

Sualtı Tasarsız Ağlarının Başarım Analizi

Murtaza CİCİOĞLU^{1*}, Ali ÇALHAN²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce

¹<https://orcid.org/0000-0002-5657-7402>

²<https://orcid.org/0000-0002-5798-3103>

*Sorumlu yazar: murtazacicioglu@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.05.2022

Kabul tarihi: 24.10.2022

Online Yayınlanma: 05.07.2023

Anahtar Kelimeler:

Sualtı tasarsız ağları

Kanal modeli

Başarım analizi

Akustik haberleşme

ÖZ

Sualtı tasarsız ağlar oldukça karmaşık bir ortama sahip olmakla birlikte, karasal radyo tabanlı ağlara göre hem fiziksel hem de teknolojik farklılıklar barındırmaktadır. Ayrıca birçok sorun barındırması nedeniyle bu tür karmaşık haberleşme ağlarını modellemek oldukça zordur. Bu alandaki çalışmalar kablosuz haberleşme teknolojilerindeki yeni gelişmelerden etkilenmektedir. Kablosuz haberleşme için sualtının doğası gereği var olan bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Bu sınırlılıkları aşmak için yeni teknikler ve yaklaşımlar önerilmektedir. Bu çalışmada, insansız sualtı araçlarının birbirleri ile haberleşmesinin başarım analizi gerçekleştirilmiştir. Benzetim programında daha gerçekçi bir haberleşme kanalı için akustik kanalın tüm özellikleri tasarlanmış ve performans analizleri yapılmıştır. Tasarsız ağ biçiminde CSMA/CA protokolü kullanılarak sualtı kanal modeli ile ortamda farklı sayıda insansız sualtı araçlarının haberleşmesinde önemli başarım parametrelerinden bit hata oranı, iş çıkarım oranı, çakışma durumu ve paket kayıp oranları detaylıca incelenerek sualtı kanalının haberleşmeye etkileri gözlemlenmiştir. İki farklı senaryo Riverbed Modeler benzetim yazılımı üzerinde analiz edilmiş ve ortamdaki düğüm sayısının artması bit hata oranını yaklaşık 6 kat, paket çakışmalarını ise %30 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düğüm sayısının su altı haberleşmesinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

Performance Analysis of Underwater Ad-hoc Networks

Research Article

Article History:

Received: 09.05.2022

Accepted: 24.10.2022

Published online: 05.07.2023

Keywords:

Underwater Ad-hoc networks

Channel model

Performance analysis

Acoustic communication

ABSTRACT

Although underwater Ad-hoc networks have a very complex environment, they have physical and technological differences compared to terrestrial radio-based networks. In addition, it is challenging to model such complex communication networks due to many problems. Studies in this field are influenced by new developments in wireless communication technologies. There are some limitations to wireless communication due to the nature of underwater. New techniques and approaches are proposed to overcome these limitations. In this study, the performance analysis of the communication of unmanned underwater vehicles has been performed. In the simulation program, all the detail of the acoustic channel have been implemented and performance analyses have been carried out for a more realistic communication channel. By using the CSMA/CA

protocol in the form of an Ad-hoc network, the effects of the underwater channel on communication have been observed by examining in detail the bit error rate, throughput, collision and packet loss ratio, which are important performance parameters in the communication of different numbers of unmanned underwater vehicles in the environment with the underwater channel model. Two different scenarios are analysed on the Riverbed Modeler simulation software and the findings show that the increase in the number of nodes in the environment raised the bit error rate by about 6 times and packet collision by 30%. The research results indicate that the number of nodes is an important parameter in underwater communication.

To Cite: Cicioğlu M., Çalhan A. Sualtı Tasarsız Ağlarının Başarım Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(2): 1079-1093.

1. Giriş

İnsansız araçlara olan ilgi, gereklilik ve çalışmalar her geçen gün artmaktadır (Yılmaz ve Yılmaz, 2022). İnsansız araçların en önemli donanımı göreve özel çalışmaları ve bir insan tarafından uzaktan kontrol edildiği için haberleşme birimleridir (Genç ve Erciyes, 2020). İnsansız araçların bir çeşidi olan insansız sualtı araçları (İSA) sualtı gözlemlerinin yürütülmesi açısından oldukça önemlidir. Ancak özellikle sualtında haberleşme şartlarının zorluğundan dolayı çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. İSA'ların haberleşmesini etkileyen birçok çevresel faktör bulunmaktadır. Bunların başında suyun derinliği, tuzluluk oranı, suyun akış hızı ve daha da önemli olan ortamın deniz, okyanus ya da tatlı su olmasıdır (Zhang ve ark., 2020). Literatürde haberleşme kanal modelleri incelendiğinde bu kanallardan modellenmesi en zor olanların su gibi yoğun ortamların olduğu görülmektedir (Han ve ark., 2015). Radyo frekans sinyalleri gibi elektromanyetik sinyaller su gibi yoğun ortamlarda hızla sönümlenmektedir. Bu nedenle uygun iletişim mesafelerinde haberleşmenin sürdürülebilmesi için verici cihazının çok yüksek güçlerde çalışması gerekmektedir. Bu durum hem maliyet hem de kullanılabilirlik açısından problemlere yol açmaktadır. Bu gibi nedenler kablosuz sualtı haberleşmesi için akustik, optik ve manyetik indüksiyon dahil olmak üzere farklı teknolojilerin kullanılmasına imkan sunmaktadır.

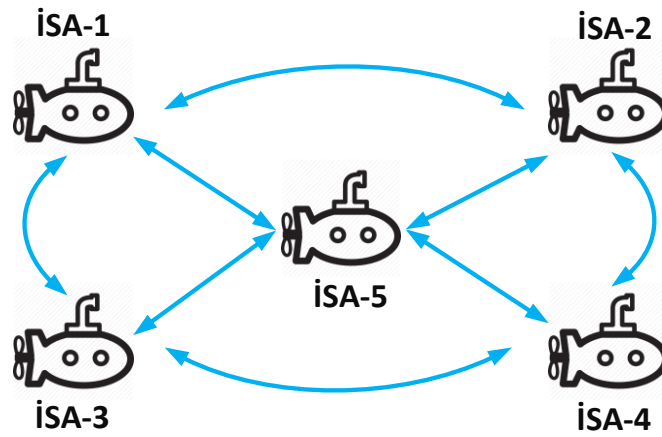
İSA'lar için en yaygın kablosuz haberleşme yöntemi akustik dalgalardır. Bu dalgalar su altında çok verimli bir şekilde yayılmaktadır. Bu nedenle su altında İSA'lar sinyal göndermek ve almak için akustik modemleri kullanmaktadır. Yaygın kullanıma sahip akustik haberleşme tekniğinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Havadaki elektromanyetik dalgalara nazaran sesin sudaki hızı oldukça yavaştır. Bu durum yüksek yayılım gecikmelerine ve düşük bant genişliğine sebep olmaktadır. Ayrıca İSA'lar su altında ilgili algılayıcı düğümlerden elde ettiği verileri toplayarak birbirine ya da birbiri üzerinden gönderebilmeli ve gerektiğinde de birbirleri ile çift yönlü şekilde haberleşip uyarılar yapabilmelidir.

Çevresel faktörlerden kaynaklanan birçok gürültü kaynağı İSA'lar arasındaki haberleşmeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle bit hata oranı (BER) metriğinin geliştirilen teknikler üzerinde incelenmesi oldukça önemlidir. Bu sayede sualtı akustik haberleşme sistemlerinin tasarımında verim

ve doğruluk düzeyi ele alınabilmektedir. Ayrıca sualtı akustik haberleşmesinde mesafelerin de bant genişliği üzerindeki etkileri bulunmaktadır. Alıcı ve verici arasındaki mesafe arttıkça kullanılabilir bant genişliği 5 kHz'e kadar düşebilmektedir. Uygun bir modülasyon tekniği sualtı akustik haberleşmesinde bant genişliğinden verimli yararlanma oranını önemli düzeyde iyileştirecektir. Bu nedenle alternatif modülasyon teknikleri, çok taşıyıcılı haberleşme ve benzeri yeni çözümler araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Kablosuz yüksek hızda ve düşük güçte veri iletim platformu İSA'lar arası haberleşme için en önemli beklentiler arasındadır (Cicioğlu ve Çalhan, 2022).

Şekil 1'de İSA haberleşmesine ait örnek bir görsel paylaşılmıştır. Özellikle İSA'lar tarafından toplanan önemli verilerin kayıpsız ve hatasız bir şekilde gönderilmesi kritik bir öneme sahiptir. Kaynak İSA'dan hedef İSA'ya gönderilen verilerin teslimi garanti edilmeli ve belirli başarımlar sağlanmalıdır. Bu sebeplerden dolayı TCP/IP protokol kümesindeki fiziksel ve veri bağı katmanlarının tüm ayrıntıları ile modellenmesi ve ayrıca paket teslim onayının sağlanarak çakışmaların önlenmesi ya da en aza indirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada yukarıda ifade edilen tüm ayrıntılar Riverbed Modeler benzetim programında modellenmiş ve İSA'lar için bir başarımlar analiz ortamı tasarlanmıştır. Geliştirilen ağ senaryosunun bit hata oranı, iş çıkarım oranı, paket kayıp oranı ve çakışma durumu parametreleri incelenmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de sualtı tasarsız ağlar konusunda literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Önerilen sistemin detayları Bölüm 3'te anlatılmıştır. Ardından, Bölüm 4'te benzetim parametreleri ve benzetim sonuçları verilmiştir. Son olarak, Bölüm 5'te çalışmanın sonuç kısmı verilmiştir.



Şekil 1. İSA haberleşmesi için bir örnek senaryo

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde tasarsız sualtı ağlarında yapılmış çalışmalar ve önerilen mimari incelenecektir.

2.1 İlgili Çalışmalar

Kablosuz haberleşme teknolojileri birçok alanda olduğu sualtı haberleşme sistemlerine de katkılar sunmuştur. Deniz ve denizaltı iletişim sistemleri genellikle uzaktan takip, haritalama ve kontrol amaçlı konum bilgilerinin kullanılması gibi birçok amaca hizmet etmektedir. Sualtı ağlarında birçok ortam erişim kontrol (MAC) protokolü önerilmiştir. Sualtı ağları için özel bir MAC yerine başarımlı performansı yüksek CSMA/CA protokolünün kullanıldığı bazı çalışmalarda görülmüştür.

Jin ve Huang (2013) sualtı akustik kablosuz algılayıcı ağlar için pekiştirmeli öğrenme algoritması ve zaman dilimli (slot) CSMA protokolü kullanan enerji verimli bir mimari geliştirmişlerdir. Önerilen mimaride düğümler sualtı ortamına uyum sağlamak için pekiştirmeli öğrenme algoritmasını kullanarak parametrelerini optimize etmektedir. Benzetim sonuçlarına göre önerilen mimari ile ağın ömrünün önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir.

Alablani ve Arafah (2022) Sualtı Algılayıcı Ağlar için Enerji Verimli Protokol (EE-UWSN) olarak adlandırılan yeni bir MAC/yönlendirme protokolü geliştirerek enerji sorununa çözüm önermişlerdir. Çalışmada enerjisi tasarrufu için sonlu güç seviyelerini kullanma, çok atlamalı iletim, iletim kapsamını daraltma, uyku modunu uygulama ve enerji tüketimini dengeleme gibi çeşitli amaçları önermişlerdir. Benzetim sonuçları literatürde CSMA ve türevi protokolleri ile karşılaştırılmış ve önerilen protokolün ortalama enerji tüketimini %68,49'a kadar azalttığını göstermişlerdir.

Zhang ve ark. (2021) sualtı akustik algılayıcı ağlarında dinamik kanaldaki zaman adaletsizliği erişim problemlerine Q-öğrenmeye dayalı bir geri çekilme algoritması önermişlerdir. Bu algorithmada çekişme penceresi makine öğrenmesi yardımıyla sualtı uyarlamalı şekilde geliştirilmiş ve yeni bir MAC protokolü geliştirmişlerdir. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın düğüm erişim kanallarının adaletini etkin bir şekilde geliştirdiğini, veri çerçevelerinin çarpışma oranını azalttığını ve ağ verimini artırdığını göstermiştir.

Khater ve ark. (2022) sualtı kablosuz algılayıcı ağları için Aloha protokolünün türevleri olan P-Aloha, S-Aloha, Aloha-CS, Aloha-AN, Buffered-Aloha, Slotted-CS-Aloha, VI-Aloha, L-Aloha, ST-Slotted-CS-Aloha, Modified-Slotted-Aloha protokollerini ortalama gecikme, enerji tüketim oranı ve iş çıkarım oranı gibi farklı performans ölçütlerine göre karşılaştırmış, öne çıkan özellikleri ile sorunları detaylıca incelemiş ve analiz etmiştir.

Li ve ark. (2021) NS2/NS-Miracle benzetim yazılımında Dünya Okyanus Simülasyon Sistemi (WOSS) ile entegre bir benzetim sistemi üzerinde beş düğümlü merkezi bir sualtı algılayıcı ağını analiz etmişlerdir. Üç MAC protokolü (Aloha-CS, CSMA/CA ve DACAP) aynı koşullar altında karşılaştırılmış, ortalama iş çıkarım oranı, ortalama gecikme ve paket hata oranı gibi benzetim sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, CSMA/CA protokolü bu tür ağlardaki diğer protokollere göre daha yüksek sonuç vermiştir.

Gazi ve ark. (2022) Sualtı Akustik Ağı ortamında multimedya algılama için pekiştirmeli öğrenme makine öğrenmesi yaklaşımına dayalı bir MAC protokolü önermişlerdir. Algılayıcı düğümlerin hareketlilik durumları göz önünde bulundurularak çok atlamalı ağlarda ara düğümlerin verimli bir

biçimde paket iletmelerini sağlayacak yeni teknikler üzerinde yoğunlaşmışlardır. Burada da çekişme penceresinin hesaplanması aşamasında makine öğrenmesinden yararlanılmıştır. Düşük maliyetli bir donanım üzerinde örnek bir uygulama verilmiş ayrıca NS-3 üzerinden detaylı benzetimler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar paket iletimi ve iş çıkarım oranlarında iyileşmeler olduğunu göstermiştir.

Liu ve ark. (2021) sualtı akustik algılayıcı ağlarında iletim gecikmesini azaltmak için yeni bir zamanlama tabanlı MAC protokolü geliştirmişlerdir. Zaman dilimi yönetim sorununu çözmek için en uygun paket düzeyinde slot zamanlama (PLSS) ve sezgisel yaklaşık PLSS (PLSS-A) algoritması olmak üzere iki algoritma geliştirilmiştir. Önerilen çözümlerin performansları, farklı ağ ölçekleri, paket uzunlukları ve trafik yükleri ile analiz edilmiş, elde edilen sayısal sonuçlar, hem PLSS hem de PLSS-A'nın ortalama uçtan uca gecikme ve hizmet adaleti açısından başarılı sonuçlar gösterdiğini ve büyük ölçekli ağlar için ağ veriminde avantaja sahip olduğunu göstermiştir.

Song (2021) çalışmasında slotted-Aloha ortam erişim kontrol protokolüne dayalı üç boyutlu topolojiye sahip uygun maliyetli sualtı akustik algılayıcı ağ mimarisi geliştirmiştir. Bu çalışmada hizmet kalitesi gereksinimlerini karşılamak için Sualtı Nesnelerinin İnterneti ağ tasarımını optimize etmeyi amaçlamıştır.

Morozs ve ark. (2020) kontrol yükü olmadan yeni algılayıcıların mevcut bir Sualtı Nesnelerinin İnterneti ağ topolojisine birleştirilmesini kolaylaştırmak için "JOIN" olarak adlandırılan yeni bir protokol önermişlerdir. Geliştirilen bu protokol ile algılayıcıların ağa ne zaman katılacağı yerel topoloji ve çizelge bilgilerine göre belirlenebilmektedir. Bu sayede beklenen paket kayıp sayısı düşürülmüştür.

Krishnaraj ve ark. (2020) Sualtı Nesnelerinin İnterneti için görüntü sıkıştırma ayırık dalgacık dönüşümü (DWT) tabanlı bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. Daha iyi rekonstrüksiyon görüntü kalitesi ile etkili sıkıştırma elde etmek için, kodlama ve kod çözme tarafında evrişim sinir ağı (CNN) kullanılmıştır.

Gül ve Leblebicioglu (2012) çalışmalarında İSA'ların otonom olarak çalışması için matematiksel model, hız, pitch ve yaw eksenlerinde oto pilot, hareket ve görev planlama algoritmalarının geliştirilmesi için çeşitli tanımlamalar yapmıştır. Önerilen matematiksel model, kontrol modeli, hareket ve görev planlama algoritmaları bilgisayar benzetim sonuçları ile analiz edilmiştir. Karadeniz Kartal ve ark. (2018) bir başka çalışmalarında MATLAB ortamında insansız bir sualtı araştırma aracı (SAGA) için doğrusal olmayan bir matematiksel model önermişlerdir. Bu matematiksel model için Newton-Euler denklemleri kullanılmıştır. Sağ, sol ve dikey iticilerin kombinasyonu kullanılarak üç boyutlu hareket kabiliyeti sağlanmıştır. Navigasyon sorunu ele alınmış, konum ve derinlik bilgileri için manyetik pusula ve derinlik algılayıcı cihazları kullanılmış ve kalman filtresi ile seyir iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Yılmaz ve Kılıcı (2021) çalışmalarında otonom su altı araçları için gerekli tasarım kavramlarını ve ilkelerini detaylıca incelemişlerdir. Bayrakdar (2020) çalışmasında, sualtı kirliliğinin oluşumunu tespit eden ve alarm veren bir akıllı algılayıcı tabanlı izleme sistemi için bir benzetim modeli geliştirmiştir.

Bu modelin uygun maliyetli bir sistem olabilmesi için ortam erişim kontrol protokolü olarak Aloha seçilmiştir. Çalışmada önerilen model test edilerek sistemin verimliliğinin mevcut insan gözetimini içeren izleme sürecine göre daha istikrarlı, uygun maliyetli ve yönetilebilir olduğu ifade edilmiştir. Mahmutoglu ve ark. (2021) çalışmalarında Monte Carlo yaklaşımı kullanılarak sualtı kablosuz optik haberleşme kanal modelinin verici ile alıcı arasındaki mesafeye, verici için ışının yayılım açısına ve alıcının açıklık çapına göre SNR ve kanal kapasitesindeki değişimleri incelenmişlerdir.

Liao ve Huang (2012) çalışmalarında sualtı akustik algılayıcı ağlar için uzamsal olarak adil bir çoklu erişim kontrol (SF-MAC) protokolü önermişlerdir. Çekişme pencereleri ile haberleşme öncesi el sıkışma paketleri olan CTS ve RTS paketleri kullanılarak paket çarpışmalarının azaltılması sağlanmıştır. Ayrıca bu paketlerin çoklu erişim durumlarında çekişme tabanlıdan ziyade adil olarak ortama erişilmesi için kullanılmıştır. Pompili ve ark. (2009) çalışmalarında sualtı akustik algılayıcı ağlar için tasarlanmış dağıtılmış bir MAC protokolü geliştirmişlerdir. Yazarlar en uygun iletim gücünü ve kod uzunluğunu birlikte ayarlamak için yeni bir kapalı döngü dağıtık algoritmayı içeren verici tabanlı bir Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) protokolü önermişlerdir. Bu çalışmada okyanus derinliğinin 100 m'den fazla olduğu yerlerde yüksek ağ verimi, düşük kanal erişim gecikmesi ve düşük enerji tüketiminin sağlandığı gösterilmiştir. Bouabdallah ve ark. (2019) ise çalışmalarında su altı akustik algılayıcı ağlar için tasarlanmış çok kanallı bir MAC protokolü (MC-UWMAC) önermişlerdir. MC-UWMAC, bir göndericinin amaçlanan bir komşu alıcı ile el sıkışmak için ortak kontrol kanalı üzerindeki kendi tahsis edilmiş zaman dilimi kullanılarak çarpışmasız bir iletişim sağlamayı amaçlayan enerji açısından verimli bir MAC protokolüdür.

2.2 Sualtı Tasarsız Ağları

Karasal ağlarda olduğu gibi sualtı ağlarında da altyapılı ve tasarsız ağlar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Altyapılı ağlarda bir merkezi düğüm sualtı düğümlerinden gelen verileri toplamakta ve bir su üstü birime bu verileri iletmektedir. Tasarsız sualtı ağlarında ise hareketlilik ve derinlik durumları göz önünde bulundurularak düğümler birbirleri ile doğrudan haberleşebilmektedir. Altyapılı ağlarda olduğu gibi bir baz istasyonu görevinde bulunan merkezi düğüm bulunmamaktadır. Özellikle İSA'ların hareketlilik, derinlik ve kablosuz haberleşme durumlarından dolayı tasarsız ağ yapısının daha uygun olduğu görülmektedir. Bu sayede veri paylaşımı sağlanarak özel görevlerde İSA'lar arasında koordinasyonun sağlanması amaçlanmaktadır.

Kablosuz ortamlarda her an kullanıcıların ağa bağlanıp ayrılma durumları söz konusu olduğundan haberleşme kanallarına sabit kullanıcı ataması yapılması uygun değildir. Ayrıca kullanıcı sayıları sürekli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı CSMA/CA ortam erişim kontrol protokolünün kullanımı diğer protokollere nazaran en uygundur. CSMA/CA protokolü kablosuz ağlar için tasarlanmış ve göndermeden önce kanalı dinleme tekniğine dayalı bir ortam erişim kontrol protokolüdür (Çalhan ve Cicioğlu, 2022). CSMA/CA kullanan her düğüm haberleşme kanalına veri göndermeden önce kanalı dinler, eğer kanalı kullanan başka bir düğüm yoksa verisini gönderir.

Kanalda başka kullanıcı var ise belirli bir süre sonra kanalı dinleme işlemine tekrar başlar. Her gönderilen paketin hedefine ulaştığına dair bir bilgilendirme paketi gönderilir. Bilgilendirme paketi verici düğüme ulaşmaz ise iletimin gerçekleşmediği ortaya çıkar ve aynı paket tekrar aynı hedefe gönderilir. Ayrıca ortamın her meşgul olma durumunda geri çekilme algoritması çalıştırılarak CSMA/CA protokolünün çalışması tamamlanmış olur. Çalışmamızda özellikle CSMA/CA protokolünün seçilme nedeni literatürde sualtı kablosuz haberleşme çalışmalarında yapılan performans analizlerinde bu protokolün diğer protokollere (Aloha-CS, DACAP) göre daha başarılı olduğunu gösteren çalışmalardır (Li ve ark., 2021). Sualtı kablosuz algılayıcı ağlar için, pekiştirmeli öğrenme algoritması ile CSMA/CA protokolü kullanılarak enerji verimli mimarilerin geliştirilmesi (Jin ve Huang, 2013), UWSNs olarak adlandırılan enerji verimli ortam erişim kontrol ve yönlendirme algoritmasının tasarlanması (Alablani ve Arafah, 2022), VFFO optimizasyon algoritması kullanılarak enerji tüketimi ve performans sonuçlarının iyileştirilmesi (Zhang ve ark., 2017) gibi farklı yaklaşımlarla da karşılaşılmıştır.

Sualtı haberleşme sistemleri kablosuz haberleşme için oldukça kötü şartlara sahiptir. Bu nedenle haberleşmenin verimli bir biçimde sürdürülebilmesi adına akustik sinyaller tercih edilmektedir. Ayrıca bant genişliği sınırlı ve düşük olduğundan akustik haberleşme düğümleri 10 ile 40 KHz arasındaki frekans kanallarını kullanmaktadır. Yol kaybı, doppler yayılımı, çok yollu sönümlenme gibi çok hızlı değişen haberleşme kanalı durumları sualtındaki haberleşmeyi olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak yüksek bit hata oranı ve paket kaybı oluşumuna sebep olmaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere su derinliği, su sıcaklığı, tuzluluk oranı ve sudaki diğer maddeler akustik sinyalin yayılımını etkileyebilmektedir (Senel ve ark., 2013; Qiao ve ark., 2017). Literatürdeki sualtı kablosuz haberleşme çalışmalarında çoğunlukla yaklaşık kanal modelleri (Beer-Lambert) (Mahmutoglu ve ark., 2020; Matta ve ark. 2019) ile yüksek doğruluk ve hassasiyet için Monte Carlo yaklaşımli kanal modelleri (Tang ve ark., 2014; Zeng ve ark. 2017) tercih edilmiştir.

Sualtı haberleşme kanalı doğası gereği oldukça değişken bir yapıya sahiptir. Ayrıca servis kalite gereksinimleri bu ortamlar için çeşitli su altı ortam faktörlerine bağlıdır. Akustik sinyal hızı, su sıcaklığına, su derinliğine ve tuzluluğa göre büyük ölçüde değişebilmektedir. Su altı haberleşmesi için gerekli fiziksel katman gereklilikleri Mackenzie formülüyle tanımlanmıştır. Sualtı haberleşmesi fiziksel kanallarının gerçekçi modellenmesi için Denklem 1'de verilen Mackenzie (1998) formülündeki tüm matematiksel modeller Riverbed Modeler benzetim yazılımında alıcı antenin tasarımına uygulanmıştır. Veri bağlantı katmanı olarak ikinci katmandaki akustik sinyaller çerçevelere dönüştürülmüştür. Çalışmamızda sualtı ortamında birkaç sualtı algılayıcı düğüm bulunmaktadır. Akustik kanal yapılandırması sualtı paket iletimi için CSMA/CA MAC protokolü ile gerçekleşmektedir.

$$c(d, S, T) = 1448.96 + 4.591 * T - 5.304 * 10^{-2} * T^2 + 2.374 * 10^{-4} * T^3 + 1.340 * (S - 35) + 1.630 * 10^{-2} * D + 1.675 * 10^{-7} * D^2 - 1.025 * 10^{-2} * T * (S - 35) - 7.139 * 10^{-13} * T * d^3 \quad (1)$$

Riverbed Modeler benzetim yazılımında TCP/IP'nin tüm katmanları modellenilebilmektedir. Bu kapsamda karasal kablosuz haberleşme için fiziksel katmanda tanımlanan alıcı anten tipi ve özellikleri sualıtı akustik haberleşme için yeniden düzenlenmiştir. Benzetim programında sualıtı akustik haberleşme için yayılım gecikmesi (Propagation Delay), alıcı anten gücü (Receiver Power) ve arkaplan gürültü (Background Noise) dosyaları sırasıyla uygun bir şekilde ele alınmıştır. Yayılım gecikmesi için “dra_propdel.ps.c”, alıcı anten gücünü hesaplamak amacıyla “dra_power.ps.c” ve arkaplan gürültüsü için “uwa_bkgnoise.ps.c” isimli C tabanlı dosyalar bulunmaktadır. Bu dosyalar sualıtı akustik haberleşme kanal modeline göre revize edilmiştir. Şekil 2’de Riverbed Modeler benzetim yazılımı için alıcı ve verici antenlerinin yukarıda ifade edilen anten özellikleri gösterilmiştir. Mackenzie formülündeki notasyonlar şu şekilde ifade edilmektedir; T santigrat derece cinsinden sıcaklık (°C), S binde (%) olarak tuzluluk oranını ve d ise metre cinsinden derinlik olarak varsayılmıştır.

Çalışmamızda yukarıda anlatılan tüm durumlar göz önüne alınarak İSA’ların fiziksel ve veri bağı katmanı protokolleri Riverbed Modeler ağ benzetim programında tasarlanmış ve başarımları analizleri yapılmıştır (Riverbed Modeler Software, 2020). Riverbed Modeler, çeşitli ağ topolojilerinin davranışını ve performansını analiz eden ve akademik dünyada yaygın kabul gören bir ağ benzetim yazılımıdır. Bu yazılımın diğer benzetim programlarından temel farkı desteklediği haberleşme teknolojilerindeki çeşitliliğidir. Hem önceden oluşturulmuş protokol ve cihaz modellerini sunarken hem de yeni protokollerin tasarlanmasına imkan sunabilmektedir. Farklı ağ topolojileri oluşturulabilmesi ve benzetim yapılabilmesi nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bir sonraki bölümde İSA haberleşme sisteminin çeşitli parametrelere göre başarımları analizleri gerçekleştirilmiştir.

Attribute	Value
name	rt_0
channel	(...)
modulation	bpsk
rxgroup model	dra_rxgroup
txdel model	dra_txdel
closure model	dra_closure
chanmatch model	dra_chanmatch
tagain model	dra_tagain
propdel model	dra_propdel
icon name	ra_tx

Radyo vericisi için kullanılan

Attribute	Value
name	rr_0
channel	(...)
modulation	bpsk
noise figure	1.0
ecc threshold	0.0
ragain model	dra_ragain
power model	dra_power
bkgnoise model	dra_bkgnoise
inoise model	dra_inoise
snr model	dra_snr
ber model	dra_ber
error model	dra_error
ecc model	dra_ecc
icon name	ra_rx

Radyo alıcısı için kullanılan

Şekil 2. Riverbed Modeler radyo alıcı-verici antenlerinin özellikleri

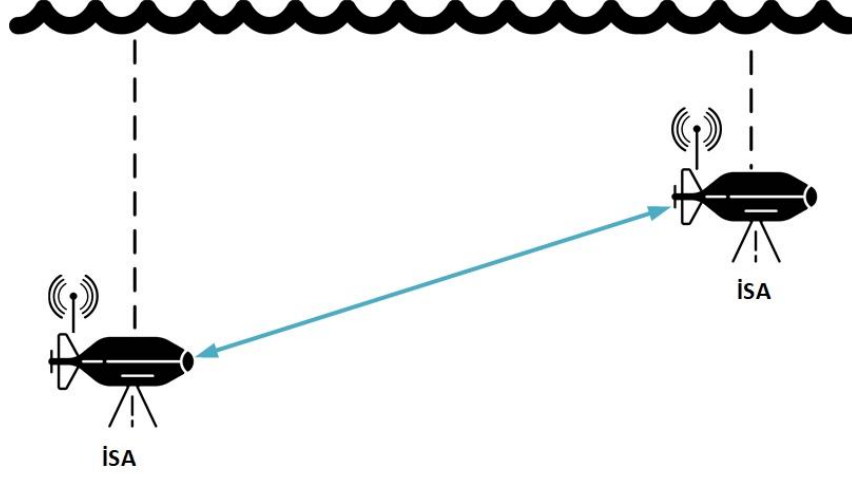
3. Bulgular ve Tartışma

Tasarlanan İSA haberleşme ağı Riverbed Modeler benzetim yazılımında C yazılım dili kullanılarak programlanmıştır. Riverbed Modeler nesneye dayalı programlama özelliklerini barındıran ağ protokolleri için zengin kütüphanelere sahip uluslararası saygınlığı olan bir ağ benzetim yazılımıdır. Ağ protokolleri, ağ modelinin tüm katmanları düzeyinde programlanabilmesini sağlayan Proto-C tabanlı bir ağ benzetim yazılımıdır. Ağ başarımlarını değerlendirme işlemleri için özellikle fiziksel ve veri bağı katmanlarının ayrıntılı ve doğru bir şekilde programlanması gerekmektedir. Önceki bölümde anlatılan tüm özellikler dikkate alınarak İSA-İSA haberleşmesi tasarsız ağ biçiminde CSMA/CA protokolü ve sualtı haberleşme kanal modeliyle birlikte programlanmıştır. Tablo 1’de senaryolar için Riverbed Modeler benzetim yazılımında kullanılan parametreler verilmiştir.

Tablo 1. Benzetim Parametreleri

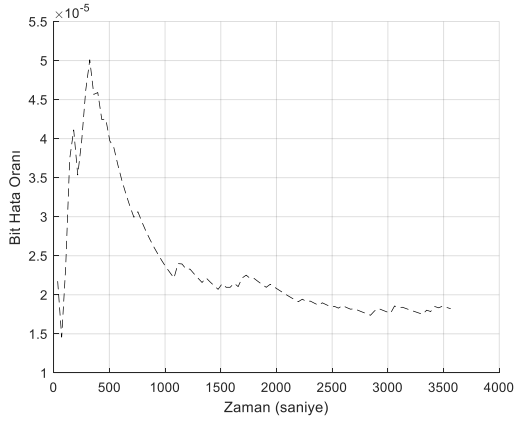
Parametreler	Değerler
Benzetim süresi	3600 sn
Frekans	20 - 25 kHz
Düğüm sayısı	1 - 4
MAC protokolü	CSMA/CA
Model	Mackenzie
Öncelikler	0-8 (düşükten yükseğe)
Bant genişliği	40 kHz
Veri hızı	1024 bps
Paket boyutu	100 Byte
Derinlik	0 m /100 – 1000m
Rüzgar hızı (w)	0 m/sn
Sıcaklık	18 C
Su tuzluluğu (S)	27 ppt
Su Asitliği (pH)	7

İSA-İSA haberleşmesinin başarımlarını analizinde iki senaryo tasarlanmış ve bit hata oranı, iş çıkarım oranı, çakışma durumu ve paket kayıp oranı parametreleri incelenmiştir. İlk senaryoda sualtı haberleşme ortamında Şekil 3’te gösterildiği gibi iki farklı İSA (İSA-1 ve İSA-2) bulunmaktadır. Her iki senaryo Tablo 1’de verilen benzetim parametrelerine göre düzenlenmiştir. İSA’lar birbirlerine iki yönlü olarak veri gönderebilmektedir. İSA-1’in yukarıda ifade edilen dört farklı başarımlar parametresi incelenmiştir. Ortam erişim kontrol protokolü olarak başarımlar performansı yüksek olan CSMA/CA tercih edilmiştir. Bu sayede oldukça kötü haberleşme ortamında başarımların uygun bir seviyede sürdürülmesi amaçlanmıştır.

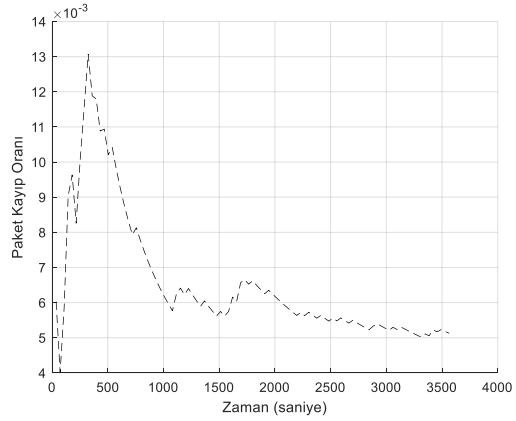


Şekil 3. İki İSA'dan oluşan birinci senaryonun gösterimi

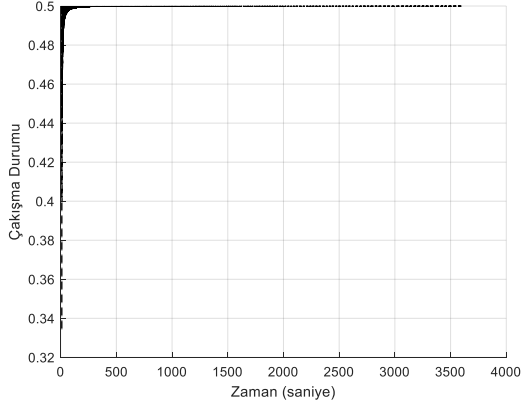
İlk senaryonun başarımları Şekil 4'te verilmiştir. Bit hata oranı ortalama $2 \cdot 10^{-5}$, paket kayıp oranı ortalama $5 \cdot 10^{-3}$, çakışma durumu 0,5 ve iş çıkarım oranı 1,15 civarında elde edilmiştir. Akustik haberleşme kanalları yüksek sinyal yayılım gecikmesine sebep olmaktadır. Ayrıca bu kanallardaki ses hızının yaklaşık $1,5 \cdot 10^3$ m/sn ve düğümlerin genellikle 10-40 kHz'deki frekanslarda çalıştığı bilinmektedir. Bu senaryoda benzetimi gerçekleştirilen sualtı haberleşme kanalının sınırlı bant genişliği ve kablosuz algılayıcı düğümlerin aksine çok hızlı kanal değişimi gibi birçok sorun nedeniyle özellikle İSA-1 ve İSA-2 arasındaki iki yönlü haberleşmenin performansı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ışığında kaynak paketlerinin hedefe başarılı bir biçimde ulaştığı gözlemlenmiştir.



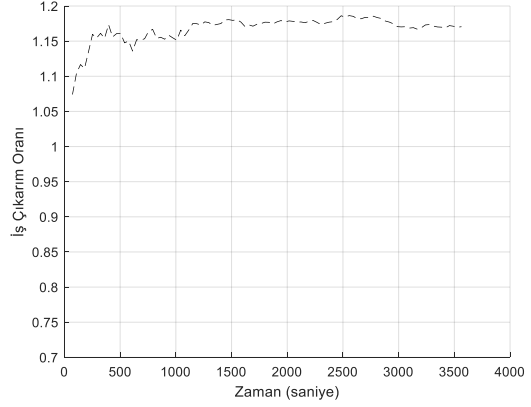
a) Bit hata oranı



b) Paket kayıp oranı



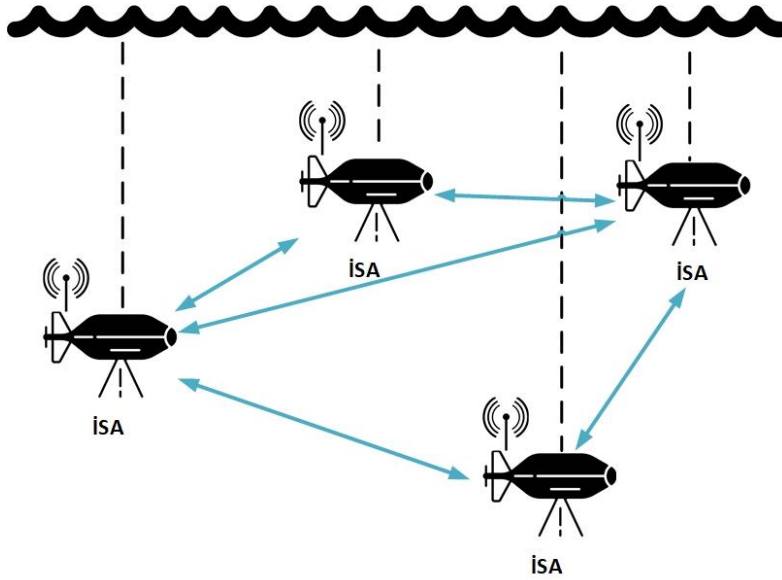
c) Çakışma durumu



d) İş çıkarım oranı

Şekil 4. Senaryo 1 için başarımlar sonuçları (İSA-1 İSA-2 ye veri gönderiyor / İSA-1 in sonuçları)

Diğer bir taraftan ikinci senaryoda ise tasarsız sualtı haberleşme ortamında İSA-1 ve İSA-2 ile İSA-3 ve İSA-4 düğümleri konuşlandırılmıştır. Bu sayede akustik kanal modelinin her düğüm çifti arasındaki iki yönlü haberleşmeye olan etkisi incelenmektedir. Bu düğümler Şekil 5'te de gösterildiği gibi birbirlerine veri gönderebilmektedir. Her iki senaryoda da İSA-1'in bit hata oranı, iş çıkarım oranı, çakışma durumu ve paket kayıp oranı parametreleri ele alınmıştır. İSA-1 İSA-2'ye, İSA-3 ise İSA-4'e veri göndermektedir. Bu şartlar altında İSA-1'in başarımlar sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

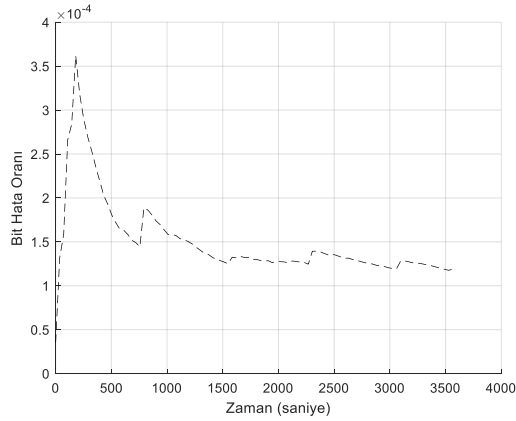


Şekil 5. Dört İSA'dan oluşan ikinci senaryonun gösterimi

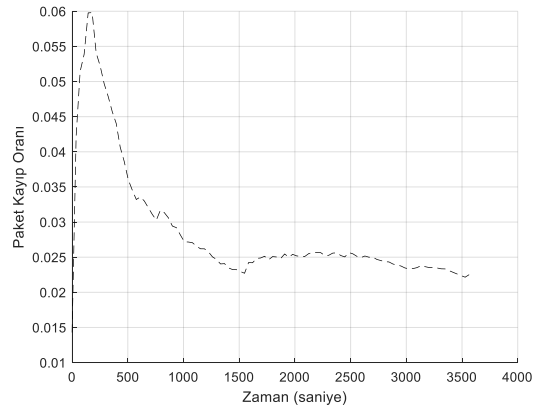
İkinci senaryonun bit hata oranı, paket kayıp oranı, çakışma durumu ve iş çıkarım oranına ait başarımlar sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Bit hata oranı ortalama $1,5 \cdot 10^{-4}$, paket kayıp oranı ortalama 0,025, çakışma durumu 0,65 ve iş çıkarım oranı 1,15 civarında elde edilmiştir.

Akustik iletişim kanallarında büyük sinyal yayılma gecikmesi oluşur. Kablosuz kanaldaki elektromanyetik dalgalar ile sinyalin hızı yaklaşık $3 \cdot 10^8$ m/sn iken akustik kanaldaki sesin hızı yaklaşık $1,5 \cdot 10^3$ m/sn'dir. Akustik iletişimdeki sensör düğümleri genellikle 10-40 kHz'deki frekansları kullanır (Han ve ark., 2015).

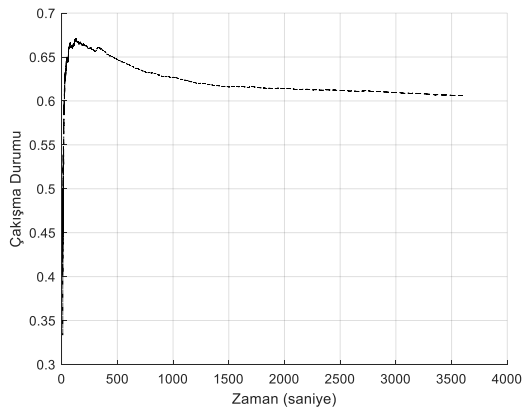
İki senaryo karşılaştırıldığında ilk senaryoda iki düğüm olması sebebiyle bit hata oranı ve paket kayıp oranları düşük çıkmış ve çakışma durumu 0,5 civarındadır. İkinci senaryoda düğüm sayısı 2 katına çıktığı için bit hata oranı ve paket kayıp oranı artarak çakışma durumunun da 0,65 civarına yükseldiği gözlemlenmiştir. Senaryo sonuçları paketlerin iş çıkarma oranı grafiğine göre incelendiğinde paketlerin hedeflerine teslim edildiği görülmektedir. Başarım sonuçları az sayıda kullanıcı olmasına rağmen kullanıcı sayısının artmasıyla kayıpların arttığını ve çakışmaların arttığını da göstermektedir. Bunun temel nedeni is sualtı haberleşme ortamının zorlu şartlarından kaynaklanmaktadır. Sualtı algılayıcı düğüm haberleşmesinde, yüksek yol kaybı, Doppler yayılımı, sınırlı bant genişliği ve kablosuz algılayıcı düğümlerin aksine çok hızlı kanal değişimi gibi birçok sorun performans sonuçlarına etki etmektedir.



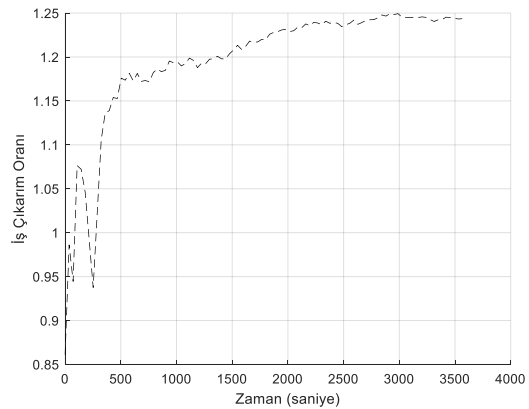
a) Bit hata oranı



b) Paket kayıp oranı



c) Çakışma durumu



d) İş çıkarma oranı

Şekil 6. Senaryo 2 için başarımları

4. Sonuç

İnsansız araçlar gün geçtikçe önemi ve kullanımı artan teknolojiler olarak hayatımızda yerini almaktadırlar. Bu sistemlerdeki en önemli bileşenlerden birisi de haberleşme sistemleridir. Araçların birbirleri ile haberleşme özelliğine sahip olması kaçınılmaz bir gerekliliktir. Kayıpsız ve artan kullanıcı sayılarında sualtında önemli problemlerle karşılaşılabilir. İnsansız Sualtı araçlarının düşük frekans ve dar bant genişliklerinde kayıpsız bir şekilde iletimlerini gerçekleştirmeleri önemli görevlerde hayati önem arz etmektedir. Bu çalışmada insansız sualtı araçlarının birbirleri ile haberleşmesi ele alınmış ve bir ağ modeli ortaya konulmuştur. Önemli başarımlar parametreleri olan bir hata oranı, paket kayıp oranı, çakışma durumu ve iş çıkarım oranı iki farklı senaryo üzerinde incelenmiştir. İlk senaryonun başarımlar sonuçlarına göre İSA'lar arasındaki iki yönlü haberleşmenin başarılı bir biçimde gerçekleştiğini ancak akustik haberleşme kanallarının yüksek sinyal yayılım gecikmesine sebep olduğunu göstermiştir. İkinci senaryoda ise düğüm sayısındaki artışın bit hata oranı ve paket kayıp oranına etkisi incelenmiş ve özellikle çakışma durumunun 0,65 civarına yükseldiği gözlemlenmiştir. Ancak buna rağmen paketlerin hedeflerine başarılı bir biçimde teslim edildiği de görülmüştür.

Gelecek çalışmalar için Riverbed Modeller benzetim yazılımı üzerinde farklı kanal modelleri ile sürü halinde insansız sualtı araçları için ağ modellerinin tasarlanması planlanmaktadır. Bu modeller benzetim programında kullanılan 14 aşamalı Alıcı-Verici veri hattı üzerinde (aşama 5 yayılım gecikmesi, aşama 7 alıcı gücü ve aşama 9 arka plan gürültüsü) farklı modeller programlanarak farklı ağ topolojileri üzerinde çeşitli analizler yapılacaktır. Makine öğrenmesi yardımıyla farklı kanal modellerinin ortam koşullarına göre belirlenmesi problemi de çalışılması düşünülen gelecek konular arasındadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Alablani IA., Arafah MA. EE-UWSNs: A joint energy-efficient MAC and routing protocol for underwater sensor networks. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022; 10(4): 1-25.
- Bouabdallah F., Chaima Z., Raouf B., Ahmed M. Collision avoidance energy efficient multi-channel MAC protocol for underwater acoustic sensor networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing* 2019; 18(10): 2298–2314.
- Çalhan A., Cicioğlu M. Drone-assisted smart data gathering for pandemic situations. *Computers &*

- Electrical Engineering 2022; 98: 1-11.
- Çalhan A., Cicioğlu M. Performance analysis of cross-layer design for internet of underwater things. *IEEE Sensors Journal* 2022; 22(15): 15429-15434.
- Bayrakdar EM. Cost effective smart system for water pollution control with underwater wireless sensor networks: A simulation study. *Computer Systems Science and Engineering* 2020; 35(4): 283–292.
- Gazi F., Ahmed N., Sudip M., Wei W. Reinforcement learning-based MAC protocol for underwater multimedia sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks* 2022; 18: 1-27.
- Genç YM., Erciyes E. İnsansız hava araçları (İHA) tehditleri ve güvenlik yönetimi. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles* 2020; 2(2): 36-42.
- Gul UD., Leblebicioglu K. Autonomous underwater vehicle modelling, control, motion and mission planning design. In *20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, IEEE:2012; 1–4, Mugla, Turkey.
- Han G., Chenyu Z., Shu L., Rodrigues JPC. Impacts of deployment strategies on localization performance in underwater acoustic sensor networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2015; 62(3): 1725-1733.
- Jin L., Defeng H. A slotted CSMA based reinforcement learning approach for extending the lifetime of underwater acoustic wireless sensor networks. *Computer Communications* 2013; 36(9): 1094-1099.
- Karadeniz KS., Leblebicioglu MK., Ege E. Experimental test of the acoustic-based navigation and system identification of an unmanned underwater survey vehicle (SAGA). *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 2018; 40(8): 2476–2487.
- Khater EM., El-Fishawy N., Tolba MB., Mahmoud D., Badawy MB. Review of ALOHA-based MAC protocols for underwater wireless sensor networks. *Mansoura Engineering Journal* 2022; 47(1): 12–25.
- Krishnaraj N., Elhoseny M., Thenmozhi M., Mahmoud M. S., Shankar K. Deep learning model for real-time image compression in internet of underwater things (IoUT). *Journal of Real-Time Image Processing* 2020; 17(6): 2097–2111.
- Li L., Jin X., Lu C., Wei Z., Li J. Modelling and simulation on acoustic channel of underwater sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2021; 2021: 1–12.
- Liao W., Chih-Chien H. SF-MAC: A spatially fair MAC protocol for underwater acoustic sensor networks. *IEEE Sensors Journal* 2012; 12(6): 1686–1694.
- Liu M., Zhuo X., Wei Y., Wu Y., Qu F. Packet-level slot scheduling mac protocol in underwater acoustic sensor networks. *IEEE Internet of Things Journal* 2021; 8(11): 8990–9004.
- Mackenzie KV. Nine-term equation for sound speed in the oceans. *The Journal of the Acoustical Society of America* 1998; 70(3): 1-6.
- Mahmutoğlu Y., Cenk A., Kadir T. Değişik ortam ve sistem parametreleri için sualtı kablosuz optik

- haberleşme monte carlo kanal kapasitesinin incelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2021; 8(2): 567-581.
- Mahmutoglu Y., Kadir T., Cenk A. Investigation of underwater wireless optical communication channel capacity for different environment and system parameters. *Hittite Journal of Science & Engineering* 2020; 7(4): 279–285.
- Matta G., Monika A., Rajendar B. Channel capacity for underwater visible light communication systems. In *OCEANS, IEEE:2019*; 1-4, Marseille, France.
- Morozs N., Paul D. M., Roe D. Scalable adaptive networking for the internet of underwater things. *IEEE Internet of Things Journal* 2020; 7(10): 10023–10037.
- Pompili, D., Tommaso M., Ian FA. A CDMA-based medium access control for underwater acoustic sensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 2009; 8(4): 1899–1909.
- Riverbed Modeler Software. <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html> (Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2021), 2022.
- Senel F., Akkaya K., Yilmaz T. Autonomous deployment of sensors for maximized coverage and guaranteed connectivity in underwater acoustic sensor networks. In *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*: 2013; 211–218, Sydney.
- Song Y. Underwater acoustic sensor networks with cost efficiency for internet of underwater things. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2021; 68(2): 1707–1716.
- Tang S., Yuhan D., Xuedan Z. Impulse response modeling for underwater wireless optical communication links. *IEEE Transactions on Communications* 2014; 62(1): 226–234.
- Yılmaz G., Yılmaz S. İnsansız sualtı araçlarında (İSA) hidrodinamik sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin derinlik ve hıza bağlı değişiminin had ile analizi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 2022; 14(1): 72–83.
- Yılmaz S., Kılıcı BS. General design principles for autonomous underwater vehicles. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2021; 11(1): 119–131.
- Ying Z., Yunlong Q., Haiyang Z. Coverage enhancing for underwater acoustic sensor networks based on virtual force and fruit fly optimization algorithm. *Journal of Shanghai Jiaotong University* 2017; 51(6): 7-15.
- Zeng Z., Fu S., Zhang H., Dong Y., Cheng J. A survey of underwater optical wireless communications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 2017; 19(1): 204–238.
- Zhang W., Han G., Wang X., Guizani M., Fan K., Shu LA. Node location algorithm based on node movement prediction in underwater acoustic sensor networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 2020; 69(3): 3166–3178.
- Zhang W., Wang X., Han G., Peng Y., Guizani M., Sun JA. Load-adaptive fair access protocol for MAC in underwater acoustic sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications* 2021; 173: 1-13.