



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Sualtı Akustik Algılayıcı Ağlarda Onay Paketi (ACK) Sayısının Ağ Başarımına Etkileri

 Nükhet Sazak\*

\*Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nsazak@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.810745

### ÖZET

Bu çalışmada sualtı akustik algılayıcı ağlar (SAAA'lar) için geliştirilen S-FAMA protokolü ile onun etkinliğini arttırmak için önerilen yaklaşımlardan olan Çoklu-ACK'daki onay (ACK) paket sayısının ağ başarımı üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Sualtı akustik algılayıcı ağlarda yüksek yayılım gecikmesi yüzünden bir onay (ACK) paketinin kaybının maliyeti yüksektir. Veri iletimi sırasında bir onay (ACK) paketi kaybolduğunda iletim sürecinin tekrarlanması enerji israfına neden olmaktadır. Bunu önlemek için önerilen yaklaşımlardan biri olan Çoklu-ACK sayesinde tek bir ACK yerine ACK dizisi kullanılarak bir onay paketinin başarıyla alınma olasılığı arttırılmaktadır. Bu çalışmada ACK dizisinde yer alan paket sayısının iş çıkarma oranı iyileştirmesi ve enerji verimliliği bakımından ağ başarımına etkileri matematiksel olarak analiz edilmektedir. Yapılan analiz sonucunda ACK paket sayısı değişiminin enerji verimliliği üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu görülmektedir. Ancak enerji verimliliği ve iş çıkarma oranı iyileştirme yüzdelerinin aynı (%10.25) olması, bu ağ ölçütleri arasında bir ödünleşme olduğunu göstermektedir. Enerji tüketiminde %10.25'lik bir artışın iş çıkarma oranında %10.25 iyileştirme sağladığı sonucuna varılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Sualtı Akustik Algılayıcı Ağ, OEQ Protokolleri, Çoklu-ACK, Enerji Verimliliği*

## The Impacts of the Number of Acknowledgment (ACK) Packets on Network Performance in Underwater Acoustic Sensor Networks

### ABSTRACT

In this study, the impacts of the number of acknowledgment (ACK) packets on network performance are discussed in S-FAMA protocol, developed for underwater acoustic sensor networks (UASNs), and Multi-ACK which is an approach proposed to improve its efficiency. In underwater acoustic sensor networks, the cost of losing an ACK packet is high due to high propagation delay. The repetition of the entire transmission process results in energy waste when an ACK packet is lost during the data transmission. Thanks to Multi-ACK, one of the approaches proposed to prevent that, the probability of an acknowledgment packet received successfully is increased by using the ACK train instead of a single ACK. The impacts of the number of packets in the ACK train on network performance in terms of throughput improvement and energy efficiency are analyzed mathematically in this paper. As a result of analysis, there is no significant effect of the number of ACK packets on energy efficiency. On the other hand, energy efficiency and throughput having the same percentage (10.25%) show that there is trade-off between these network criteria. The 10.25 % increase in energy consumption results in 10.25 % improvement in throughput.

**Keywords:** *Underwater Acoustic Sensor Network, MAC Protocols, Multi-ACK, Energy Efficiency*

# **I. GİRİŞ**

Bir sualtı akustik algılayıcı ağ (SAAA), işbirlikçi görevlerini yerine getirmek üzere akustik bağlantılarla bağlı sualtı algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır [1]. SAAA'lar okyanuslarda veri toplama, kıyı ötesi araştırma, mayın keşif, kirlilik ve çevre izleme gibi bilimsel, askeri ve ticari amaçlı birçok uygulamada kullanılabilirler [2].

Karasal algılayıcı ağlar için geliştirilen ortam erişim kontrol (OEK) protokolleri, hem haberleşmede çoğunlukla radyo dalgalarını kullandığından hem de sualtı akustik algılayıcı ağların kendine has özellikleri yüzünden bu tür ağlar için uygun değildir. Sualtı ağlardaki kanal erişim kontrolü; band genişliğinin dar olması, yayılım gecikmesinin yüksek olması, bit hata oranının fazla olması, düğüm bağlantırlığındaki kayıplar, yoğun çok yollu yayılım (multipath), sönüm (fading) ve kanal asimetrisi dolayısıyla ilave zorluklar getirmektedir [1].

Sualtı akustik algılayıcı ağlara özel OEK çözümlerine ihtiyaç vardır ve literatürde bu amaçla geliştirilmiş protokoller bulunmaktadır. Bu protokoller, çekişmeye dayalı (ortogonal olmayan, çizelgesiz, rasgele) ve çekişmesiz (ortogonal, çizelgeli, deterministik) protokoller olarak ikiye ayrılmaktadır [3]. ALOHA, CSMA, MACA tabanlı protokoller çekişmeye dayalı iken TDMA, FDMA, CDMA, SDMA çekişmesiz protokol örnekleridir. Bu çalışmada ele alınan S-FAMA protokolü de bir çekişmesiz protokoldür.

S-FAMA protokolü, sualtı akustik algılayıcı ağlar için geliştirilen [4] protokollerden biridir. Çoklu-ACK mekanizmasının eklenmesinin S-FAMA protokolüne sağladığı yararların incelendiği çalışmalar mevcuttur [5,6]. Bununla birlikte söz konusu makalelerde ACK paket sayısı değişiminin ağ başarımı üzerindeki etkilerinin ele alınmadığı görülmüştür. Bu makalede ACK paket sayısı değiştirilerek iş çıkarma oranı ve enerji verimliliğindeki etkileri irdelenmektedir.

Bölüm II'de bazı OEK protokolleri ve işleyişlerinden söz edilmektedir. ACK paket sayısı değişiminin iş çıkarma oranındaki iyileştirme ve enerji verimliliği bakımından ağ başarımındaki etkileri bölüm III'deki matematiksel ifadeler ile analiz edilmektedir. Sonuçlara ilişkin yorumlar bölüm IV'de yer almaktadır.

## **II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

Karasal ağlarda popüler bir protokol olan Çarpışma Sakıncalı Çoklu Erişim (Multiple Access with Collision Avoidance, MACA) protokolünün sualtı ağlar için kullanımı [5]'de ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır. Karn [7], CSMA'nın sorunlarını gidermek için veri paketlerinin iletiminden önce bir el sıkışmanın (handshake) kullanıldığı MACA protokolünü önermiştir. Paket göndermek isteyen bir düğüm, hedef düğüme bir RTS (Request To Send, Gönderme Talebi) kontrol paketi gönderir. Hedef düğüm paketleri almaya hazır olduğunu göstermek üzere bir CTS (Clear To Send, Gönderme İzni) kontrol paketini kaynak düğüme gönderir. Böylece komşuluğundaki tüm düğümler haberdar edilerek olası çarpışmalar engellenmiş olur. CTS paketini alan kaynak düğüm veri paketlerini gönderir. Veri paketlerini alan hedef düğüm ACK kontrol paketini kaynak düğüme iletir. Kısacası MACA protokolünde iletişim RTS/CTS/VERİ KATARI/ACK şeklinde gerçekleşir. Her veri paketinden sonra

ACK gönderilen benzer protokoller RTS/CTS/VERİ/ACK/VERİ/ACK/... çift taraflı yayılım gecikmesi dolayısıyla sualtı ağlar için uygun değildir [5].

Bir düğüm, iletimi ile girişimde bulunabilecek bir ya da daha fazla düğümü algılayamadığında gizli terminal (hidden terminal) sorunu meydana gelir [4]. Her ne kadar MACA protokolünün ortaya çıkış amacı, CSMA'nın gizli terminal problemini çözmek olsa da bu 4 yönlü el sıkışma (4 way handshaking) bütün gizli terminal sorunlarını çözmez [8]. Bir düğümün biri çok yakın diğeri çok uzak komşularının olduğu durumlarda farklı paket gecikmeleri yüzünden MACA'da çarpışmalar meydana gelebilir. [9].

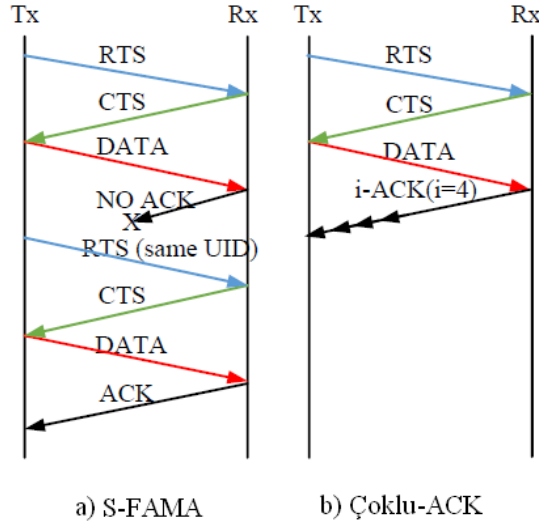
Bu sorunun üstesinden gelmek için FAMA protokolü önerilmiştir [8]. FAMA (Floor Acquisition Multiple Access), kaynak ve hedef arasında bir çarpışma sakınım diyalogu ve taşıyıcı algılamadan oluşan rezervasyon tabanlı bir OEK protokolüdür. MACA protokolünde olmayan taşıyıcı algılama özelliğine sahiptir. Fullmer ve Aceves yaptıkları çalışmada [8] çarpışma sakınımını garanti eden koşulları da ortaya koymuşlardır:

- a) RTS uzunluğu, maksimum yayılım gecikmesinden büyük olmalıdır.
- b) CTS uzunluğu, RTS uzunluğu artı maksimum yayılım gecikmesinin iki katı artı donanım iletim-alım geçiş zamanından büyük olmalıdır.

FAMA protokolünün temeli olan bu koşullar kanalda çarpışma olmamasını sağlamasına rağmen kontrol paketlerinin uzunluğu sualtı akustik kanallar için fazla olmaktadır. Bunun nedeni, sualtı akustik ağlarda çok yüksek olan yayılım süresine bağlı paket uzunluklarının enerji israfına yol açmasıdır [4]. Bu yüzden FAMA protokolü orijinal haliyle SAAA'lar için uygun değildir. Dilimleme (Slotting) ile etkinliği arttırılmak üzere S-FAMA (Slotted FAMA, Dilimli FAMA) geliştirilmiştir [4]. FAMA gibi S-FAMA da taşıyıcı algılamaya dayalıdır. S-FAMA protokolü, RTS/CTS/VERİ/ACK değişimi şeklinde 4 yönlü el sıkışma ile iletişimi düzenler. Kaynak düğüm, dilimin başlangıcında bir RTS paketi gönderir ve hedef düğüm, sonraki dilimin başında CTS paketini gönderir. Bir sonraki dilimde veri paketleri iletilir. Sonunda hedef düğüm paketlerin başarıyla alındığını gösteren ACK paketini gönderir [4]. S-FAMA protokolünde bir ACK paketi kaybolursa tüm RTS/CTS/VERİ döngüsü tekrarlanmalıdır. Bu döngünün tekrar edilmesinin maliyeti çok yüksektir ve enerji tüketicidir. Bu tekrarı ortadan kaldırmak için Çoklu-ACK'yı S-FAMA'da kullanma düşüncesi [5]'de incelenmiştir.

Shahabudeen vd.'nin ortaya koyduğu Çoklu-ACK mekanizmasında bir ACK paketi yerine i tane ACK paketi gönderilmektedir [5]. Ansari vd. S-FAMA protokolü ile Çoklu-ACK mekanizmasını birleştirerek MultiACK-SFAMA olarak adlandırdıkları protokolün matematiksel analizine yer vermişlerdir [6]. Bu sayede bir ACK'nın başarı ile alınma olasılığı artmaktadır. Çoklu-ACK'nın kullanımı ile S-FAMA'nın iş çıkarma oranı iyileştirilmekte, enerji tüketimi azaltılmaktadır [9].

S-FAMA ve Çoklu-ACK'nın veri iletim işleyişleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.(a) S-FAMA ve (b) Çoklu-ACK [6].

ACK'nın optimum sayısı [5]'deki benzetimlerde  $i=3$  olarak alınmış,  $i=2$  veya  $i=4$  ya da diğer değerlerin daha iyi sonuçlar verebileceği, ağ koşullarına göre bunun ayarlanabileceği belirtilmiştir. [6]'da ise  $i=4$  alınarak hesaplama ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin amacı, Çoklu-ACK mekanizmasındaki ACK sayısının S-FAMA protokolünün iş çıkarma oranına ve enerji verimliliğine etkilerini incelemektir.

### III. MATEMATİKSEL ANALİZ

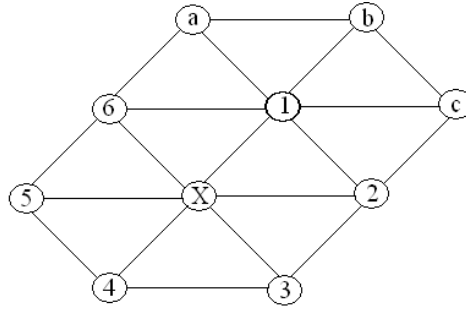
Aynı paketin tekrar iletilmesini gerektirdiğinden paket kaybı, büyük miktarda enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu yüzden gecikme ve paket kayıplarının göz önünde bulundurulması sualtı algılayıcı ağlarda oldukça önemlidir [10]. 4 yönlü el sıkışmanın kullanıldığı S-FAMA protokolünde bir ACK paketinin kaybı, iletim süreçlerinin tekrarlanmasına neden olmaktadır. Çoklu-ACK sayesinde bir ACK paketinin kaybolması yüzünden tüm sürecin tekrarlanması yerine ACK paketleri (ACK katarı) gönderilerek en azından bir ACK'nın alınma olasılığı arttırılmaktadır. Çoklu-ACK mekanizmasının adapte edilmesi sayesinde bu sorun ortadan kaldırılmakta, maliyet ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bunun enerji, iş çıkarma oranı, gecikme ve güvenilirlik üzerinde olumlu etkileri vardır [9]. Bu bölümde Çoklu-ACK'da kullanılan ACK paket sayısı değişiminin iş çıkarma oranındaki iyileştirme ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri irdelenmek üzere matematiksel ifadelerle yer verilmektedir.

Bu makalede Şekil 2'de gösterilen [4]'deki ağ yerleşimi ele alınmaktadır. Kaynak düğüm X ile gösterilmekte olup  $N=6$  komşu düğümüne sahiptir. Ağda yer alan a, b, c düğümleri X düğümü için gizli terminallerdir. Bu makaledeki analizde gizli terminal sayısı sıfır ( $Q=0$ ) kabul edilmektedir.

Çoklu-ACK paketinin kontrol paketi boyutu ile aynı olduğu varsayılmaktadır.  $i$ , ACK paketlerinin sayısını göstermek üzere ACK dizisinin süresi ( $i \cdot T_{ACK}$ ), Eşit. 1'de ifade edildiği gibi  $T_{CTS}$  kontrol paketinin süresine eşittir;

$$i \cdot T_{ACK} = T_{CTS} \quad (1)$$

Bir ACK gönderilmesi ( $i=1$ ), Çoklu-ACK olmayan duruma eşdeğerdir.



Şekil 2. Ağ Yerleşimi [4].

## A. İŞ ÇIKARMA ORANI İYİLEŞTİRMESİ

S-FAMA ve Çoklu-ACK mekanizmalı S-FAMA iş çıkarma oranlarından “iş çıkarma iyileştirme faktörü (throughput improvement factor,  $IF_{MA}$ )” ifadesi elde edilmiştir [9]. Çoklu-ACK'nın sağladığı iyileştirme faktörü ( $IF_{MA}$ ), Çoklu-ACK'lı S-FAMA' da bir ACK'nın doğru biçimde alınma olasılığının S-FAMA'da bir ACK'nın doğru olarak alınma olasılığına oranı Eşt. 2'de verilmiştir;

$$IF_{MA} = \frac{1 - \{1 - (1 - BER)^{L_{ACK-MA}}\}^i}{(1 - BER)^{L_{ACK}}} \quad (2)$$

İyileştirmeden söz edebilmek için  $IF_{MA} > 1$  olmalıdır.

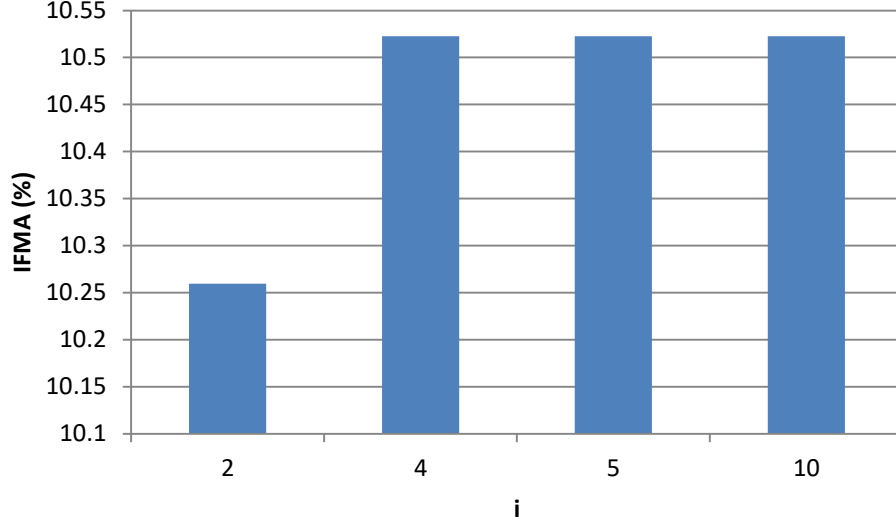
$T_{Çoklu-ACK}$ , bir zaman dilimidir. S-FAMA'da kullanılan bir ACK paketi daha küçük boyutlu paketlere bölünmektedir. S-FAMA'da kullanılan ACK paket uzunluğu  $L_{ACK}$ , Çoklu-ACK'da kullanılan ACK paket uzunluğu  $L_{ACK-MA}$  olmak üzere aralarındaki ilişki Eşt. 3'deki gibidir;

$$L_{ACK} = i * L_{ACK-MA} \quad (3)$$

Ansari vd. yaptıkları çalışmada [6] daha yüksek BER değerlerinde iş çıkarma oranında daha fazla iyileştirme elde edildiğini göstermişlerdir. Bu yüzden bu makalede BER değeri olarak  $10^{-3}$  kullanılmıştır. Analiz için [9]'daki senaryo I ele alınmıştır. Bu senaryoda ACK dizisinin süresi, kontrol paketininki ( $T_{CTS}$ ) ile aynıdır, bu yüzden bir zaman dilimi gerektirir. Analizde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmektedir.

<i>Tablo 1. Parametreler</i>			
$L_{ACK}$ (bit)	$L_{ACK-MA}$ (bit)	i	BER
100	10, 20, 25, 50	2, 4, 5, 10	$10^{-3}$

Şekil 3'de ACK paketi sayısı değişiminin iş çıkarma oranı iyileştirmesindeki etkileri görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere her biri 25 bitlik 4 tane ACK paketi gönderme ile 10 bitlik 10 tane ACK paketi gönderme arasında iş çıkarma oranında sağladıkları iyileştirmede fark yoktur. İkisi de iş çıkarma oranında %10,52 iyileştirme sağlamaktadır.



Şekil 3. İş Çıkarma Oranındaki İyileştirme Sonuçları

## B. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

N, sekme sayısı; P, iletim gücü;  $T_{tx}$ , veri iletim süresi ve K, paket sayısı olmak üzere S-FAMA'da başarılı iletimde harcanan toplam enerji Eş. 4'de verilmiştir [9];

$$E_{T1} = N * T_{tx} * K * P * (1 - P_e) \quad (4)$$

Benzer şekilde Çoklu-ACK'da başarılı iletimde harcanan toplam enerji Eş. 5'deki gibidir [9];

$$E_{T2} = N * T_{tx} * K * P * (1 - P_{eM}) \quad (5)$$

Enerji verimliliği Eş. 6'daki gibi hesaplanmaktadır;

$$\eta_{MA} = \left( \frac{E_{T1} - E_{T2}}{E_{T1}} \right) * 100 \quad (6)$$

Eş. 4 ve Eş. 5'deki enerji ifadeleri Eş. 6'da yerine konulup düzenlenince elde edilen enerji verimliliği Eş. 7'deki verildiği gibidir;

$$\eta_{MA} = \left( \frac{P_{eM} - P_e}{1 - P_e} \right) * 100 \quad (7)$$

S-FAMA'da bir veri paketindeki hata olasılığı ( $P_e$ ) Eş. 8'de verilmiştir [9];

$$P_e = 1 - (1 - BER)^{L_{DATA}} * (1 - BER)^{L_{ACK}} \quad (8)$$

Çoklu-ACK'da bir veri paketindeki hata olasılığı ( $P_{eM}$ ) ile Eş. 9'daki gibidir [9];

$$P_{eM} = 1 - [(1 - BER)^{L_{DATA}} * (1 - \{1 - (1 - BER)^{L_{ACK-MA}}\}^i)] \quad (9)$$

**Tablo 2** Enerji Verimliliği ve İş Çıkarma Oranındaki İyileştirme Sonuçları

$L_{ACK}$	$L_{ACK-MA}$	$i$	$P_e$	$P_{eM}$	$\eta_{MA}$	İş Çıkarma Oranı İyileştirmesi
(bit)	(bit)				(%)	(%)
100	50	2	0.18	0.097	-10.25	10.25
100	25	4	0.18	0.095	-10.52	10.52
100	20	5	0.18	0.095	-10.52	10.52
100	10	10	0.18	0.095	-10.52	10.52

Tablo 2’deki enerji verimliliği değerlerinin negatif çıkmasının nedeni, Çoklu-ACK’da harcanan enerjinin S-FAMA’dakinden fazla olmasıdır. Başka bir deyişle Çoklu-ACK’daki enerji tüketimi, S-FAMA’nın enerji tüketiminden yaklaşık % 10 daha fazladır. Tablo 2’deki sonuçlardan görüldüğü üzere iş çıkarma oranındaki iyileştirmede olduğu gibi ACK sayısı değişiminin enerji verimliliği üzerinde de kayda değer bir etkisi olduğu söylenemez. Öte yandan ACK paket sayısının değişimi ile elde edilen enerji verimliliği ile iş çıkarma oranı iyileştirme yüzdeleri aynıdır. Diğer bir ifade ile iş çıkarma oranında % 10.25’lik bir iyileştirme için % 10.25 daha fazla enerji tüketimi göze alınmalıdır. İş çıkarma oranı ve enerji verimliliği arasında ödünleşme (trade-off) söz konusudur.

## IV. SONUÇ

Sualtı akustik algılayıcı ağların kendilerine has özellikleri onlara özel protokol tasarımlarını gerektirmektedir. Literatürde SAAA’lar için geliştirilen bir OEK protokolü olan S-FAMA’nın etkinliğinin Çoklu-ACK mekanizması ile artırıldığını gösteren çalışmalar vardır. Bu makalede Çoklu-ACK’nın sağladığı ACK dizisi yaklaşımında ACK paket sayısının ağ başarımına etkileri ele alınmıştır. ACK paket sayısının artırılmasının daha fazla iyileştirme ya da daha fazla enerji verimliliği anlamına gelmediği sonucuna varılmıştır. Diğer yandan iş çıkarma oranı iyileştirmesi ve enerji verimliliği arasındaki ödünleşim ortaya konulmuştur. Ağ başarımı açısından iş çıkarma oranındaki iyileştirme daha önemli ise, daha fazla enerji tüketimi olacağı hesaba katılmalıdır.

Gelecek çalışmalarda sualtı akustik algılayıcı ağlar (SAAA’lar) için geliştirilen S-FAMA protokolü ile onun etkinliğini arttırmak için önerilen yaklaşımlardan olan Çoklu-ACK’daki onay (ACK) paket sayısının ağ başarımı üzerindeki etkileri, benzetim modelleri ile incelenebilir. Benzetim ve analiz ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili ve T. Melodia, “Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 257–279, 2005.
- [2] D. Pompili ve I. F. Akyildiz, “Overview of Networking Protocols for Underwater Wireless Communications,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 1, pp. 97–102, 2009.
- [3] M. Chitre, S. Shahabudeen ve M. Stojanovic, “Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges,” *Marine Technology Society Journal*, vol. 42, no. 1, pp. 103–116, 2008.

- [4] M. Molins ve M. Stojanovic, "Slotted FAMA: A MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks," *MTS/IEEE Oceans Asia Pacific*, pp. 1–7, 2006.
- [5] S. Shahabudeen, M. Motani ve M. Chitre, "Analysis of a High-Performance MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering, Springer Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 74-89, 2014.
- [6] S. Ansari, J. Poncela, P. Otero ve A. Ansari, "Performance Analysis of MultiACK-SFAMA for Underwater Acoustic Networks," *Wireless Personal Communications, Springer Journal*, 2019.
- [7] P. Karn, "MACA-A New Channel Access Method for Packet Radio," *ARRL/CRRL Amateur Radio 9th computer Networking Conference*, pp. 134–140, 1990.
- [8] C. L. Fullmer ve J.J.G.L. Aceves, "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-radio Networks," *ACM SIGCOMM, Computer Communication Review*, vol. 25, no. 4, pp. 262–273, 1995.
- [9] S. Ansari, "Analysis of MAC Strategies for Underwater Applications," *Tesis Doctoral*, 2018.
- [10] M. E. Bayrakdar, "Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Aloha tabanlı Maliyet Etkin Ortam Erişim Protokolü", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.19, s.1, ss.114-120, 2019.