

# Kablosuz Sualtı İletişiminde Yeni Araştırma Konuları

**Yonca Bayrakdar, Aylin Kantarcı**

Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir

[yonca.bayrakdar@ege.edu.tr](mailto:yonca.bayrakdar@ege.edu.tr), [aylin.kantarci@ege.edu.tr](mailto:aylin.kantarci@ege.edu.tr)

**Özet:** Günümüzde sualtı kablosuz iletişimi, radyo-tabanlı karasal sensör ağları ile ilgilenen araştırmacıların dikkatini çekmekte ve çoğu bilimsel, çevresel, ticari ve askeri uygulamada kullanılabilir. Sualtı sensör ağları ve karasal sensör ağları fiziksel, teknolojik ve ekonomik açıdan birbirinden farklılıklar göstermektedirler. Sualtı akustik kanalının kısıtlı ve uzaklık-bağımlı bant genişliği, yüksek iletim gecikmeleri, zamanla değişen çoklu rotalar ve sinyal zayıflaması gibi özelliklere sahip kendine özgü yapısı, yeni, etkin ve güvenilir iletişim protokollerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu bildiri, sualtı iletişimde yeni araştırma konuları ve bu iletişimin zorlukları anlatılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Sualtı Kablosuz Sensör Ağları, Akustik İletişim

## New Research Issues in Underwater Wireless Communication

**Abstract:** Nowadays, the subject of underwater wireless communication is attracted the researchers who work on radio-based terrestrial sensor networks and can enable many scientific, environmental, commercial and military applications. Underwater sensor networks and terrestrial sensor networks physically, technologically and economically differs from each other. New, reliable and efficient communication protocols are required because of the specific characteristics of underwater acoustic channel; such as limited and distance-dependent bandwidth, high propagation delays, time varying multipaths and fading. The challenges and new research issues on the underwater communication explained in this paper.

**Keywords:** Underwater Wireless Sensor Networks, Acoustic Communication

### 1. Giriş

Yerkürenin dörtte üçünü kaplayan denizler ve okyanuslar, henüz keşfedilmemiş yönleri ile insanların her zaman ilgisini ve hayranlığını uyandırmıştır. Son dönemde gerek bilimsel ve askeri, gerekse ticari açıdan denizleri ve okyanusları gözlemlenebilirlik konusu artan bir ilgi görmektedir. Bu tip gözlemler için en uygun araç dağıtık sualtı kablosuz sensör sistemleridir ve bu sistemler Sualtı Kablosuz Sensör Ağları olarak bilinmektedirler. [1,2]

Deniz/Okyanus dibine yerleştirilen sensörler, sismik hareketleri gözlemlenebilir, deniz suyu

kirliliğini ölçme, sualtı madenlerini araştırma, sualtı ve su üstündeki cihaz ve araçları izleme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamaları olanaklı kılmak için cihazların sualtında haberleşmeleri gerekmektedir. Dağıtık ve ölçeklenebilir kablosuz sensör ağlarının sualtına iki ya da üç boyutlu bir şekilde kurulması ile her bir sensörün yerel olarak çevresel olayları gözlemlenebilir hale gelmektedir. Bu durumlarda sensörler genellikle bir platform üzerine sabitlenerek sualtına yerleştirilmektedir. Fakat okyanus ortamı değişken ve hareketli bir ortamdır. Dolayısıyla hareketli ve dinamik bir gözlem sisteminin kullanımı daha uygun olacaktır. Hareketli sensörlerden oluşmuş

kendi kendine organize olabilen bir sualtı ağı, algılama, gözlemlenme, izleme, zamanlama, sualtı kontrolü ve hataya dayanıklılık gibi uygulamalar için daha iyi bir destek sağlamaktadır.

Sualtı sensör ağları yeni yeni ilgi gören tekniklerden biridir ve bu ağlar karasal sensör ağlardan belirgin şekilde ayrılmaktadır. Karasal sensör ağları araştırmacılar tarafından oldukça fazla ilgi görmüş bir konudur. Karasal sensör ağları için geliştirilmiş birçok ağ protokolü olmasına karşın, bu protokollerin, üzerlerinde hiçbir değişiklik yapmadan sualtı ağlarında kullanılması çok yüksek olasılıkla olumsuz sonuç verecektir. Bunun sebebi ise sualtı sensör ağlarını karasal sensör ağlardan ayıran kendine has özelliklerinin olmasıdır. Bu farklılıkları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Sualtında kullanılan sensörlerin maliyeti daha yüksektir.
- Sualtında sensörler uygulama alanına karasal sensörlere göre daha seyrek olarak yerleştirilirler.
- Sensörler arasındaki uzak mesafelerden ötürü sualtı ağlarında uzamsal ilgisizlik zayıftır.
- Hem sensörler arasındaki mesafelerin uzak olması hem de alıcılardaki karmaşık sinyal işleme sebebiyle sualtında daha fazla güç tüketimi gerekmektedir.
- RF sinyallerinin sualtında yetersiz yayılması sebebiyle, akustik iletişime ihtiyaç vardır.

Akustik iletişim, sualtı ağları için tipik bir fiziksel katman teknolojisidir. Aslında radyo dalgaları su altında çok düşük frekansta uzun mesafe kat edebilirler. Ancak bu işlem, yüksek iletim gücü ve çok büyük antenler gerektirir. Dolayısıyla sualtındaki bağlantılar akustik iletişime dayanmaktadır.[2,3]

Sualtı kablosuz sensör ağlarında uygulama geliştirirken karşılaşılabilecek zorluklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

\*Pil ömrü sınırlıdır ve piller genellikle yeniden doldurulamazlar. (Güncel teknik olarak hidroelektrik üreteçleri kullanılabilmektedir.)

\*Bant genişliği ciddi biçimde sınırlıdır.

\*Değişken ve uzun yayılım gecikmeleri, sinyal zayıflamaları gibi kanal özellikleri vardır.

\*Yüksek hata oranları vardır.

\*Paslanma ve tortu birikimi gibi sebeplerden hatalara açık olma durumu söz konusudur.

Bildirinin bundan sonraki kısımlarında, akustik iletişimin özellikleri daha ayrıntılı olarak anlatılacak, karasal kablosuz sensör ağları ile sualtı kablosuz sensör ağlarının farklılıkları daha geniş bir bakış açısı ile incelenecektir. Daha sonra iletişim, sinyal işleme ve hareketli ağ tasarımı konularında karşılaşılan zorluklardan bahsedilecektir.

## 2. Teknik Bilgi

### *Sualtı Akustik Kanalları*

Sualtı akustik kanalları çevresel özelliklerden ve iletim ortamının doğasından kaynaklanan zamansal ve uzamsal değişkenlikler gösterirler. Sualtı akustik kanalında sinyal yayılım hızı yaklaşık  $1,5 \times 10^3$  m/sn kadardır ve bu da radyo yayılım hızından ( $3 \times 10^8$  m/sn) yüz bin kat daha azdır. Sualtı akustik kanallarının bant genişliği sınırlıdır ve önemli ölçüde iletim menziline ve frekansa bağlıdır. İletim menzili arttıkça kanalın bant genişliği azalmaktadır. Emilim sebebiyle çoğu akustik sistem 30 kHz'nin altında işlem yapar.

Kendine has özelliklerinin yanı sıra, akustik kanallar birçok faktörden etkilenmektedir. Yüksek hata oranlarına ve gecikme değişimlerine sebep olan, gürültü, yol kaybı, çok yönlü yayılım ve Doppler etkisi bu faktörlerden bazılarıdır. Ayrıca akustik bağlar ses dalgasının yönüne göre dikey ve yatay olarak kabaca sınıflandırılırlar. Bu iki sınıfın yayılım karakterleri deniz/okyanus ortamının sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk gibi fiziksel ve

kimyasal özelliklerinden kaynaklanan farklılıklar göstermektedir.[1,2,3,4]

Akustik kanalın özellikleri, yüksek yayılım gecikmeleri, yüksek gecikme varyansı, kısıtlı bant genişliği ve yüksek hata oranı olarak kısaca belirtilebilir.

### *Sualtı Kablosuz Sensör Ağları'nın Karasal Sensör Ağları'ndan Ayrıldığı Noktalar*

Bu iki ağın farklarından söz ederken öncelikle iletişim yöntemine değinmek gerekir. Elektromanyetik dalgalar sualtı ortamında uzun mesafe kat edemedikleri için sualtı iletişiminde akustik dalgalar gibi farklı bir fiziksel araca ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, karasal bağlantıların aksine, sualtı kablosuz ağları yüksek gecikme ve düşük bant genişliği özelliklerine sahiptir. Özellikle düşük bant genişliği ve yüksek gecikme bir araya geldiğinde uçtan uca gecikmelerde büyük değerler gözlenir. Bu gecikmeler çoklu erişim protokollerinin başarımını da belirgin şekilde etkilemektedir.[2,4]

Sualtı sensör ağlarının karasal sensör ağlarından ayrıldığı bir diğer nokta ise hareketlilik konusudur. Karasal sensör ağlarda kullanılan sensörlerin çoğu genellikle durağandır. Oysa bir şamandıraya veya başka bir araca sabitlenmiş örnekleri haricinde bulunan sualtı ağlarındaki sensörler, gerek sualtı akıntıları gerekse diğer sualtı aktiviteleri ile düşük veya orta seviyede hareketlilik gösterirler. Bu nedenle, karasal sensör ağları için hareketliliği gözetmeden geliştirilmiş herhangi bir ağ protokolü, sualtı ağlarında başarısız olacaktır.

Karasal ve sualtı sensör ağları arasındaki bir diğer farklı nokta ise sistem gereksinimleridir. Sualtı sensör ağlarında sistemin yaşam süresi, uygulamanın türüne bağlı olarak, birkaç dakikadan birkaç yıla kadar değişkenlik gösterebilir. Örneğin donanma ile ilgili bir uygulamada veya sualtındaki yabancı bir olayı gözlemlerken sistemin kısa bir süre için çalışması yeterli

olabilir. Bunun aksine, uzun süreli sualtı gözlemlerinde yeni geliştirilen enerji üreteçleri yardımı ile sistem birkaç yıl yaşayabilmektedir. Bu tip heterojen sistem gereksinimleri sualtı kablosuz sensör ağlarının tasarımında zorluklar oluşturmaktadır.[2,3]

Karasal kablosuz sensör ağları için mevcut çalışmalar oldukça kapsamlı olmasına rağmen, sualtı kablosuz sensör ağlarının kendine has özelliklerinden dolayı protokol yığınının her düzeyinde yeni araştırmalar yapılması gerekmektedir.

### *Sualtı İzlemede Geleneksel Yöntemler ve Kısıtları*

Okyanus dibi gözlemleri için kullanılan geleneksel yöntemlerde, sensörler belirli bir alana gerektiği gibi yerleştirilir, görevleri bitene kadar veri toplarlar ve sonra topladıkları veriler başka bir cihazda biriktirilirdi. Ancak bu yaklaşımın aşağıdaki gibi dezavantajları vardır:

- Gerçek zamanlı gözlemin olanaklı olmaması çoğu uygulamanın kullanımını engellemektedir. Özellikle sismik gözlem gibi uygulamalarda gerçek zamanlı veri iletimi kritik bir öneme sahiptir. Ancak geleneksel yöntemler ile sensörler deniz dibinde veri toplamak üzere bırakılmakta, ancak uzun bir zaman sonra topladıkları verilere erişilebilmektedir. Bu uzun zaman bazen uygulama başlangıcından aylar sonra olabilmektedir.
- Kıyıdaki kontrol sistemleri ve gözlem yapan araçlar arasında anında bir iletişim mümkün değildir.
- Ağda yanlış bir yapılandırma veya herhangi bir hata oluştuğunda durumun fark edilmesi çok uzun zaman alabilmektedir. Bu durum yapılan gözlem işleminin tamamen

hatalı olmasına neden olabilmektedir.

- Gözlem süresince kaydedilebilecek verilerin boyutu, sensörlerin kısıtlı depolama kaynaklarının büyüklüklerine bağlıdır.

Tüm bu olumsuzluklar göz önünde bulundurulduğunda, kıyıdaki insanlar veya cihazlarla etkileşim içinde ve gerçek zamanlı olarak çalışabilecek ağlara ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaç, sualtı cihazlarını akustik iletişim temelli kablosuz bağlarla bağlamak yolu ile karşılanabilir. Aynen karasal sensör ağlarda olduğu gibi, sualtında çalışan sensörler de kendi kendilerine organize olabilmeli ve veri alışverişi ile ağ işlemlerini yönetebilmelidir. Ancak bu işlem sualtı akustik kanallarının özellikleri de düşünüldüğünde oldukça zorlu bir hale gelmektedir.[2,3,4,7]

### **3. Sualtı Kablosuz Sensör Ağlarının Tasarımında Karşılaşılan Zorluklar**

Bildirinin bu bölümünde protokol yığınının her bir katmanı değerlendirilerek, tasarım zorluklarından bahsedilecektir.

#### *Güvenlik, Dayanıklılık ve Sağlamlık*

Sensör ağları güvenlik tehditlerine karşı savunmasız ağlardır. Güvenlik konusu, tüm protokol yığınının etkileyen katmanlar arası bir konudur. Ölçeklenebilir bir ağ tasarımı, düğümlerin düşük maliyetli olmasını gerektirir. Düşük maliyetli düğümler de kısıtlı enerji kaynağı ve kısıtlı işleme, iletişim yeteneklerine sahip cihazlardır. Bu durum, çoğu mevcut güvenlik mekanizmasının kullanımını olanaksız kılar. Dolayısıyla bu konuda, maliyeti yüksek kriptolojik işlemler içermeyecek şekilde yeni araştırmalara gereksinim vardır. [2,3]

Sualtı kablosuz sensör ağlarında karşılaşılan bir diğer sorun, akıntılar, girdaplar ve gemiler gibi etkenlerden kaynaklanan iletim kesilmesidir. Öyle ki, belli bir zamanda,

kaynak ve hedef arasında hiçbir bağın kurulmadığı durumlar oluşabilir. Bu tip durumların belirlenmesi, yönlendirme veya trafiği gözleme yolu ile gerçekleştirilebilir.

#### *Güvenilir ve Gerçek Zamanlı Veri İletimi*

Güvenilir veri iletimi için tipik olarak iki yaklaşım bulunmaktadır: uçtan uca veya düğümden düğüme. Uçtan uca yaklaşımın bir örneği olarak en yaygın biçimde kullanılan iletim katmanı protokolü TCP'dir. Sualtı bağlantılarındaki yüksek hata oranı ve yüksek gecikme sürelerinden dolayı, TCP başarımının sualtında iyi olmayacağı düşünülmektedir. [2,8]

Güvenilir veri iletimi için bir başka teknik de, kablosuz ve hataya açık ağlara daha uygun olduğuna inanılan düğümden düğüme yaklaşımıdır. Düğümlerin paketleri bir adım uzaklıktaki komşularına düşük hızlarda gönderdiği ve komşuların kayıp paketleri algılayıp onları yeniden istemesi temeline dayanan protokoller geliştirilmiştir. [6]

Gerçek zamanlı veri transferinin kullanımı, kısa süreli zamanın kritik önem taşıdığı uygulamalarda hedeflenmektedir. Zaman kısıtlı servis sağlamak bugün İnternet için bile zorlu araştırma konularından biridir. Zaman kısıtları olan uygulamalarda TCP yerine veri akışını kısmayan ve veri iletimini olabildiğince hızlı gerçekleştiren UDP protokolü tercih edilmektedir. Fakat UDP kullanımı güvenilir veri iletimi için doğru bir seçim değildir. Karasal sensör ağlarda yedek yolların kullanımı güvenilirliği artırmak için kullanılan yöntemlerdendir. Sualtı kablosuz sensör ağlarında akustik kanalların hata olasılığının yüksekliği göz önüne alınarak güvenilirliği artırmak ve aynı zamanda tekrar veri gönderimlerini engelleyerek veri iletim zamanını azaltmak için etkin kodlama şemaları tasarlanmalıdır.

### *Trafik Sıkışıklık Kontrolü*

Sıkışıklık kontrolü çoğu türdeki ağ için önemli bir konu olagelmıştır. Sualtı kablosuz sensör ağlarındaki yüksek iletim gecikmeleri, sıkışıklık kontrolünü daha da zor bir hale getirmektedir. Çoğu mevcut sıkışıklık kontrol şemalarında, tüm veri kayıplarının sadece sıkışıklıktan kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bu varsayım rastgele kayıpların sürekli oluşabildiği sualtı sistemlerinde sorunlara yol açabilmektedir. Kayıpların başka sebeplerden de oluşabildiğini dikkate alan sıkışıklık kontrol şemalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.[2,6,8]

### *Çok Hop'lu Etkin Akustik İletişim*

Tıpkı karasal sensör ağlarında olduğu gibi, sualtı sensör ağlarının da en büyük kaygısı, enerji korunumu üzerinedir. Veri iletiminde karşılaşılan başka bir zorluk ise düğüm hareketliliğidir. Bu gereksinimler sebebiyle, enerji etkinliğini göz önüne alan iletim protokolleri sualtı kablosuz sensör ağları için uygun değildir. Hareketli ağlardaki topoloji değişimine ayak uydurabilecek veri iletim protokollerinin tasarımı gerekmektedir. İletim protokollerinde kullanılan "flooding" yöntemi ve komşuluk keşfi işlemleri sualtında kullanımı uygun olmayan mekanizmalardır. Bu mekanizmaların kullanımı olmadan ise hareketlilik içeren sualtı kablosuz sensör ağları için çok hoplu bir paket iletim servisi geliştirmek oldukça zorlu bir iştir.[2,5,7]

### *Dağıtık Konum Belirleme ve Saat Eşzamanlaması*

Sualtı uygulamalarında düğümlerin konum bilgilerine sahip olmaları ve diğer düğümlerle eşzamanlı çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Ancak GPS sistemlerinin kullandığı yüksek frekanslı radyo dalgaları su tarafından hızlıca emilir ve su yüzeyinin altında yayılım yapamaz. Dolayısıyla bu tip bir konum belirleme ve saat eşzamanlama sistemi sualtı için uygun değildir. Sualtı ağları için geliştirilecek konum belirleme ve

saat eşzamanlama işlemleri, GPS'den bağımsız dağıtık bir şema ile yapılmalıdır.

Düğüm hareketliliği söz konusu olduğunda menzil ve yön ölçümleri sorun oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra deniz suyunun sıcaklığı, basıncı, hareketleri de düğümün hızı üzerinde etkiye sahiptir. [1,2,3,8]

### *Etkin Çoklu Erişim*

Çok sayıda aracın aynı kablosuz ortamı etkin ve adil bir şekilde paylaşmasını sağlayan MAC katmanı protokolleri de akustik kanalların kısıtlı bant genişliği ve yüksek iletim gecikmelerinden olumsuz olarak etkilenmektedir. MAC protokolleri temel olarak ikiye ayrılmaktadır: 1.si düğümler arasındaki çarpışmaları engelleyen planlanmış protokoller, 2.si de düğümlerin paylaşımlı bir kanal için yarıştıkları rekabete dayalı protokollerdir. Planlanmış protokoller TDMA, FDMA, CDMA gibi, kullanıcıların zaman, frekans ve kod alanlarında ayrıldığı protokollerdir. Bu protokoller özellikle hücresel iletişimde oldukça geniş kullanım alanı bulan protokollerdir. Rekabete dayalı protokoller ise, rastgele erişim(ALOHA), taşıyıcı algı erişimi(CSMA) ve el sıkışma erişimi ile çarpışma önleme (MACA) protokolleridir. Bunlar da IEEE 802.11 gibi yaygın kullanılan standartlara temel oluştururlar.[2]

Sualtı iletişimde rekabete dayalı protokollerin kullanımının uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra FDMA düşük bant genişliği ve TDMA da yüksek yayılım gecikmelerinden dolayı sualtı iletişimi için uygun değildir. Bu durumda CDMA sualtı iletişimi için kullanılabilir bir protokol olarak öne çıkmaktadır. Eğer sabit noktalarda anten kullanımı olacaksa, SDMA protokolü de mantıklı bir seçim olabilir. CDMA'da olduğu gibi, kullanıcılar tüm frekans bandında eşzamanlı olarak veri iletimi yapabilirler. SDMA ve CDMA'nın birlikte kullanıldığı protokollerin geliştirimi,

daha etkin bir kanal paylaşımı sağlayabilir. [2,3]

### *Akustik Fiziksel Katman*

Karasal ağlarla kıyaslandığında akustik sualtı ağların hız ve başarımları açısından kısıtlı oldukları göze çarpmaktadır. Bu durum sualtı ağlarının düşük bant genişlikleri ve iletim gecikmeleri sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Ancak radyo sinyallerini kullanan kablosuz ağlardaki hızlı gelişim sualtı ağları için gözlemlenmemektedir. Fiziksel katman için, sualtında veri iletim hızını ve sağlamlığını belirgin şekilde artıracak, yeni teknolojilere ihtiyaç vardır.[3]

### **3. Sonuçlar**

Bu bildiri de sualtı kablosuz sensör ağlarının genel özellikleri anlatılmış, tasarım zorluklarına protokol yığınının her katmanında ayrı biçimde değinilmiştir. Sualtı kablosuz sensör ağları ve karasal kablosuz sensör ağlarının birbirlerine göre farkları ayrıntılı olarak belirtilmiş, sualtı kablosuz sensör ağlarının kendine has olan kısıtlı bant genişliği, yüksek iletim gecikmeleri, hataya açıklık gibi özellikleri ile karasal sensör ağlarda kullanılanlardan daha farklı protokollere ihtiyaç duyduğu anlatılmıştır.

Ayrıca, sualtı kablosuz sensör ağları konusunda araştırma yapmak isteyen kişileri bilgilendirme niteliği taşıyan bu bildiri de araştırmacıların bu konuda karşılaşabileceği açık ve yeni noktalar üzerinde durulmuştur.

### **4. Kaynaklar**

[1] Partan, J., Kurose, J., and Levine, B. N. 2007. A survey of practical issues in underwater networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 11, 4 (Oct. 2007), 23-33.

[2] J.-H. Cui, J. Kong, M. Gerla, and S. Zhou. Challenges: Building Scalable and

Distributed Underwater Wireless Sensor Networks (UWSNs) for Aquatic Applications. UCONN CSE Technical Report: UbiNet-TR05-02 (BECAT/CSE-TR-05-5), January 2005.

[3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia. Underwater acoustic sensor networks: Research challenges. *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, 3(3):257–279, March 2005.

[4] Jun-Hong Cui; Jiejun Kong; Gerla, M.; Shengli Zhou, "The challenges of building mobile underwater wireless networks for aquatic applications," *Network, IEEE*, vol.20, no.3, pp. 12-18, May-June 2006

[5] P. Xie, J.-H. Cui, and L. Li. VBF: Vector-Based Forwarding Protocol for Underwater Sensor Networks. In *Proc. of IFIP Networking, Coimbra, Portugal, 2006*.

[6] Z. Guo, B. Wang, and J.-H. Cui. Efficient Error Recovery with Network Coding in Underwater Sensor Networks. In *Proc. IFIP Networking, Atlanta, GA, USA, 2007*.

[7] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J. Wills, and W. Ye. Research challenges and applications for underwater sensor networking. In *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2006*.

[8] Vasilescu, I., Kotay, K., Rus, D., Dunbabin, M., and Corke, P. 2005. Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network. In *Proceedings of the 3rd international Conference on Embedded Networked Sensor Systems* (San Diego, California, USA, November 02 - 04, 2005).