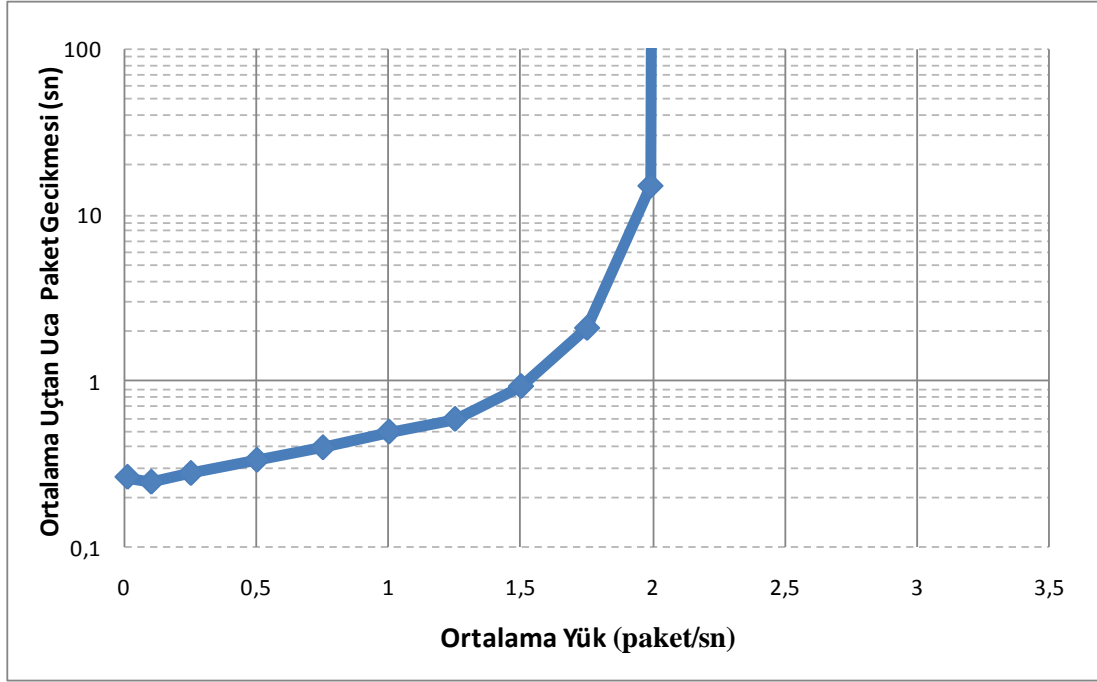
Gerçekleştirilen TDMA sisteminde çerçeve uzunluğu 0,5 saniyedir. Bu nedenle sistem tam kapasite çalıştığında, bir saniyede 2 paket gönderilebilmektedir. Saniyede ortalama 2 paketten sonra yük ne kadar arttırılırsa arttırılsın, kuyruk sistemi doyuma gideceğinden enerji değişimi gözlenmemektedir. TDMA tabanlı bir sistem için bu beklenen bir durumdur.

4.2.3.2. Gecikme

Paketlerin kaynak tarafında ilk bitinin üretildiği andan, hedef tarafında son bitinin elde edildiği ana kadar geçen süreye uçtan-uca gecikme denir [50]. Kablosuz tüm sistemlerin tasarlanması aşamasında en önemli başarımlar değerlendirme parametreleri

arasında yer aldığından, KAA'lar için de göz önünde bulundurulması gereken bir ölçüttür. Kararlı bir sistem için paket uçtan uca gecikmelerin zamanla çok fazla değişmemesi ve uygulamalara göre belirlenecek sınırlı bir düzeyde olması istenir. Uçtan uca gecikmelerin sürekli artması sistemin topladığı bilgileri göndermede yetersiz kaldığını gösterir. Böyle bir durumda TDMA tabanlı sistemler için KAA düğümlerine daha fazla zaman dilim tahsis edilerek algılayıcı düğümün bant genişliği ihtiyacı karşılanabilir. Şekil 4.10'da, Tablo 4.1'de belirtilen değişkenler doğrultusunda benzetim modelinden elde edilen ortalama uçtan uca gecikmeler sunulmaktadır. Grafikten de anlaşılacağı gibi, ortalama yük 0,01 (paket/sn)'den 1,99 (paket/sn)'a kadar arttırılırken, ortalama uçtan-uca gecikme değerleri elde edilmiştir. Ortalama paket sayısının iki ve ikiden büyük olduğu durumlarda gecikmeler sonsuza gittiğinden üst sınır 1,99 paket/sn olarak belirlenmiştir. Ortalama yük 0,01 ile 1,99 paket/sn değerleri arasında arttırılırken, uçtan-uca gecikme değerleri de artmıştır. Yükün yaklaşık 1,7 paket/sn değerinden sonra kuyruk sistemi doyuma gitmekte ve gecikmeler hızla yükselmektedir.

Grafik yorumlandığında böyle bir TDMA tabanlı sistem uçtan uca gecikmelerin yaklaşık 1sn'den küçük olduğu ve saniyede 1 paketin gönderilmesi gerektiği uygulamalarda kullanımının uygun olacağı değerlendirilebilir.

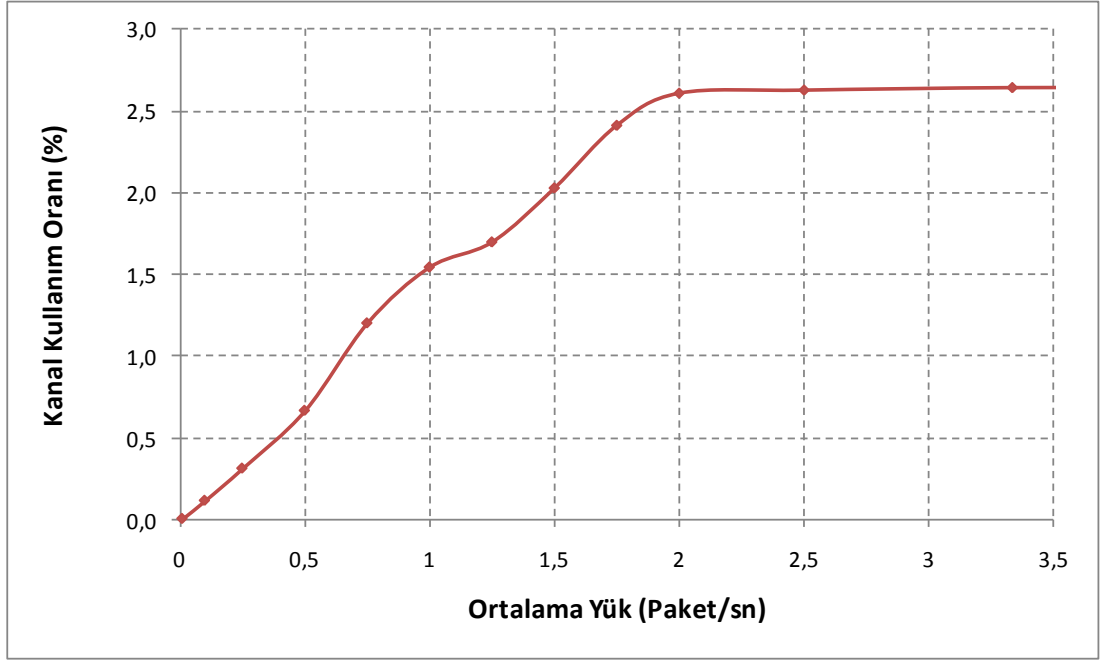


Şekil 4.10: Bir KAA düğümü için paket ortalama uçtan uca gecikme benzetim sonuçları

4.2.3.3. Kanal kullanım oranı

Kablosuz kanal kapasitesinin verimli kullanım düzeyini gösteren kanal kullanım oranı, TDMA erişim yöntemi kullanan OEK sisteminde merkezi düğümden elde edilir. Şekil 4.11’de Temel TDMA OEK kullanan merkezi düğümden alınmış kanal kullanım oranları görülmektedir. Kanal kullanım oranı değerleri her bir zaman diliminde gönderilen verinin artması veya çerçeve yapısının değişmesiyle farklılaşmaktadır.

Şekil 4.11’de, birim zamanda ortalama yük arttırılarak, kanal kullanım oranı değerleri elde edilmiştir. Ortalama yük arttırılırken, kanal kullanım oranları da artmıştır. Çerçeve boyutu 0,5 saniye olduğundan saniyede gönderilecek ortalama paket sayısı 2’yi geçtiğinde kanal kullanım oranı sabit kalmaktadır. Algılayıcı düğümlere, paketler üstel dağılıma göre geldiğinden kuyruk sistemi doyuma gidinceye kadar (ortalama yük 0–2 paket/sn iken) kanal kullanım oranı belirli düzeyde artarken dalgalanmalar görülebilir.



Şekil 4.11: KAA merkezi düğümü için kablosuz kanal kullanım oranı benzetim sonuçları

4.3. TDMA Tabanlı OEK Analitik Modeli

Benzetim modelinde olduğu gibi analitik model sonuçlarının elde edilmesinde de Crosbow firmasının "MICAz" algılayıcı düğümleri esas alınmıştır. Bu doğrultuda kullanılan değişkenler ve değerleri Tablo 4.2’de belirtilmektedir.

Tablo 4.2: Algılayıcı düğümlerin analitik modelleri için değişken değerleri

Değişken	Değeri
Düğüm Sayısı	9
Enerji Tüketimi Analitik Hesap Süresi	3600 sn
Paket Boyutu	52 Bayt
Yük	0,01–4 (paket/sn)
Zaman Dilimi Genişliği	50 ms
Veri İletim Hızı (Data rate)	250 Kbps
Çerçeve Zaman Dilimi Sayısı	10
Topoloji	Merkezi Düğümlü
P_{idle}	3 mW
P_{Tx}	52,2 mW
P_{Rx}	59,1 mW

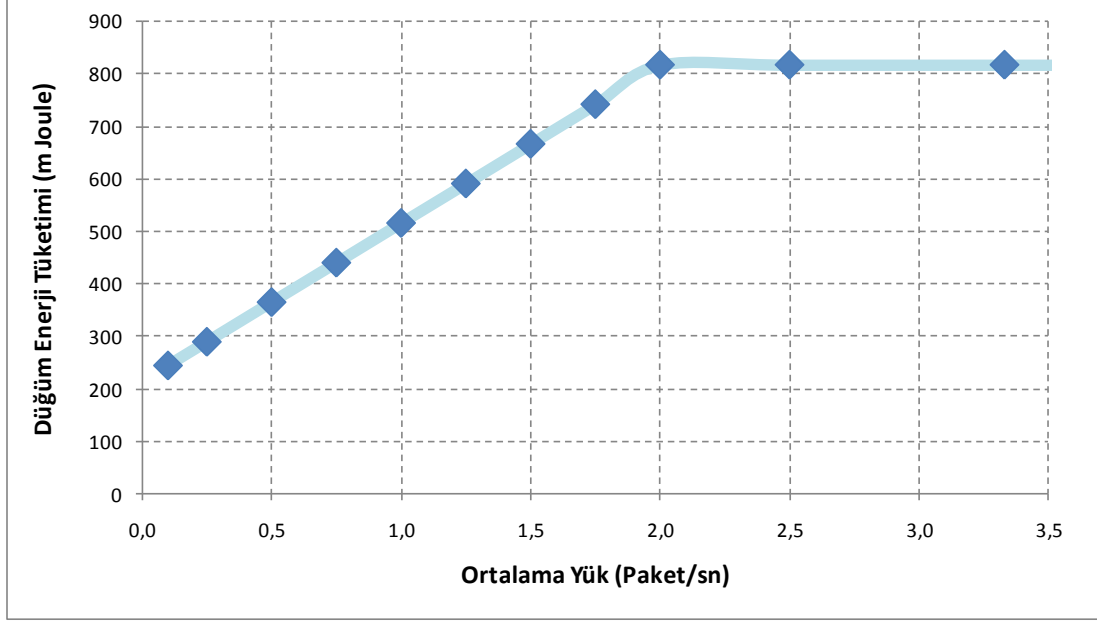
4.3.1. Analitik Sonuçlar

Bölüm 3’te analitik modelleri çıkarılan düğüm enerji tüketimi, paket uçtan uca gecikme ve kablosuz kanal kullanım oranı analitik denklemleri kullanılarak Tablo 4.2’de belirtilen değişkenlere göre analitik sonuçlar alt bölümlerdeki gibi elde edilmiştir.

4.3.1.1. Düğüm enerji tüketimi

Kablosuz iletişim kullanan sistemlerde enerjinin çok büyük bir bölümü kablosuz haberleşme biriminde harcanmaktadır. Çok sayıda kablosuz haberleşme ünitesi üreten firma bulunduğundan ürettikleri kablosuz haberleşme birimleri arasında da güç tüketimi açısından farklar bulunmaktadır. Şekil 4.12’de, Bölüm 3.4’te çıkarılan $T_E = (T_{CE} + R_{CE} + I_{CE}) * T_F$ denklemi doğrultusunda Tablo 4.2’de verilen yaklaşık güç tüketimleri kullanılarak düğümlerin yüke göre enerji tüketimleri sunulmaktadır. Benzetim modelinde kullanılan değerlerin tümü burada da kullanılmakla birlikte

düğümün ilk uyandıktığında gönderdikleri zaman dilimi istek paketleri ve bu isteğe cevap paketleri ihmal edilmiştir. Her iki paketin de boyutları dikkate alındığında (istek 1 bayt, cevap 1 bayt) enerji tüketimine etkilerinin göz ardı edilebilecek seviyede olduğu anlaşılmaktadır.



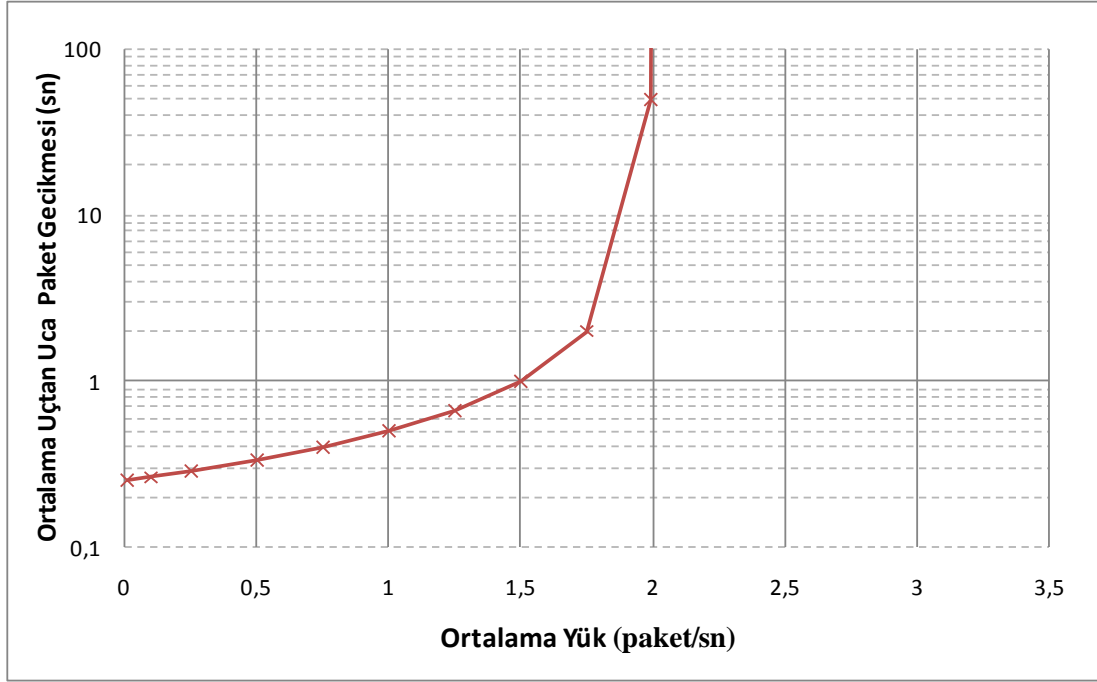
Şekil 4.12: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi analitik sonuçları

4.3.1.2. Gecikme

Algılayıcı düğümlere uygulanan yük değerleri değiştirilerek kuyrukta bekleyen paket sayıları değiştirilmekte ve paket uçtan uca gecikme değerleri incelenmektedir. Paketler düğümlere üstel dağılıma göre gelmekte ve boyutları sabit tutulmaktadır. Şekil 4.13'te ortalama yükün 0,01–2 paket/sn arasında değiştirilmesiyle bölüm 3.4'te

çıkartılma aşamaları sunulan $E[W] = E[X] + \frac{\rho E[X]}{2(1-\rho)}$ denkleminde elde edilen

paket uçtan uca gecikme analitik sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.13: Bir KAA düğümü için paket ortalama uçtan uca gecikme analitik sonuçları

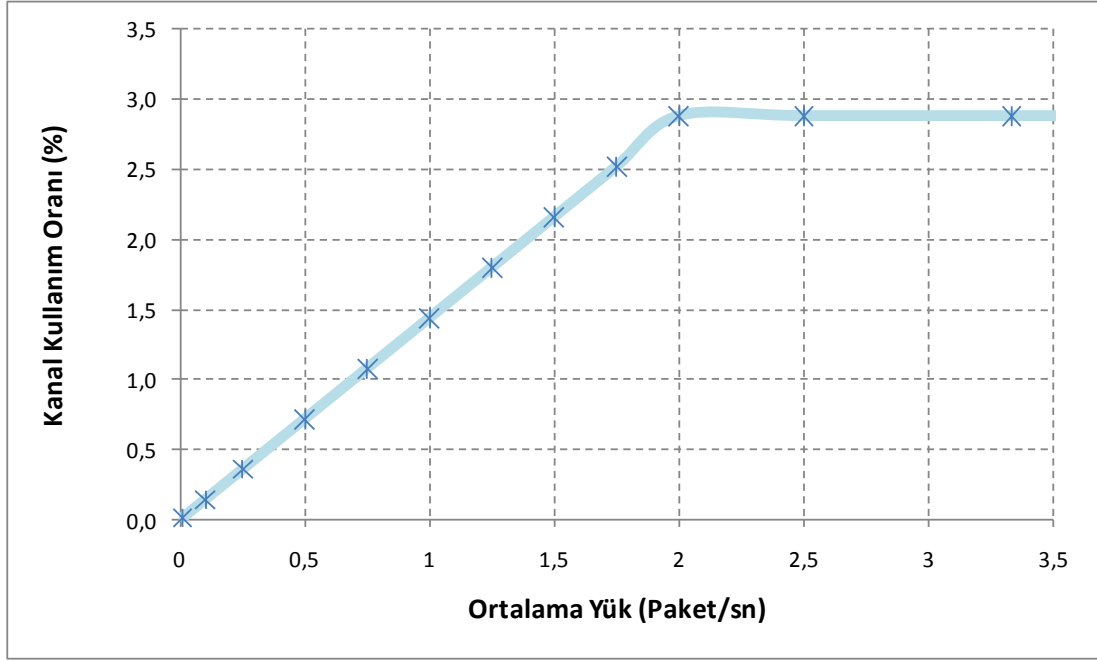
Şekil 4.13'teki grafikte yük 0 paket/sn'den 1,7 paket/sn değerine gelinceye kadar arttırıldığında 0,2 saniyeden 2 saniyeye kadar artmıştır. Yükün 1,7 paket/sn değerinden sonra kuyrukta bekleyen paket sayısı artmakta ve gecikmeler hızla yükselmektedir. Ortalama yükün 2 paket/sn değerinde paket uçtan uca gecikmesi sonsuza gittiğinden analitik sonuçlar yükün 1,99 paket/sn değerine kadar elde edilmiştir.

4.3.1.3. Kanal kullanım oranı

Tablo 4.2'de belirtilen değişken değerlerine göre bölüm 3.4'te çıkarılan

$$U = \left(\frac{P_L}{IAT \times R_{Tx}} \right) \times 100 \text{ ve } U_c = U_n \times N \text{ denklemlerinden elde edilen merkezi düğüm}$$

kanal kullanım oranı Şekil 4.14'te sunulmaktadır. Yük 0–2 paket/sn arasında 0,5 paket/sn aralıklarla arttırıldığında, kanal kullanım oranı beklendiği şekilde doğrusal olarak artmaktadır. Yükün 2 paket/sn değerinden sonra, düğümlerdeki kuyruklar doyuma gideceğinden, gönderebilecekleri paket sayısı değişmemektedir. Bu nedenle, kanal kullanım oranları, yük değerinin 2 paket/sn değerinden sonra sabit kalmaktadır.



Şekil 4.14: KAA merkezi düğümü için kablosuz kanal kullanım oranı analitik sonuçları

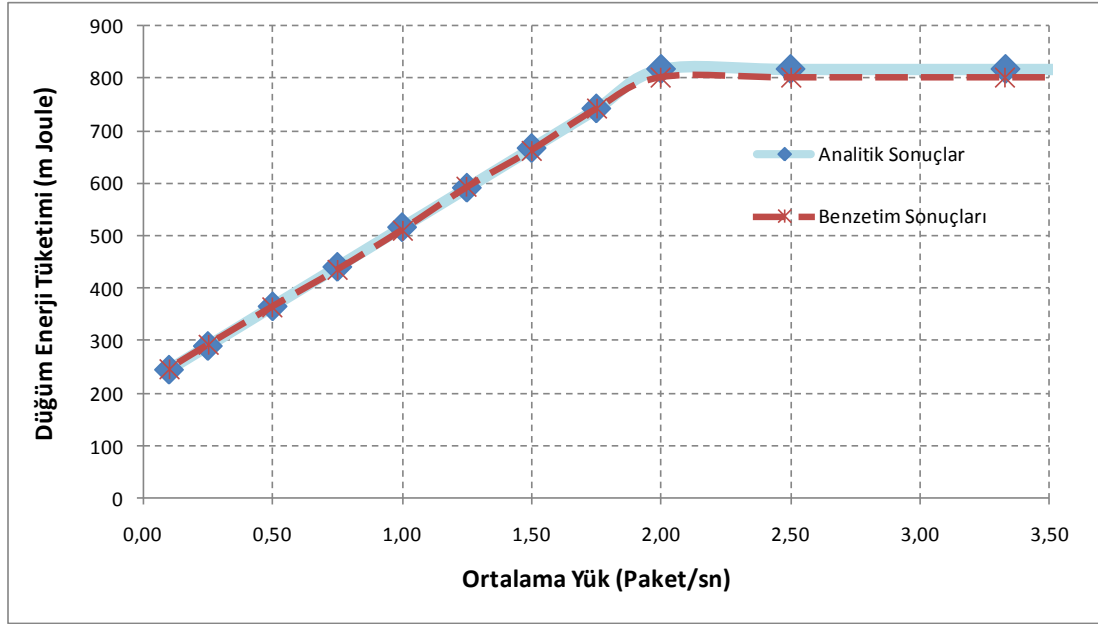
4.4. Benzetim ve Analitik Model Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak Geçerlik Değerlendirmesinde Kullanımı

Benzetim modelinden elde edilen sonuçlar ile analitik modelden elde edilen sonuçlar aynı şekil üzerinde karşılaştırıldığında doğrulukları teyit edilmiş olacaktır. Grafiklerin örtüşmemesi veya ayrı sonuçlar çıkması modellerde yapılan muhtemel hataları ortaya çıkarır. Sadece benzetim modelinden veya analitik modelden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bir OEK doğru olarak değerlendirilebilir, fakat her iki modelden gelen değerlerin birbirlerine yakın veya aynı olması, sonuçları kesinleştirmektedir. Alt bölümlerde enerji, uçtan uca gecikme ve kablosuz kanal kullanım oranları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

4.4.1. Düğüm enerji tüketim değerlendirme

Temel TDMA OEK yapısı için gerçekleştirilen benzetim modeli ve çıkarılan analitik modellerden elde edilen enerji tüketimi sonuçları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde aynı doğrultuda değişiklikleri ve örtüşükleri görülmektedir. Yük arttıkça buna bağlı olarak tüketilen enerji de artmakta, yükün 2 paket/sn değerinden sonra, düğümlerdeki kuyruklar doyuma gideceğinden, gönderebilecekleri paket

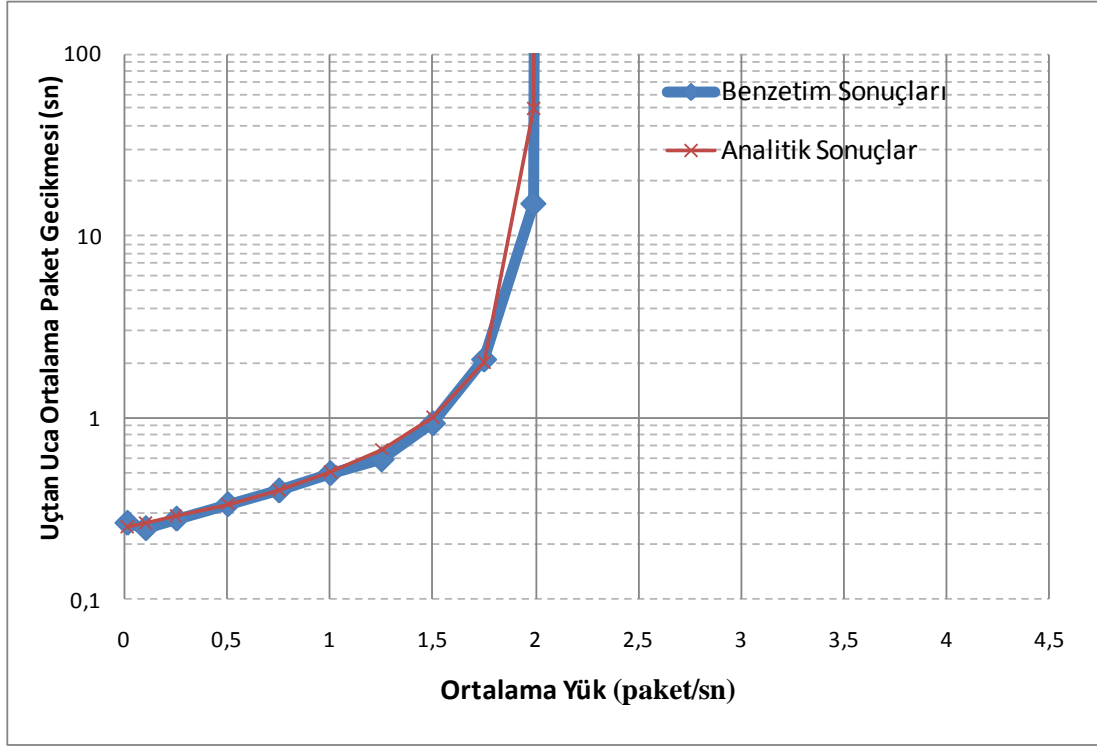
sayısı değişmemektedir. Bu nedenle, enerji tüketimi, yük değerinin 2 paket/sn değerinden sonra bir düğüm için sabit kalmaktadır (Şekil 4.15). Benzetim modeli ve analitik sonuçların örtüşmesi OEK'in de doğruluğunu, kullanılabilirliğini göstermekte ve modelde yapılacak iyileştirmelerin gerçek sistemde karşılık bulacağını kanıtlamaktadır.



Şekil 4.15: Bir KAA düğümü için enerji tüketimi

4.4.2. Gecikme değerlendirmesi

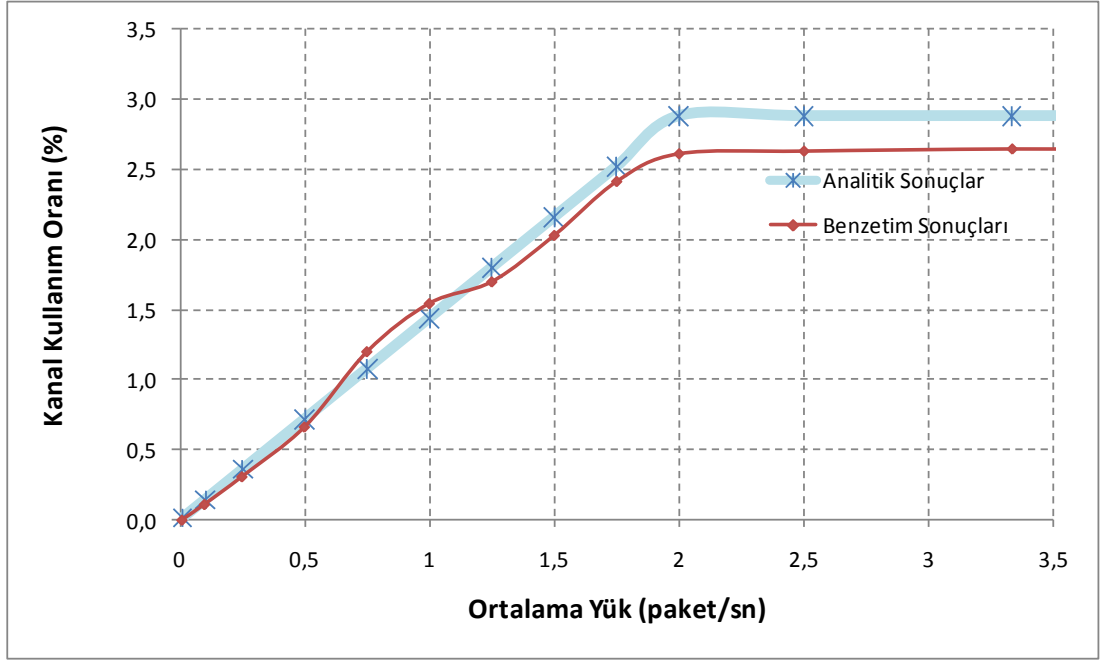
Paket uçtan uca gecikme değerleri, yükün 0–2 paket/sn değerleri arasında 0,2 paket/sn aralıklarla arttırılarak elde edilmiştir. Şekil 4.16'dan da görüleceği gibi yükün artmasıyla uçtan-uca gecikmenin artması beklenir. Yükün 1,7 paket/sn değerine kadar hem analitik hem de benzetim sonuçları aynı değerlerde giderek artmıştır. Analitik modelde yükün 2 paket/sn değerinde kuyruk gecikmesi sonsuza gittiğinden gecikme değeri 1,99 paket/sn değeri için elde edilmiştir. Bu noktada benzetimden elde edilen sonuçta bir miktar sapma görülmektedir. Bu durum, benzetim modelinde kuyruk yapısının kararsız noktaya ulaşmakta olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.16: Değişik yük değerlerine göre uçtan uca gecikme

4.4.3. Kanal kullanım oranı değerlendirilmesi

Şekil 4.17'deki grafiklerde yük 0,5 paket/sn aralıklarla arttırılarak, hem analitik hem de benzetim modelden elde edilen kanal kullanım oranları sunulmaktadır. Analitik ve benzetim modelinden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde birbirleriyle örtüşükleri görülmektedir. Benzetim ve analitik modellerde de ayrı ifade edildiği gibi yükün 2 paket/sn değerinden sonra, düğümlerdeki kuyruklar doyuma gideceğinden, gönderebilecekleri paket sayısı değişmemektedir. Bu nedenle, kanal kullanım oranları, yük değerinin 2 paket/sn değerinden sonra sabit kalmaktadır.



Şekil 4.17: KAA'daki bir düğüm için kanal kullanım oranı

4.5. Sonuç

Bu bölümde bölüm 3'te elde edilen TDMA tabanlı bir OEK protokolü için benzetim ve analitik modellerin örnek bir KAA uygulaması gerçekleştirilmiş, düğüm enerji tüketim modeli, paket uçtan uca gecikme modeli ve kablosuz kanal kullanım oranı için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, birbirlerini destekler nitelikte oldukları görülmüş ve böylece doğrulamaları yapılmıştır. Bu, hem yöntemlerin doğru bir şekilde tasarlandığını ve uygulandığını hem de elde edilen sonuçlardan sistem hakkında doğru kestirimler yapılabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, KAA'lar için zaman tabanlı örnek bir OEK protokolünün analitik ve benzetim modellerinin oluşturulma aşamaları anlatılarak, modellerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Her iki modelden elde edilen sonuçların örtüşmesi gerçekleştirilen modellerin doğruluğunu göstermektedir.

Son yıllarda kablosuz haberleşme sistemlerinin hızla gelişimi KAA'ların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yapısal olarak geleneksel ağlara benzer olan KAA'lar, batarya bağımlılıkları nedeniyle diğer haberleşme sistemlerinden ayrılırlar. Bu nedenle KAA'ların gelişmeye başlamasından bu yana yapılan çalışmaların çoğu enerji tüketimini azaltma ve daha uzun süre kullanılacak düğümler sağlama yönünde olmuştur. Kablosuz ortam bantgenişliğinin düğümler arasında uygun şekilde paylaşılması paket çarpışmalarını ve paketlerin yeniden gönderilmelerini azaltacağından enerji tüketiminin düşürülmesinde kritik öneme sahiptir.

KAA OEK protokolleri, kablosuz düğümlerin birbirleriyle veya merkezi düğümlerle haberleşme şeklini belirler. KAA'ların yaygınlaşması ve kullanım alanlarının günden güne çeşitlenmesiyle farklı amaçlara yönelik OEK protokolleri geliştirme gerekliliği ortaya çıkmıştır.

KAA uygulamalarında genelde iki tür OEK yapısı kullanılmaktadır. Bunlardan çekişme tabanlı OEK protokollerinde ortam dinlenir ve boş ise veri iletimi gerçekleştirilir. Bu OEK'ler genellikle IEEE 802.11 DCF yapısı kullanılmaktadır [25]. Kurulumlarının basit olması ve ağ yapısındaki değişimlere çok hızlı tepki verdiği için olay güdümlü uygulamalarda yaygın olarak tercih edilirler [4,5]. Boşta dinleme, gereksiz bilgileri dinleme ve iletişim sırasında çarpışmaların meydana gelmesi bu erişim mekanizmasının olumsuz yönüdür. Zamanlama tabanlı OEK protokollerinde ise iletişim zamanı dilimlere ayrılarak her bir düğüme belirli bir bantgenişliği tahsis edilir. Bu tür yapılarda her düğüm kendisine ait zaman

dilimlerinde veri iletimini gerçekleştirir. Düğüme ait zaman diliminde gönderecek bilgi bulunmaması durumunda, ayrılan zaman dilimi boş olarak geçilmektedir. Böylece oluşabilecek çarpışma ve dolayısıyla tekrar göndermenin önüne geçilmiş olur. Zamanlama tabanlı OEK protokolleri merkezi topolojilerin kullanıldığı uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Zamanlama tabanlı OEK protokollerinin uygulanmasında karşılaşılan en büyük sorun, tüm düğümlerin ortak bir zaman çerçevesine sahip olması gerekliliğidir. Diğer bir ifade ile eşzamanlama (senkronizasyon) problemidir. İletişim sırasında zamanlamaların farklı olması, istenilen zamanda bilginin gönderilememesine sebep olur ve böylece ağ başarımı düşer. Ayrıca zaman dilimlerinin bilgi gönderilmeyerek boş geçilmesi de gereksiz gecikmelere sebep olduğundan olumsuz yönü sayılabilir.

Haberleşme ağlarının modellenmesinde genel olarak ilk örnek, benzetim ve analitik olmak üzere üç yöntemden faydalanılır. Her yöntemin birbirlerine göre değişik üstünlükleri ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Yöntemler uygulamanın türüne göre tercih edilmelidir. Büyük çaplı ve hassas işlemler içeren bir sistem kurulacaksa ilk örnek yöntemini tercih edilir. Tek yöntemin kullanılmasından elde edilecek sonuçlar bazen model geliştirilirken yapılan muhtemel hatalar dolayısıyla doğru sonuçlar vermeyebilir. Bunun yanında herhangi iki modelleme yöntemini birlikte kullanarak sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, kurulacak sistemin doğrulanmasını ve kesin sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Tez çalışmasının ana katkıları aşağıdaki gibi maddeler halinde sıralanabilir;

- Zaman tabanlı örnek bir KAA OEK protokolünün benzetim modelinin geliştirilmesi aşamaları sunulmuştur.
- Zaman tabanlı örnek bir KAA OEK protokolünün analitik modelinin geliştirilmesi aşamaları sunulmuştur.
- Her iki modelden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak OEK sisteminin ve geliştirilen modellerin (benzetim ve analitik) doğruluğu ispatlanmıştır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen KAA OEK protokolü analitik ve benzetim modelleri ileriki çalışmalarda geliştirecek TDMA tabanlı OEK sistemlerine temel teşkil etmesi hedeflenmektedir. Sunulan mevcut standartlaştırılmış modelleme formlarından da faydalanılarak ileride gerçekleştirilmesi planlanan bazı yenilikler aşağıda sunulmaktadır;

- Tez çalışmalarında gerçekleştirilen OEK modellerinde, bir KAA düğümüne sabit bir bantgenişliği tahsis edilmektedir. İleriki çalışmalarda geliştirilecek modellerde algılayıcı düğümlerin isteklerine bağlı olarak farklı/esnek bantgenişliklerinin tahsis edilebilecekleri yeni OEK protokolleri gerçekleştirilebilir.
- İleriki çalışmalarda gerçekleştirilecek OEK protokollerinde çerçeve büyüklüğü ağdaki kullanıcı sayısına bağlı ve dinamik olarak ayarlanabilir.
- İleriki çalışmalarda gerçekleştirilecek OEK protokollerinde, bantgenişliğinin daha etkin kullanımı için merkezi düğümde akıllı anten sistemleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyıldız, I.F., Su, W., Sankasubramaniam, Y., Çayırıcı, E., “Wireless Sensor Networks: A Survey”, *Computer Networks*, 393 – 422, (2002).
- [2] Verdone R., Dardari D., Mazzini G., Conti A., “Wireless Sensor And Actuator Networks; Technologies Analysis And Design”, *Elsevier*, London, (2008).
- [3] Alippi C., Anastasi G., Galperti C., Mancini F., Roveri M., “Adaptive Sampling for Energy Conservation in Wireless Sensor Networks for Snow Monitoring Applications”, *IEEE International Workshop on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems for Global and Homeland Security (MASS-GHS 2007)*, Pisa, Italy, (2007).
- [4] Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D., “An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *21th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, Vol. 3, 1567–1576, (2002).
- [5] Van Dam, T., Langendoen, K., “An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *In The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Los Angeles, CA, USA, 171–180, November, (2003).
- [6] Halkes G.P., Langendoen K., “Crankshaft: An Energy-Efficient MAC-Protocol for Dense Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 4th European Conference on Wireless Sensor Networks, Springer-Verlag*, Berlin (2007).
- [7] Gong H., Cao J., Liu M., Chen L., Xie L., “A Traffic Aware, Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, SWITZERLAND, (2009).
- [8] Kumar P., Gunes M., Mushtaq Q., Blywis B., “A Real-Time and Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *IEEE Press*, Piscataway, NJ, USA, (2009).
- [9] Marinkovic S., Spagnol C., Popovici E., “Energy-Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks”, *Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*, Athens, Greece, (2009).
- [10] Guan Z., Zhao D., “An Energy Efficient MAC Protocol for WSNs”, *Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (icis 2009)*, Shanghai, China, (2009).
- [11] Augustin A., “Effective Power Consumption in MAC Protocols for Wireless Sensor Networks”, Master Thesis, *School of Information Science, Computer and Electrical Engineering*, Halmstad University, (2006).

- [12] Ali S. J., Roy P., “Energy Saving Methods in Wireless Sensor Networks”, Master Thesis, *School of Information Science, Computer and Electrical Engineering*, Halmstad University, (2008).
- [13] Chee-Yee Chong, Srikanta P. Kumar “Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges” *Proceedings of the IEEE*, Vol 91, No.8 August (2003).
- [14] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson, “Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring”, *International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, Georgia, ABD (2002).
- [15] Okçuoğlu Z., Ertürk İ., Karahan A., “Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulaması: İdeal İzleme”, *Elektrik–Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO’08*, Bursa, Türkiye, 26–30, Kasım (2008).
- [16] Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D., “Wireless Sensor Network Survey”, *Journal of Computer Networks*, Vol:52, 2292-2230, (2008).
- [17] Çakıcı S., Erturk I., Karahan A., Atmaca S., “An Integrated Approach for Analytical Modeling of WSNs”, *IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT’09*, Baku, Azerbaijan, 14–16 October (2009).
- [18] Bandırmalı N., “Yeni Bir Kablosuz Algılayıcı Ağ Veri Bağı Katmanı Güvenlik Protokolü Tasarımı”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2010).
- [19] Haykin, S., “Communication Systems”, *John Wiley & Sons, Inc.*, 4.Baskı, (2001).
- [20] Rappaport, T.S., “Wireless Communications Principles and Practice”, *Prentice Hall*, 2.Baskı, (2002).
- [21] Karl, H., Willig, A., “Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks”, *John Wiley & Sons, First Edition*, 85-109, (2005).
- [22] Raghavendra C. S., Sivalingam K. M., Znati T., “Wireless Sensor Networks”, *Springer*, (2004).
- [23] Wang C., Sohraby K., “A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks”, *IEEE Network*, 34–40, (2006).
- [24] Stallings, W., “Wireless Communications & Networks”, *Pearson Prentice Hall*, 2.Baskı, (2005).
- [25] ANSI/IEEE Std 802.11, “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, *IEEE Standards 802.11*, 70–90, (1999).

- [26] Park, T.R., Kim, T.H., Choi, S., Kwon, W.H., “Throughput and Energy Consumption Analysis of IEEE 802.15.4 Slotted CSMA/CA”, *Electronics Letters*, Volume : 41, Issue : 18, 1017 – 1019, (2005).
- [27] Anastasi G., Conti M., Francesco M. D., Passarella A., “Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A survey”, *Ad Hoc Networks, Elsevier*, Vol 7, Issue 3, p. 537–568, Amsterdam, Netherlands, (2009).
- [28] Pantazis N. A., Vergados D. J., Vergados D. D., Douligeris C., “Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks Using Sleep Mode TDMA Scheduling”, *Ad Hoc Networks, Elsevier*, Vol 7, Issue 2, p. 322–343, Amsterdam, Netherlands, (2009).
- [29] Kulkarni S. S., Arumugam U, “Collision-Free Communication In Sensor Networks”, *Proceedings of the 6th international Conference on Self-Stabilizing Systems*, p.17–31, CA, USA, (2003).
- [30] M. I. Brownfield, “Energy-efficient Wireless Sensor Network MAC Protocol”, Doctor of Philosophy, *Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, Virginia, 103, (2006).
- [31] Ceken C., “An Energy Efficient and Delay Sensitive Centralized MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *Computer Standards and Interfaces*, 30 (1–2), 20–31, (2008).
- [32] Sivrikaya, F. Yener, B., “Time Synchronization In Sensor Networks: A Survey”, *Network IEEE*, Vol 18, Issue 4, p.45–50, Canada, (2004)
- [33] Elson J., Estrin D., “Time Synchronization for Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 15th International Parallel & Distributed Processing Symposium*, 186, Usa, (2001).
- [34] Gajaweera N., Dias D., “FAMA/TDMA Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks”, *4th International Conference on Information and Automation for Sustainability*, Colombo, Sri Lanka, (2008).
- [35] Bayılmış C., “Modelleme ve Simülasyon Teorisi ve Uygulamaları” http://web.sakarya.edu.tr/~cbayilmis/downloads/FBE/20.02.2009_FBE_Modelleme_Giris.pdf, (*Ziyaret Tarihi:07.03.2010*).
- [36] Kobayashi H., Mark B. L., “System Modeling and Analysis: Foundations of System Performance Evaluation”, *Prentice Hall*, (2009).
- [37] Çakıcı, S., “Kablosuz Algılayıcı Ağların Analitik Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).
- [38] Carvalho M. M., “Analytical Modeling Of Medium Access Control Protocols In Wireless Networks”, Doctor Of Philosophy in Computer Engineering, *University Of California Santa Cruz*, California, (2006).

- [39] Buzen, J.P., “A Simple Model of Transaction Processing”, *Tenth International Computer Measurement Group Conference*, San Francisco, USA, December, (1984).
- [40] Caliri, G.V., “Introduction to Analytical Modeling”, *26th International Computer Measurement Group Conference*, Orlando, USA, December, (2000).
- [41] Korkalainen M., Sallinen M., Kärkkäinen N., Tukeva P., “Survey of Wireless Sensor Networks Simulation Tools for Demanding Applications”, *Fifth International Conference on Networking and Services*, Valencia, Spain, (2009).
- [42] OPNET, “OPNET Modeler 11.5 Documentation”, *OPNET Technologies*, Release11.5, (2006).
- [43] Jain, R., “The Art of Computer Systems Performance Analysis, Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling”, *John Wiley & Sons*, New York, (1991).
- [44] Baldwin R. O., Davis N. J., Midkiff S. F., Kobza J. E., “Queueing Network Analysis Concepts Terminology And Methods”, *The Journal of Systems and Software*, Vol 66, 99–117, (2003).
- [45] Atmaca S., “Akıllı Anten Kullanan Geniş Bant Kablosuz Sistemler İçin Servis Kalitesi Destekli Ortam Erişim Protokolü”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).
- [46] Rom, R., Sidi, M., “Message Delay Distribution in Generalized Time Division Multiple Access (TDMA)”, *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, Vol 4, 187–202, (1990).
- [47] Bolch, G., Greiner, S., Meer H.d., Trivedi, K.S., “Queueing Networks and Markov Chains”, *John Wiley & Sons*, New Jersey, (2006).
- [48] Daigle J. N., “Queueing Theory With Applications To Packet Telecommunication”, *Springer Science*, Boston, (2005).
- [49] Rom, R., Sidi, M., “Multiple Access Protocols, Performance and Analysis”, *Springer-Verlag*, (1989).
- [50] Çeken, C., “Kablosuz ATM Kullanarak Servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2004).
- [51] “Crossbow MICAz Datasheet” [Online], http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Datasheet.pdf, (*Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2010*).

EK-A TEMEL TDMA OEK PROTOKOLÜ ALGILAYICI DÜĞÜM SÜREÇ MODELİNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, Temel TDMA OEK protokolünün kablosuz algılayıcı düğüm süreç modelinin C programlama dilinde yazılan kodları verilmektedir.

“Basla” Durum Makinesi:

```
a=0;
b=1;
sent_count=0;
my_send_slot=-1;
req_sended_flag=OPC_FALSE;
my_id = op_id_self();
my_node_id = op_topo_parent(my_id);
consumed_energy=0;
total_idle_time=0;

op_ima_obj_attr_get(my_node_id, "name",&terminal_name);
my_Dest_ID=0;

sendedpksth = op_stat_reg ("Gonderilen Paket", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL);

powersth=op_stat_reg ("Tuketillen Enerji", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL);

for(i=0;terminal_name[i]!=OPC_NIL;)
{
    if(isalpha(terminal_name[i]))
        i++;
    else
        break;
}

my_Term_ID=atoi(terminal_name+i);

if (!op_ev_valid(startevh))
{
    startevh=op_intrpt_schedule_self (op_sim_time ()+my_Term_ID,21);
}

tx_id=op_topo_assoc (my_id, OPC_TOPO_ASSOC_OUT, OPC_OBJTYPE_RATX,
0);
```

```

comp_id = op_topo_child (tx_id, OPC_OBJTYPE_COMP, 0);
tx_ch_id = op_topo_child (comp_id, OPC_OBJTYPE_RATXCH, 0);
op_ima_obj_attr_get (tx_ch_id, "data rate", &tx_data_rate);

```

```

op_strm_flush(Rx_in_strm);

```

“Slot Istek” Durum Makinesi:

```

current_time = op_sim_time ();
total_slot = (int) floor ( current_time / slot_length );
current_slot = total_slot % number_of_slot;

```

```

if(current_slot==0)
{
    pkptr = op_pk_create_fmt ("alp_tez_temel_tdma_slot_req_pk");
    op_pk_nfd_set (pkptr,"Term_ID",my_Term_ID);
    if(!BUSY)
    {
        op_pk_send(pkptr,Tx_out_strm);
        req_sended_flag=OPC_TRUE;
        op_intrpt_schedule_self (op_sim_time (), 20);
    }
}

```

“Bekle” Durum Makinesi

```

if (!op_ev_valid(slotevh))
{
    slotevh=op_intrpt_schedule_self (op_sim_time (),20);
}

```

“Kuyrukla” Durum Makinesi

```

pkptr = op_pk_get(src_in_strm);
op_pk_format (pkptr, pk_format);

```

```

if ( !strcmp ("alp_tez_temel_tdma_pk",pk_format ) )
{
    op_pk_nfd_set (pkptr,"Term_ID",my_Term_ID);
    op_pk_nfd_set (pkptr,"Dest_ID",my_Dest_ID);
    op_subq_pk_insert (0, pkptr, OPC_QPOS_TAIL);
}

```

“Al” Durum Makinesi

```

pkptr = op_pk_get(Rx_in_strm);
op_pk_format (pkptr, pk_format);

```

```

if ((pkptr != OPC_NIL)&&(!strcmp("alp_tez_temel_tdma_pk",pk_format )))
{

```



```

op_pk_nfd_get (pkptr,"Dest_ID",&pk_Dest_ID);
op_pk_nfd_get (pkptr,"Term_ID",&pk_Term_ID);

if (my_Term_ID == pk_Dest_ID)
{
pk_size=op_pk_total_size_get(pkptr);
consumed_energy=consumed_energy+((pk_size/tx_data_rate)*receive_power);
op_stat_write(powersth,consumed_energy);
op_pk_send(pkptr,sink_out_strm);
}

else
{
op_pk_destroy(pkptr);
}
}
if((pkptr!=OPC_NIL)&&(!strcmp("alp_tez_temel_tdma_slot_req_rep_pk",pk_format)))
{
op_pk_nfd_get (pkptr,"Dest_ID",&pk_Dest_ID);
op_pk_nfd_get (pkptr,"Slot_Number",&pk_slot_number);

if (my_Term_ID == pk_Dest_ID)
{
pk_size=op_pk_total_size_get(pkptr);
consumed_energy=consumed_energy+((pk_size/tx_data_rate)*receive_power);
op_stat_write(powersth,consumed_energy);
my_send_slot=pk_slot_number;
}
else
op_pk_destroy(pkptr);
}

```

“Gonder” Durum Makinesi

```

current_time = op_sim_time ();
total_slot = (int) floor ( current_time / slot_length );
current_slot = total_slot % number_of_slot;

if ((op_subq_empty (0) == OPC_FALSE) && (current_slot==my_send_slot))
{
pkptr = op_subq_pk_remove (0, OPC_QPOS_HEAD);
pk_size=op_pk_total_size_get(pkptr);

consumed_energy=consumed_energy+((pk_size/tx_data_rate)*transmit_power

op_pk_send(pkptr,Tx_out_strm);
op_stat_write(powersth,consumed_energy);
op_stat_write(sendedpksth,++sendedpk);
}

```

```

else
    consumed_energy=consumed_energy+slot_length*idle_power;

op_intrpt_schedule_self ( ( op_sim_time()+slot_length + epsilon ), 20);

```

Durum Makineleri Arası Geçiş Şartları:

```

#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#define epsilon 0.000000001
#define number_of_slot10
#define slot_length 0.05
#define receive_power 0.0197
#define transmit_power0.0174
#define idle_power20E-6

#define src_in_strm 0
#define Rx_in_strm 1
#define sink_out_strm 0
#define Tx_out_strm 1

#define src_arrival ((op_intrpt_type() == OPC_INTRPT_STRM) &&
(op_intrpt_strm () == src_in_strm))
#define Rx_recive ((op_intrpt_type() == OPC_INTRPT_STRM) &&
(op_intrpt_strm () == Rx_in_strm))
#define slot ((op_intrpt_type () == OPC_INTRPT_SELF) && (op_intrpt_code () ==
20))
#define start ((op_intrpt_type () == OPC_INTRPT_SELF) && (op_intrpt_code () ==
21))

#define BUSY(op_stat_local_read (0) == 1.0)

```

EK-B TEMEL TDMA OEK PROTOKOLÜ Merkezi DÜĞÜM SÜREÇ MODELİNE AİT PROGRAM KODLARI

“Basla” Durum Makinesi:

```
for(i=1;i<21;i++)
    slot_table[i]=-1;

current_slot=1;
my_Term_ID=0;
```

“Al” Durum Makinesi:

```
pkptr = op_pk_get(Rx_in_strm);
op_pk_format (pkptr, pk_format);

if ((pkptr != OPC_NIL)&&(!strcmp("alp_tez_temel_tdma_pk",pk_format )))
{
    op_pk_nfd_get (pkptr,"Dest_ID",&pk_Dest_ID);
    op_pk_nfd_get (pkptr,"Term_ID",&pk_Term_ID);

    if (pk_Term_ID == 3)
    {
        op_pk_send(pkptr,sink_out_strm);
    }
    else
        op_pk_destroy(pkptr);
}

if ((pkptr != OPC_NIL)&&(!strcmp("alp_tez_temel_tdma_slot_req_pk",pk_format
)))
{
    op_pk_nfd_get (pkptr,"Term_ID",&pk_Term_ID);
    slot_table[current_slot]=pk_Term_ID;
    pkptr2 = op_pk_create_fmt ("alp_tez_temel_tdma_slot_req_rep_pk");
    op_pk_nfd_set (pkptr2,"Dest_ID",pk_Term_ID);
    op_pk_nfd_set (pkptr2,"Slot_Number",current_slot);
    op_pk_send(pkptr2,Tx_out_strm);
    current_slot++;
}
```

Durum Makineleri Arası Geçiş Şartları:

```
#include <math.h>
#include <string.h>
#define epsilon 0.000000001
#define number_of_slot 10
#define slot_length 0.05

#define src_in_strm 0
#define Rx_in_strm 1
#define sink_out_strm 0
#define Tx_out_strm 1

#define src_arrival ((op_intrpt_type () == OPC_INTRPT_STRM) &&
(op_intrpt_strm () == src_in_strm))
#define Rx_recive ((op_intrpt_type () == OPC_INTRPT_STRM) &&
(op_intrpt_strm () == Rx_in_strm))
#define slot ((op_intrpt_type () == OPC_INTRPT_SELF) && (op_intrpt_code () ==
20))
```

KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER

A. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Çakıcı S., Ertürk I., Karahan A., Atmaca S., “An Integrated Approach for Analytical Modeling of WSNs”, *IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT'09*, Baku, Azerbaijan, 14–16 October (2009).
2. Karahan A., Ertürk İ., Atmaca S., Çakıcı S., “Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulamalarının Bilgisayar Modelleme ve Benzetim Yöntemiyle Öğretimi”, *4. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, Türkiye, (2010).
3. Yalman Y., Ertürk İ., Karahan A., “Gizli Veri Taşıyan Sayısal İmgelerin Analizi İçin Uygulama Yazılımı Tasarımı”, *4. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, Türkiye, (2010).

B. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

1. Okçuoğlu Z., Ertürk İ., Karahan A., “Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulaması: İdeal İzleme”, *Elektrik–Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO'08*, Bursa, Türkiye, Kasım, (2008).

C. Görev Aldığı Projeler

1. Yardımcı Araştırmacı, *Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulaması: İdeal İzleme*, KOÜ, Bilimsel Araştırmalar Birimi, 2008/021, 2008–2009.
2. Yardımcı Araştırmacı, *Sayısal İmge İçerisine Yeni Bir Veri Gizleme Yöntemi Tasarımı*, KOÜ, Bilimsel Araştırmalar Birimi, 2009/044, 2009–2010

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. 2007 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı’ndaki Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.