

# Sualtı Akustik Algılayıcı Ağlarda Veri Parçalamasının Ağ Yaşam Süresine Olan Etkisi

## The Impact of Data Fragmentation on Network Lifetime in Underwater Acoustic Sensor Networks

Hüseyin Uğur Yıldız  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
TED Üniversitesi  
Ankara, Türkiye  
hugur.yildiz@tedu.edu.tr

**Özetçe** —Sualtı akustik algılayıcı ağların (SAAA) yaşam süresinin uzatılması, veri paket boyutu ve iletim gücünün en iyi şekilde ayarlanması ise mümkündür. Büyük boyutlu veri paketleri sualtında sıkça meydana gelen paket hatalarına karşı oldukça hassas iken verinin parçalanarak iletilmesi paket hatalarını düşürmektedir. Ancak bu yöntemle daha fazla veri paketi ağda gönderilmektedir. Diğer taraftan veri iletişimi için harcanan güç miktarının artırılması paket hatalarını azaltmaya yarayan başka bir yöntem olup SAAA düğümlerinin oldukça yüksek miktarda iletim gücü tüketmesi (Watt mertebesinde) de enerji verimliliğini düşürmektedir. Bu çalışmada SAAA'ların yaşam süresini uzatan ve veri paket boyutu ile iletim gücünü beraber eniyileyen bir tamsayılı doğrusal programlama (TDP) yöntemi önerilmiştir. Bu çalışma sonunda veri parçalamasının ağ yaşam süresine olan etkileri nicel olarak gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler**—sualtı akustik algılayıcı ağlar, ağ yaşam süresi, iletim güç kontrolü, veri paket boyutu eniyilemesi, tamsayılı doğrusal programlama

**Abstract**—Elongation of underwater acoustic sensor networks (UASNs) lifetime is possible by optimizing the size of the data packet as well as transmission power. While large data packets are sensitive to packet errors frequently occurring in underwater environment, data fragmentation reduces packet errors. However, with this method more data packets are injected to the network. On the other hand, increasing the transmission power is another way to reduce packet errors. However, since UASN nodes consume excessive amount of energy for transmission (in order of Watts), this solution also reduces energy efficiency. In this work, an integer linear programming (ILP) method is proposed that maximizes the network lifetime by jointly optimizing the data packet size and transmission power. The effects of data fragmentation on network lifetime are quantitatively observed in this study.

**Keywords**—underwater acoustic sensor networks, network lifetime, transmission power control, optimum packet size, integer linear programming.

### I. GİRİŞ

Sualtı akustik algılayıcı ağlar (SAAA) okyanuslarda veri toplama, kirlilik denetimi, uzun süreli sualtı aramaları, taktiksel gözetim vs. uygulamalarda kullanılmaktadır [1]. Kısıtlı

bataryaya sahip sualtı algılayıcı düğümleri çevrelerinden elde ettikleri verileri çoklu atlamalı iletişim teknikleri ile merkezi bir baz istasyonuna aktarmaktadır [2]. Algılayıcı düğümlerin yetersiz pil enerjilerinden dolayı ağda harcanan enerjinin düşürülmesi ve ağın yaşam süresinin artırılması önemli bir araştırma problemidir.

Sualtı haberleşme kanalının zorlukları arasında yüksek yol kaybı, sık paket kayıpları, uzun yayılım gecikmeleri gibi sorunlar yer almaktadır [1]. Bu zorluklar altında bir SAAA'nın yaşam süresinin uzatılması için başvurulabilecek iki yöntem veri paketinin parçalanması (İng. fragmentation) ve iletim güç kontrolüdür. Sualtı kanal koşulları iyi olduğu takdirde büyük boyutlu veri paketlerinin kullanılması kabul edilebilir bir seçenektir. Ancak, sualtı kanal koşulları kötüleştiği zaman büyük veri paketinin parçalanarak küçük boyutlu veri paketler halinde iletilmesi paket hatalarını azaltmaktadır. Bu durumun dezavantajı, daha fazla miktarda veri paketinin ağın içinde dolmasıdır. Ağ yaşam süresinin artırmak için kullanılan diğer bir yöntem ise iletim güç kontrolüdür [3]. Büyük veri paketleri haberleşme için nispeten daha az enerjiye ihtiyaç duyarken, küçük boyutlu parçalanmış veri paketleri daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Her ne kadar bireysel paket hatalarını önlemek kritik olsa da veri alışverişi tokalaşma (İng. handshake) tabanlı bir haberleşme protokolü ile gerçekleştirilebilir. Bu durumda tokalaşmanın başarısız olma olasılığı düşürmek, bireysel paket hatalarından daha önemli bir hale gelmektedir. İletim gücünün artırılması tokalaşmanın başarısız olma olasılığı düşürse de sualtı düğümler yüksek miktarda enerji tükettiği için (Watt mertebesinde) iletim gücünün SAAA'nın ihtiyaçlarına göre link bazında ayarlanması ağ yaşam süresini uzatmak için önemli bir yöntemdir [4].

Bu çalışmada SAAA'ların yaşam süresini uzatmak adına veri paket boyutu ile iletim gücünü ortak bir şekilde eniyileyen (İng. optimize) bir tamsayılı doğrusal programlama (TDP) yöntemi geliştirilmiştir. Tasarlanan bu TDP modeli sualtı fiziksel koşullarını gözetken, Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) tarafından geliştirilen Micromodem [5] düğümlerinin güç tüketim değerlerini kullanan tokalaşma tabanlı bir enerji tüketim modeli üzerine kurulmuştur. Bu çalışma sonunda veri paketi parçalamasının ve iletim güç kontrolünün ağ yaşam süresine olan etkileri nümerik olarak incelenmiştir.

## II. SİSTEM MODELİ

### A. Fiziksel Katman Modeli

Bu çalışmada Urick sualtı akustik kanal modeli [6] kullanılmıştır.  $(i, j)$  akustik linkinde meydana gelen yol kaybı  $(A_{ij}(f))$  dB cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A_{ij}(f)[\text{dB}] = A_0 + 10\kappa \log_{10}(1000 \times d_{ij}) + d_{ij}a(f)[\text{dB/km}]. \quad (1)$$

Bu denklemde  $A_0 = 30$  dB sabit yol kayıp anomalisini [7],  $f = 25$  kHz WHOI Micromodem'in merkezi çalışma frekansını [5],  $\kappa = 2$  küresel yayılım (İng. spherical spreading) için yayılım faktörünü,  $d_{ij}$  km cinsinden  $(i, j)$  akustik link uzunluğunu ve  $a(f)$  emilim katsayısını dB/km cinsinden göstermektedir.  $a(f)$  Thorp'un ampirik formülüne göre aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanmıştır.

$$a(f)[\text{dB/km}] = \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + 2.75 \cdot 10^{-4}f^2 + 0.003. \quad (2)$$

Çevresel gürültü; türbülans gürültüsü ( $N_t(f)$ ), nakliye aktivitesinden kaynaklı gürültü ( $N_s(f)$ ), rüzgar tarafından sürülen dalgalardan kaynaklanan gürültü ( $N_w(f)$ ) ve termal gürültü bileşenlerinden ( $N_{th}(f)$ ) oluşmakta olup bu değerler dB re  $1\mu\text{Pa}$  per Hz cinsinden aşağıdaki denklemde tanımlanmıştır [6].

$$\begin{aligned} 10 \log_{10} N_t(f) &= 17 - 30 \log_{10} f, \\ 10 \log_{10} N_s(f) &= 40 + 20(s - 0.5) + 26 \log_{10} f \\ &\quad - 60 \log_{10}(f + 0.03), \\ 10 \log_{10} N_w(f) &= 50 + 7.5\sqrt{w} + 20 \log_{10} f \\ &\quad - 40 \log_{10}(f + 0.4), \\ 10 \log_{10} N_{th}(f) &= -15 + 20 \log_{10} f. \end{aligned} \quad (3)$$

Toplam gürültü güç yoğunluğu doğrusal olarak  $N(f) = N_t(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f)$  ifade edilmekte olup  $s = 0.5$  orta ölçekli nakliye aktivitesini ve  $w = 5$  m/s rüzgar hızını göstermektedir.

Pasif sonar denklemine göre  $i$  düğümünden  $l$  gücü ile gönderilen ve  $j$  düğümünde alınması hedeflenen bir veri paketi için  $j$  düğümündeki sinyal-gürültü-oranı (İng. Signal-to-Noise Ratio – SNR) aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır [8].

$$\text{SNR}_{ij}(l, f)[\text{dB}] = P_{tx}^{ac}(l) - N(f)[\text{dB}] - A_{ij}(f)[\text{dB}]. \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde  $P_{tx}^{ac}(l)$   $l$  güç seviyesi ile iletim yapıldığında elde edilen ses kaynak güç seviyesini (dB re  $1\mu\text{Pa}$  cinsinden) ve  $P_{tx}^{el}(l)$  ise Watt cinsinden elektriksel gücü göstermekte olup bu iki değer aşağıdaki denklem ile birbirlerine dönüştürülmektedir.

$$10 \log_{10} P_{tx}^{el}(l) = 10 \log_{10} P_{tx}^{ac}(l) - 170.8 - 10 \log_{10} \xi. \quad (5)$$

Bu dönüşüm denkleminde 170.8 dB ifadesi dB re  $1\mu\text{Pa}$ 'dan Watt'a dönüşüm için kullanılan bir sabit olup  $\xi = 0.8$  güç çeviricinin (İng. transducer) verimliliğini göstermektedir. WHOI Micromodem için  $P_{tx}^{el}(l)$  değeri 8–48 W arasında değişmekte olup bu çalışmada  $\mathcal{L} = \{8, 18, 28, 38, 48\}$  kümesi WHOI Micromodem'in elektriksel güç değerlerini içeren küme olarak tanımlanmıştır [5].

Akustik sinyalin sönümlenmesi Rayleigh sönümleme rastgele süreci olarak modellenmiş olup ikili faz kaydırmalı anaharlama (İng. Binary Phase Shift Keying) için ortalama bit hata

olasılığı  $\rho_{ij}^b(l, f)$  aşağıdaki denklemde hesaplanmaktadır [7].

$$\rho_{ij}^b(l, f) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\text{SNR}_{ij}(l, f)}{1 + \text{SNR}_{ij}(l, f)}} \quad (6)$$

$M$  bit uzunluklu bir paketin  $i$  düğümünden gönderilip başarılı şekilde  $j$  düğümünde alınma olasılığı  $\rho_{ij}^s(l, f, M) = 1 - (1 - \rho_{ij}^b(l, f))^M$  iken paket hata oranı  $\rho_{ij}^f(l, f, M) = 1 - \rho_{ij}^s(l, f, M)$  şeklinde hesaplanmaktadır.

### B. Veri Link Katmanı Enerji Tüketim Modeli

Link seviye katmanında zaman bölmeli (tur bazlı) bir haberleşme yöntemi varsayılmış olup her turda her algılayıcı düğüm  $L_D = 1024$  bayt veri üretmektedir. Üretilen bu veri ya parçalanmadan ya da parçalanarak baz istasyonuna taşınmaktadır. Veri parçalamasını modellemek adına veri yük (İng. payload) boyutu  $L_{PL}$  olarak ifade edilmiş olup bu çalışma kapsamında 1024, 512, 256, 128 ve 64 bayt olacak şekilde toplamda beş farklı veri yük boyutu göz önünde bulundurulmuştur.  $s_i = L_D/L_{PL}$  değişkeni her turda üretilen veri paket sayısını temsil etmektedir. Her bir veri paketine  $L_H = 20$  bayt başlık (İng. header) bilgisi eklenmektedir. Böylece toplam veri paketi boyutu  $L_P = L_{PL} + L_H$  bayt olarak gösterilmektedir. Teyit (İng. Acknowledgement) paketlerinin uzunluğu ise  $L_A = 20$  bayttır.

$(i, j)$  linkinin aktif tur süresi  $t_{ij}^s = t(L_P) + t(L_A) + t_{ij}^p + t_g$  olarak hesaplanmaktadır. Bu denklemde  $t(L_P) = L_P/R$  ve  $t(L_A) = L_A/R$  veri ve teyit paketlerinin iletim sürelerini göstermektedir. Bu hesaplamalarda kullanılan  $R = 5$  kbps WHOI Micromodem'in veri hızını göstermektedir [5].  $t_{ij}^p = 2 \times d_{ij}/c$  ise iki yönlü yayılım gecikmesini temsil etmekte olup  $c = 1500$  m/s sesin sudaki nominal hızını ifade etmektedir [6]. Son olarak,  $t_g = 2 \times \max_{(i,j)}(t_{ij}^p)$  ağdaki çakışmaların (İng. collision) önlenmesi için gereken koruma süresini göstermektedir [9].

$i$  düğümü  $l$  güç seviyesinde  $j$  düğümüne veri iletimi yapıyor ve bu veriyi başarılı bir şekilde aldıktan sonra  $j$  düğümü  $k$  güç seviyesinde  $i$  düğümüne bir teyit paketi iletiyorsa tokalaşmanın başarılı olma olasılığı aşağıdaki denklemde hesaplanmaktadır.

$$\rho_{HS,ij}^s(l, k) = \rho_{ij}^s(l, L_P) \times \rho_{ji}^s(k, L_A). \quad (7)$$

Dur-bekle otomatik tekrar isteği (İng. Stop-and-Wait Automatic Repeat Request) yöntemine göre her bir veri paketinin ortalama kaç kez yeniden iletilmesi (İng. retransmission) gerektiği aşağıda hesaplanmaktadır.

$$\lambda_{ij}^{lk} = \frac{1}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (8)$$

1) *Göndermeçte Tüketilen Enerji Miktarı:* Başarılı bir tokalaşmada göndermeç  $P_{tx}^{el}(l) \times t(L_P)$  J veri iletimi için ve  $P_{rx} \times t(L_A)$  J teyit paketi alımı için enerji harcamaktadır. Bu denklemlerde  $P_{rx} = 3$  W WHOI Micromodem'in alma gücünü ifade etmektedir [5]. Aktif tur süresinin kalan kısmında  $(\{t_{ij}^s - t(L_P) - t(L_A)\})$  göndermeç boşa bekleme (İng. idle) moduna geçmektedir. Bu sürede harcanan enerji miktarı  $P_{std} \times \{t_{ij}^s - t(L_P) - t(L_A)\}$  J'dür. Burada  $P_{std} = 80$  mW WHOI Micromodem'in boşa bekleme güç tüketimini

sembolize etmektedir. Yeniden iletimler dâhil edildiği zaman harcanan toplam enerji aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$E_{tx,ij}^s(l, k) = [P_{std}\{t_{ij}^s - t(L_P) - t(L_A)\} + P_{tx}^{el}(l)t(L_P) + P_{rx}t(L_A)] \times \frac{\rho_{ij}^s(l, L_P)\rho_{ji}^s(k, L_A)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (9)$$

Diğer taraftan, tokalaşma teyit paket kaybından meydana geldiyse bu durumda göndermeç düğüm veri paketi alımı için yine  $P_{tx}^{el}(l) \times t(L_P)$  J kadar enerji harcar. Ancak teyit paketi almak için göndermeç enerji harcamaz. Bunun yerine, aktif tur süresinin kalan zamanında ( $\{t_{ij}^s - t(L_P)\}$ ) göndermeç boşa bekleme moduna geçer. Yeniden iletimler gözetildiğinde her bir veri paketi ortalama  $\frac{\rho_{ij}^s(l, L_P)\rho_{ji}^f(k, L_A)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}$  kez daha gönderilir. Bu durum için harcanan enerji miktarı aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$E_{tx,ij}^{f,1}(l, k) = [P_{std}\{t_{ij}^s - t(L_P)\} + P_{tx}^{el}(l)t(L_P)] \times \frac{\rho_{ij}^f(l, L_P)\rho_{ji}^f(k, L_A)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (10)$$

Eğer tokalaşma veri paket kaybından dolayı başarısız olmuşsa bu durumda harcanan enerji miktarı şu şekilde belirtilmiştir.

$$E_{tx,ij}^{f,2}(l, k) = [P_{std}\{t_{ij}^s - t(L_P)\} + P_{tx}^{el}(l)t(L_P)] \times \frac{\rho_{ij}^f(l, L_P) \overbrace{[\rho_{ji}^s(k, L_A) + \rho_{ji}^f(k, L_A)]}^{=1}}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (11)$$

Sonuç olarak göndermeç düğüm iletim için  $E_{tx,ij}^{tx}(l, k) = E_{tx,ij}^s(l, k) + E_{tx,ij}^{f,1}(l, k) + E_{tx,ij}^{f,2}(l, k)$  J enerji harcamaktadır.

2) *Almaçta Tüketilen Enerji Miktarı:* Başarılı bir tokalaşma sırasında almaç düğümün veri paketi almak, teyit paketi göndermek ve boşa dinleme yapmak için harcadığı enerjiler sırasıyla,  $P_{rx} \times t(L_P)$  J,  $P_{tx}^{el}(k) \times t(L_A)$  J ve  $P_{std} \times \{t_{ji}^s - t(L_P) - t(L_A)\}$  J olarak hesaplanmaktadır. Yeniden iletimlerin dâhil edilmesi ile harcanan toplam enerji miktarı aşağıdaki gibidir.

$$E_{rx,ji}^s(l, k) = [P_{std}\{t_{ji}^s - t(L_P) - t(L_A)\} + P_{tx}^{el}(k)t(L_A) + P_{rx}t(L_P)] \times \frac{\rho_{ij}^s(l, L_P)\rho_{ji}^s(k, L_A)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (12)$$

Teyit paket kaybından meydana gelen tokalaşma hatasında  $P_{rx} \times t(L_P)$  J enerji veri paketi almak için tüketilirken teyit paketinin  $k$  güç seviyesi ile iletilmesi sırasında  $P_{tx}^{el}(k) \times t(L_A)$  J enerji harcanmaktadır.  $P_{std} \times \{t_{ij}^s - t(L_P) - t(L_A)\}$  J enerji ise almaç düğümde boşa dinleme için gereken enerji miktarıdır. Yeniden iletimler dâhil edildiği zaman almaçta harcanan enerji miktarı aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır.

$$E_{rx,ji}^{f,1}(l, k) = [P_{std}\{t_{ji}^s - t(L_P) - t(L_A)\} + P_{tx}^{el}(k)t(L_A) + P_{rx}t(L_P)] \times \frac{\rho_{ij}^s(l, L_P)\rho_{ji}^f(k, L_A)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (13)$$

Maksimum  $N_R$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in V} f_{ij} - \sum_{j \in W} f_{ji} = N_R \times s_i, \forall i \in W \quad (15)$$

$$\sum_{(j,1) \in E} f_{j1} = N_R \sum_{j \in W} s_j \quad (16)$$

$$\sum_{j \in V} E_{ij}^{tx}(l, k)f_{ij} + \sum_{j \in W} E_{ji}^{rx}(l, k)f_{ji} \leq \varrho, \forall i \in W \quad (17)$$

$$8 \times (L_P + L_A) \times \left( \sum_{j \in V} f_{ij} \lambda_{ij}^{lk} + \sum_{j \in W} \lambda_{ji}^{lk} f_{ji} \right) = \chi_i, \quad \forall i \in V \quad (18)$$

$$\chi_i \leq N_R \times T_R \times R, \forall i \in V \quad (19)$$

$$f_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in E \quad (20)$$

Şekil 1: Ağ yaşam süresini enbüyükleyen TDP modeli

Eğer veri paketinde hata meydana gelirse almaç düğüm aktif tur süresi boyunca boşa bekleme modundadır. Bu durumda harcanan enerji şu şekildedir.

$$E_{rx,ji}^{f,2}(l, k) = P_{std} \times t_{ji}^s \times \frac{\rho_{ij}^f(l, L_P)}{\rho_{HS,ij}^s(l, k)}. \quad (14)$$

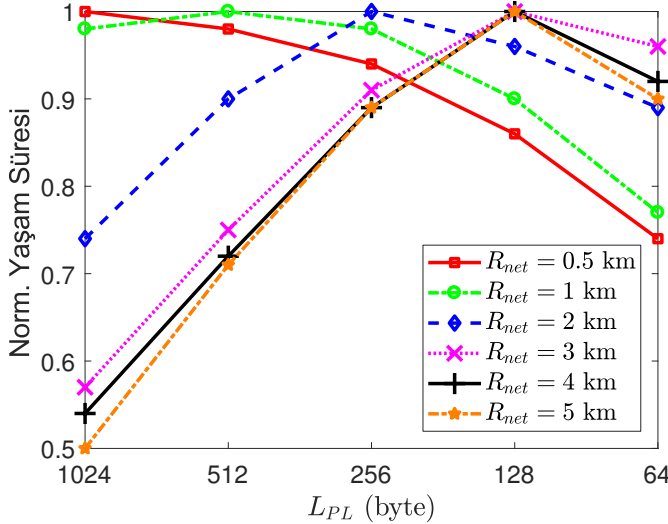
Sonuç olarak almaç düğüm  $E_{rx,ji}^{rx}(l, k) = E_{rx,ji}^s(l, k) + E_{rx,ji}^{f,1}(l, k) + E_{rx,ji}^{f,2}(l, k)$  J enerji tüketmektedir.

### C. Ağ Yaşam Süresini Eniyileyen TDP Modeli

SAAA'ların yaşam süresini uzatan ve veri paket boyutu ile iletim gücünü beraber eniyileyen TDP modeli Şekil 1'de sunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan SAAA yönlü bir grafik olan  $G = (V, E)$  şeklinde tanımlanmış olup  $V$  kümesi ağdaki tüm düğümleri (merkezi baz istasyonu dâhil);  $E$  kümesi ise linkleri temsil etmektedir. Bununla birlikte  $W$  kümesi ağdaki sualtı algılayıcı düğümleri göstermektedir. Algılayıcı düğümlerin kendilerine veri göndermediği ve baz istasyonun veri üretmediği varsayılmıştır. TDP modelinin tamsayılar karar değişkenleri  $f_{ij}$  olup  $i$  düğümünden  $j$  düğüme iletilen veri paket sayısı olarak modellenmiştir. Ağ yaşam süresi tur cinsinden  $N_R$  şeklinde tanımlanmış olup her tur  $T_R = 150$  s olarak varsayılmıştır. Ağ yaşam süresi ağdaki ilk düğümün tüm enerjisi tüketene kadar geçen zaman olarak tanımlanmıştır [10]. TDP modelinin kısıtları (15)–(20) arasında tanımlanmıştır.

Kısıt (15) her  $i$  algılayıcı düğümü için ( $\forall i \in W$ ) akış dengeleme kısıdı olup  $i$  düğüme gelen trafik ( $\sum_{j \in W} f_{ji}$ ) ile bu düğümün ağ yaşam süresince ürettiği trafiğin ( $N_R \times s_i$ ) toplamının bu düğümünden çıkan trafiğe ( $\sum_{j \in V} f_{ij}$ ) eşit olduğunu söylemektedir. Kısıt (16) ağda akan tüm trafiğin baz istasyonunda (düğüm-1) toplanacağını gösteren kısıttır.

(17) numaralı kısıt, her algılayıcı düğümün iletim için harcayacağı enerjinin ( $\sum_{j \in V} E_{ij}^{tx}(l, k)f_{ij}$ ) ve alma için harcayacağı enerjinin ( $\sum_{j \in W} E_{ji}^{rx}(l, k)f_{ji}$ ) o düğümün batarya enerjisinden ( $\varrho = 100$  KJ) daha düşük olması gerektiğini



Şekil 2: Normalize edilmiş ağ yaşam süresi

vurgulayan kısıttır. Bu kısıtta baz istasyonunun enerji kısıdına sahip olmadığı görülebilir.

Kısıt (18) ile tüm düğümlerde (baz istasyonu dâhil olmak üzere) yeniden iletimler gözetilerek oluşan trafik miktarı ( $\chi_i$ ) bit cinsinden hesaplanmıştır. Bu kısıtta 8 bayt cinsinden verilen paketlerin bit cinsinden ifade edilmesi için kullanılmıştır. Kısıt (19) ile her düğümde oluşan trafik miktarının düğüm platformunun veri iletim hızından ( $R$  – bps) daha düşük olması gerektiği vurgulanmıştır. Son olarak Kısıt (20) karar değişkenlerinin sınırlarını göstermektedir.

İletim güç kontrolü aşağıdaki yöntemle gerçekleştirilmiştir [4].

$$\{l_{ij}^{opt}, k_{ji}^{opt}\} = \underset{l \in \mathcal{L}, k \in \mathcal{C}}{\operatorname{argmin}} \left( E_{ij}^{tx}(l, k) + E_{ji}^{rx}(l, k) \right). \quad (21)$$

Bu yöntemde her linkte iletim ve alma enerjilerinin toplamını ( $E_{ij}^{tx}(l, k) + E_{ji}^{rx}(l, k)$ ) enküçükleyen veri ve teyit paketleri güç seviye çiftlerinin ( $l_{ij}^{opt}$  ve  $k_{ji}^{opt}$ ) belirlenmesi hedeflenmiştir.

### III. ANALİZ

Bu bölümde veri paket boyutu ve iletim güç kontrolünün SAAA yaşam süresine olan etkilerinin sonuçları sunulmuştur. Bu kapsamda fiziksel katman (Bölüm II-A) ile veri link katmanı (Bölüm II-B) MATLAB ortamında; TDP modeli (Bölüm II-C) GAMS ile kurulmuştur.

Bu çalışmada üç boyutlu statik bir ağ topolojisi ele alınmış [1] olup 49 tane sualtı algılayıcı düğümü 100 metre derinlikli bir denizin dibinde varsayılan  $R_{net} = 0.5, 1, 2, 3, 4$  ve 5 km yarıçaplı disk şeklindeki bir alana düzgün dağılım ile rastgele bırakılarak sabitlenmiştir. Merkezi baz istasyonu ise deniz yüzeyinde yer alan çapa atmış bir geminin tabanında yer almaktadır.

Şekil 2’de altı farklı  $R_{net}$  değeri için veri yük boyutuna ( $L_{PL}$ ) bağlı olarak normalize ağ yaşam süreleri sunulmuştur. Bu grafikte normalize ağ yaşam süreleri, sabit bir  $R_{net}$  değeri için, her bir  $L_{PL}$  için elde edilen ağ yaşam süresinin bu ağ

konfigürasyonunda ile elde edilebilecek en yüksek ağ yaşam süresine bölünmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca bu grafikte sunulan her bir veri noktası 100 rastgele topoloji ile elde edilen sonuçların ortalaması şeklinde sunulmuştur. Buna göre ağ yaşam sürelerini en çok uzatan veri yükü paket boyutları  $R_{net} = 0.5, 1, 2, 3, 4$  ve 5 km için sırasıyla 1024, 512, 256 ve 128 bayt olarak gözlenmiştir.  $L_{PL} = 64$  bayt uzunluklu veri yükü paket boyutunun tercih edilmemesinin sebebi  $L_D = 1024$  bayt uzunluğunda verinin parçalanarak  $L_P = L_{PL} + L_H = 64 + 20 = 84$  bayt uzunluğunda 16 tane veri paketinin ağa dâhil edilmesi olup toplamda 1344 baytlık veri üretildiği için haberleşme enerji tüketiminin artmasından kaynaklanmaktadır. Son olarak veri yükü paket boyutu en iyi şekilde ayarlanmadığı takdirde ağ yaşam süresi en iyi duruma göre %50 daha düşük çıkabilmektedir.

### IV. SONUÇ

Bu çalışmada SAAA’larda veri paket parçalamasının ve iletim güç kontrolünün ağ yaşam süresine olan etkileri TDP tabanlı bir model yardımıyla incelenmiştir. Kurulan TDP modeli sualtında meydana gelen fiziksel değişimleri modelleyen, WHOI Micromodem düğümlerinin güç tüketim prensiplerini kullanan bir veri link katmanı üzerine kurulmuştur. Bu çalışma sonunda veri paket boyutunun uygun şekilde seçilmemesiyle ağ yaşam süresinde %50’ye varan kayıplar olabileceği gözlenmiş olup sualtı kanalın koşullarına göre veri paket boyutunun düşürülüp veya yükseltilmesiyle ağ yaşam süresinin uzatılabileceği gözlenmiştir.

### KAYNAKLAR

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, “Underwater acoustic sensor networks: research challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 257–279, 2005.
- [2] S. Basagni, C. Petrioli, R. Petrocchia, and M. Stojanovic, “Optimized packet size selection in underwater wireless sensor network communications,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 37, no. 3, pp. 321–337, 2012.
- [3] D. Pompili, T. Melodia, and I. F. Akyildiz, “A CDMA-based medium access control for underwater acoustic sensor networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 4, pp. 1899–1909, 2009.
- [4] H. U. Yildiz, B. Tavli, and H. Yanikomeroglu, “Transmission power control for link-level handshaking in wireless sensor networks,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 561–576, 2016.
- [5] L. Freitag, M. Grund, S. Singh, J. Partan, P. Koski, and K. Ball, “The WHOI micro-modem: an acoustic communications and navigation system for multiple platforms,” in *Proc. MTS/IEEE OCEANS*, vol. 2, 2005, pp. 1086–1092.
- [6] M. Stojanovic, “On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel,” in *Proc. ACM Int. Workshop on Underwater Networks (WUWNet)*, 2006, pp. 41–47.
- [7] J. U. Khan and H. S. Cho, “A data gathering protocol using AUV in underwater sensor networks,” in *Proc. OCEANS - TAIPEI*, 2014, pp. 1–6.
- [8] J. M. Jornet, M. Stojanovic, and M. Zorzi, “On joint frequency and power allocation in a cross-layer protocol for underwater acoustic networks,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 35, no. 4, pp. 936–947, 2010.
- [9] V. Rodoplu and M. K. Park, “An energy-efficient MAC protocol for underwater wireless acoustic networks,” in *Proc. MTS/IEEE OCEANS*, vol. 2, 2005, pp. 1198–1203.
- [10] G. Tuna and V. C. Gungor, “A survey on deployment techniques, localization algorithms, and research challenges for underwater acoustic sensor networks,” *International Journal of Communication Systems*, pp. e3350–n/a, 2017.