

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUALTI DUYARGA AĞLARINDA
DUYARGA KONUŞLANDIRMASININ ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ömer Soner SOYDİNÇ**

Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : TELEKOMÜNİKASYON MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

**SUALTI DUYARGA AĞLARINDA DUYARGA
KONUŞLANDIRMASININ EKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ömer Soner SOYDİNÇ
504051335**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Tayfun AKGÜL
Diğer Jüri Üyeleri Yard. Doç. Dr. Ender Mete EKŞİOĞLU
Yard. Doç Dr. Feza BUZLUCA**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı, yardımları için danışmanım Prof. Dr. Tayfun Akgül'e teşekkürlerimi ve verdikleri fikirler ve moraller sayesinde tezimi hazırlamama destek olan başta Atahan Kara ve Onur A. İlhan olmak üzere tüm arkadaşlarıma minnettarlığımı sunarım. Teşekkürler hepinize...

Mayıs 2008

Ömer Soner SOYDİNÇ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. SUALTI DUYARGA AĞLARI	3
2.1 Duyarga Ağları.....	3
2.2 Duyarga Ağ Mimarisi.....	3
2.3 Duyarga Ağ Tasarımına Etki Eden Faktörler	5
2.4 Duyarga Ağları Protokol Yığını.....	7
2.4.1 OSI Modeli.....	7
2.4.2 Duyarga Ağlarında Fiziksel Katman	8
2.4.3 Duyarga Ağlarında Veri Bağlantı Katmanı	9
2.4.4 Duyarga Ağlarında Şebeke Katmanı	10
2.4.5 Duyarga Ağlarındaki Yönlendirme Konularında Dikkate Alınması Gereken Hususlar	11
2.5 Sualtı Duyarga Ağları.....	12
2.5.1 Sualtı Duyarga Ağlarında Karşılaşılan Zorluklar.....	13
2.5.2 Sualtı Duyarga Ağlarında Akustik Haberleşme	13
2.5.2.1 Yol kaybı.....	13
2.5.2.2 Gürültü	14
2.5.2.3 Çoklu Yol (“multi-path”)	14
2.5.2.4 Gecikme (“delay”).....	14
2.5.2.5 Doppler Kayması.....	15
2.5.2.6 Konum Bilgisinin Elde Edilmesi ve Zaman Senkronizasyonu	15
2.5.3. Sualtı Duyarga Ağlarında Protokol Yığını	15
2.5.3.1. Sualtı Duyarga Ağlarında Fiziksel Katman	16
2.5.3.2. Sualtı Duyarga Ağlarında Veri Bağlantı Katmanı.....	17
2.5.3.3. Sualtı Duyarga Ağlarında Şebeke Katmanı	18
2.5.3.4. Sualtı Duyarga Ağlarında Çoklu Erişim Teknikleri	19
3. KONUŞLANDIRMANIN SUALTI DUYARGA AĞ PERFORMANSINA ETKİSİ	20
3.1 Yöntem ve Yaklaşımlar	22
3.2 Dijkstra Yönlendirme Algoritması.....	30
3.3 Algoritma Akışı.....	35

4. IZGARA YAPISI.....	38
5. DÜZGÜN DAĞILIMLI YAPI.....	42
6. GAUSS DAĞILIMLI YAPI	47
7. SÜPER DUYARGALI YAPI.....	52
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR

OSI	: Open Systems Interconnection
MAC	: Medium Access Control
SMACS	: Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks
EAR	: Eaves-drop-And-Register
FEC	: Forward Error Correction
ARQ	: Automatic Repeat Request
QOS	: Quality of Service
AUV	: Autonomous Underwater Vehicles
UUV	: Unmanned Underwater Vehicles
ISI	: Inter-Symbol Interference
CRC	: Cyclic Redundancy Check
FSK	: Frequency Shift Keying
PSK	: Phase Shift Keying
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
CSMA	: Carrier Sense Media Access
MACA	: Multiple Access with Collision Avoidance
DSDV	: Destination Sequence Distance Vector
TORA	: Temporally Ordered Routing Algorithm
DSR	: Dynamic Source Routing
AODV	: Ad Hoc On-demand Distance Vector
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
TDMA	: Time Division Multiple Access
CDMA	: Code Division Multiple Access
PN	: Pseudo Noise

SUALTI DUYARĞA AĞLARINDA DUYARGA KONUŞLANDIRMASININ ETKİLERİ

ÖZET

Teknolojik gelişmeler ile daha ucuza üretilebilen duyargaların enerji, işlem gücü gibi kaynaklarının artmasıyla duyargaların kullanım alanları hızla artmaya başlamıştır. Temel olarak kablosuz haberleşmesini kullanan duyarga ağları mevcut diğer kablosuz haberleşme sistemlerine göre duyarga sayısının fazla olması, duyargaların daha yoğun olarak bir alanı işgal etmesi, bozulma gibi olumsuzluklara karşı daha hassas olmaları, duyargaların sınırlı kaynaklara sahip olması, uygulama alanlarının daha geniş olması gibi nedenlerden dolayı farklılıklar içermektedir. Genel olarak duyarga ağları karasal ve sualtı duyarga ağları olarak ikiye ayrılır. Sualtı duyarga ağlarında ortamın su olmasından ötürü karasal duyarga ağlarında kullanılan radyo haberleşmesi kullanılamaz. Özellikle su ortamının etkilerinden ve akustik haberleşmenin getirdiği kısıtlamalardan ötürü sualtı duyarga ağlarında kullanılan teknik, protokol ve algoritmalar farklılıklar gösterir. Pratik uygulamalarda sualtı duyargaların konuşlandırılmasında problemler vardır. Özellikle artan derinliğe bağlı olarak duyargaların yerleştirilmesi gittikçe zorlaşır. Bu çalışmada çeşitli yöntemler ile yerleştirilen duyarga konumlarının sualtı duyarga ağındaki performans etkilerine değinilmiştir. Birinci ve ikinci bölümde duyarga ağlarında karşılaşılan zorluklara ve duyarga ağlarındaki mimari yapılara değinilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem ve algoritmalar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ızgara yapısının duyarga ağındaki etkilerinden bahsedilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümlerde sırasıyla düzgün ve Gauss dağılımlara uygun olarak konuşlandırılan duyargaların duyarga ağındaki etkileri araştırılmıştır. Yedinci bölümde önceki bölümlerde elde edilen sonuçlara göre duyarga ağının performansını arttırıcı bir yöntem önerisi getirilmiştir. Yapılan çalışmada düzgün ve Gauss dağılımlara göre konuşlandırılan duyargaların, duyarga ağında birbirlerine göre daha avantajlı oldukları noktaları olduğu görülmüştür. Her iki dağılımın avantajlı noktalarını ihtiva

edebilecek süper duyargalı yapı önerisi getirilerek bu yapı çeşitli karşılaştırmalara göre incelenmiş ve daha iyi sonuçların alındığı gösterilmiştir.

EFFECTS OF SENSOR LOCALIZATION ON UNDERWATER SENSOR NETWORKS

SUMMARY

Due to the technological developments on electronics, sensors can be produced cheaper with much power and memory. As a result, applications of wireless sensor networks are in a rapid growth. Wireless sensor networks have differences as comparing with classical wireless networks when considering sensor numbers, dense deployment area, sensitivity to hardware and environmental changes, limited resources and network coverage area. Generally, sensor networks are divided into two main parts as terrestrial wireless sensor networks and underwater wireless sensor networks. Radio communication commonly used in terrestrial wireless sensor networks, can not be used in underwater wireless sensor networks thanks to the water characteristics. Especially because of media and acoustic communication limitations, techniques, algorithms and protocols used in underwater wireless sensor networks have differences. There are some difficulties on practical applications of sensor localization. Particularly, these difficulties are getting worse according to deeper water. On this paper, it is mentioned that localization types related to some distributions like uniform and Gauss have performance effects on underwater wireless sensor networks. In first two chapters, it is mentioned about difficulties on sensor networks and architecture of sensor networks. In third chapter, it is given information about method and algorithms used in this work. It is talked about effects of grid formation of sensor networks in forth chapter. In fifth and sixth chapters, it is mentioned about effects of uniform and Gauss distribution formation. In seventh chapter, it is discussed an alternative method when considering results on previous chapters. It is observed that both uniform and Gauss distribution formations have advantages and disadvantages. It is discussed that formation with super sensors can take both advantages of uniform and Gauss distribution formations at the same time.

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşmede ve elektronik alanındaki son gelişmelerle duyarga ağlarında oldukça önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Duyargalar daha küçük boyutlarda daha yüksek işlem güçlerinde çalışabilmektedirler [1]. Uygulamaya yönelik olarak üzerlerindeki algılayıcılar da değişebilmektedir. Uygulama alanlarının artmasıyla birlikte duyarga ağları karasal alanlara ilaveten sualtı ortamlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Sualtı duyarga ağlarının temel uygulama alanları sismik gözlem, okyanus bilim verilerinin toplaması, mikro habitat gözlemi, okyanus tabakalarının gözlemlenmesi, petrol ve doğalgaz kaynaklarının araştırılması, sualtı akıntılarının gözlemlenmesi, deniz kirliliğinin gözlemlenmesi, çeşitli askeri araştırmalar (hedef tespit, saldırı tespit vb.) üzerinedir [2,3,4,10,11].

Okyanuslar ve/veya denizler üzerine yapılan araştırmalarda kullanılan klasik yöntem, kullanılacak algılayıcıların deniz dibine yerleştirmek ve cihazların belirli bir süre veri toplamasını sağlamaktır. Daha sonra verilerin analizlerde kullanılması için önceden yerleştirilen duyargaların toplanması gerekmektedir. Bu yöntem bazı sıkıntıları beraberinde getirir [8,22]. Bunlar;

- Gerçek zamanlı gözlemin yapılamaması: Derinliğe bağlı olarak duyargadaki toplanan verilerin anlık olarak analiz ve kontrol merkezine (genelde kıyıda yada özel tasarımlı gemilerde bulunur) aktarılması pratikte imkansızlaşmaktadır. Çünkü verilerin aktarılması için duyargalar üzerinde haberleşme birimlerinin olması yada direk duyarga ile toplama merkezi arasında veri iletimi için iletim ortamı (fiber yada bakır kablolar) gerekmektedir. Dolayısıyla toplanan datanın elde edilmesi için uygulamanın bitmesi beklenmelidir. Bu da uygulamaya göre aylar sürebilir.
- Anlık sistemsel parametre değişikliklerinin yapılamaması: Duyargalar ve kontrol merkezleri arasında eğer iletim ortamı mevcut değilse duyargaların bir takım parametre değişikliklerinin yapılması, duyargaların toplanıp

değişikliğin merkezlerde yapıldıktan sonra tekrar sualtındaki yerlerine konulmasını gerektirmektedir.

- Sorunlu duyargaların tespitinin yapılamaması: Sorun yaşayan, bozulan duyargalar tespit edilemediğinden müdahale yapılamamaktadır. Bu nedenle bir duyarga üzerinde toplanan bütün datanın dahi kaybolma riski vardır.
- Duyargaların limitli bellek kapasite problemlerinin olması: Anlık olarak verilerin alınamamasından dolayı tek yöntem verilerin duyargalar üzerinde depolamaktır. Fakat kısıtlı kapasiteden dolayı bir duyarganın ne kadar süre sualtında kalması gerektiği çeşitli öngörülerle belirlenir [2,4].

Bahsi geçen sıkıntılardan dolayı duyargalar üzerinde haberleşme ünitelerinin varlığı uygulamaların daha verimli yapılabilmesi için gereklidir. Haberleşme şeklinin nasıl olacağı (duyargalar arası haberleşme, duyargaların direk analiz ve kontrol merkezi ile haberleşmesi, kullanılacak frekans tayini, modülasyon şekli vb.) ortamın ne olacağına bağlıdır.

Sualtı duyarga ağlarında uygulamalar bahsedildiği üzere farklılık gösterebilmektedir. Uygulamalardan bazıları (sismik ölçüm gibi) çok derin sularda, okyanus tabanlarında olabilmektedir. Bu uygulamalar için sualtı duyargalarının konumlandırılmasının nasıl olacağı ele alınması gereken bir husustur. Çok derin sularda sualtı duyargalarının deniz yada okyanus tabanına konumlandırılması pratikte çok zor bir işlemdir. Sığ sularda sualtı duyargalar, dalgıçlar tarafından istenilen bölgelere yerleştirilebilirken birkaç kilometre veya daha derin sularda bu yöntem imkansızlaşmaktadır. Su yüzeyinden serbest bırakma yöntemiyle sualtı duyargalar, çeşitli sebeplerle (sualtı akıntılar, sualtı yüzeyinin engebeli yapısı gibi) tam olarak istenilen bölgeye konumlandırılmazlar. Duyargaların değişen yerlerinden dolayı, konuşlandırma şekilleri araştırılmalıdır. Bu çalışmada, gelişen teknolojiyle daha ucuza imal edilebilen sualtı duyargalarının, düzgün ve Gauss dağılıma uygun olabilecek yöntemlerle fazla sayıda su yüzeyinden atılarak, duyargaların enerji kullanımlarının nasıl etkilendikleri incelenecektir. Elde edilen sonuçlara göre süper duyargalar kavramı ele alınarak karşılaşılan zorluklara çözüm önerileri getirilecektir. Düzgün ve Gauss dağılımlar karşılaşılan en temel dağılım şekilleri olduğu için bu dağılımlardan yararlanılmıştır. Farklı dağılımlar da incelenerek farklı yöntemler ve algoritmalar geliştirilebilir.

2. SUALTI DUYARGA AĞLARI

2.1 Duyarga Ağları

Duyarga ağı, üzerlerinde uygulamaya yönelik algılayıcılar olan duyargalar arasındaki haberleşme ağını tanımlar. Duyarga ağları arasındaki haberleşme çeşidi kablosuz haberleşmedir. İletim ortamın çeşidine göre duyarga ağları, karasal duyarga ağları ve sualtı duyarga ağları olmak üzere iki alt sınıfa ayrılır. Her iki sınıfta da kablosuz haberleşmedeki ortak koşullar benzerlik göstermekle beraber ortamın cinsine göre haberleşme sisteminde kullanılacak yöntemler, algoritmalar ve sistem parametreleri farklılık gösterir.

Duyarga ağlarının yapısal özelliklerinden dolayı mevcuttaki noktadan noktaya (“ad hoc”) kablosuz haberleşme yöntemlerindeki birçok algoritma, protokol ve teknikler duyarga ağlarında kullanılamaz. Başlıca kullanılamama nedenleri;

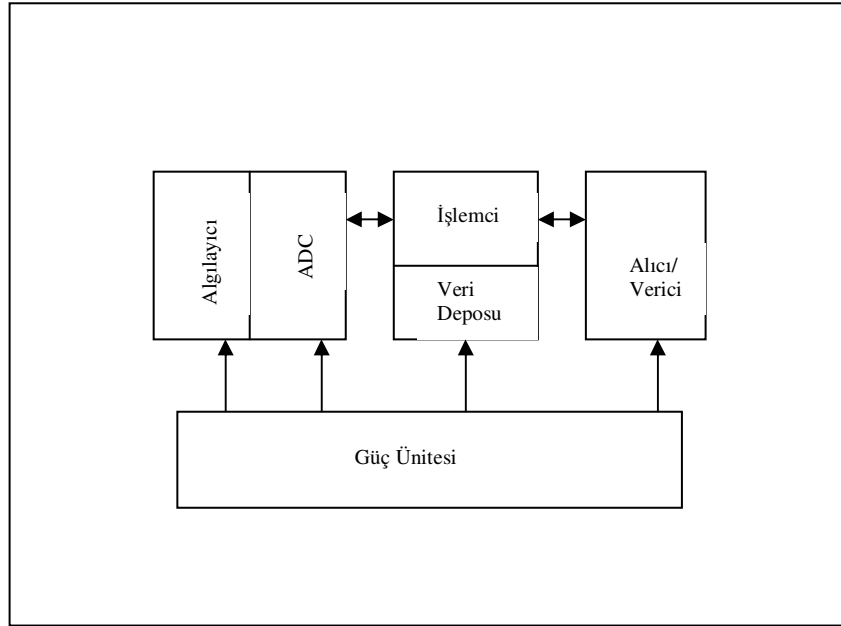
- duyarga sayısının klasik kablosuz ağlarda bulunan haberleşme cihazı sayısından çok fazla olması,
- duyargaların çok yoğun bir şekilde konuşlandırılması,
- duyargaların bozulma, kırılma gibi olumsuzluklara karşı daha hassas olması,
- duyargaların konuşlandırma topolojilerinin daha sık değişmesi,
- duyargaların kısıtlı güç, işletim hızı ve belleklerinin olması,
- duyargaların genelde diğer kablosuz ağlarda kullanılan noktadan noktaya haberleşme yönteminden ziyade yayın yöntemini (“broadcast”) kullanması,
- coğrafik kapsama alanının klasik kablosuz ağlara göre daha geniş olmasıdır [1,7,21].

2.2 Duyarga Ağ Mimarisi

Algılayıcı çeşidinden bağımsız olmak üzere, duyargaların topladıkları dataların analizlerin yapıldığı merkeze ulaştırılması gereklidir. Klasik kablosuz ağların

kullandıkları protokoller, teknikler ve algoritmalar duyarga ağı için uygun olmadıklarından duyarga ağ mimarisince bu gereksinimler yeniden tanımlanır.

Duyarga ağ mimarisindeki temel öge duyarganın kendisidir. Duyarga, bu mimaride olayları algılayan, verileri işleyip depolayan ve diğer duyargalara gönderen çok işlevli bir yapıdadır. Aşağıdaki Şekil 2.1’de duyarganın temel yapısı ve bölümleri gösterilmiştir.

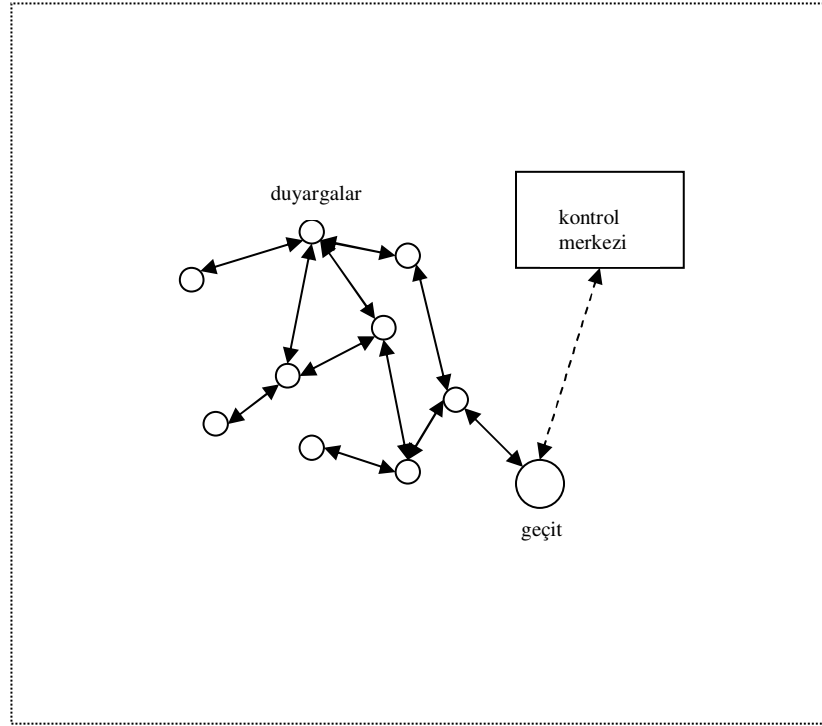


Şekil 2.1: Duyarga Yapısı

Duyarganın uygulamaya yönelik olayları algılama görevini algılayıcı üstlenir. Algılayıcı, doğada bulunan bir olguyu (sıcaklık, nem, titreşim, hareket, ivme vb) tespit eder. Algılayıcıdan gelen analog bilgi, işlemcide kullanılmak üzere sayısal veriye çevrilir. İşlemci kendisine atanan göreve göre verileri işler. Bu görevler ağda kullanılacak yönlendirme protokolünün çalıştırılmasından gelen verinin çeşitli algoritmalarla (gürültü bastırıcı, kriptolama vb) göre işlenmesine kadar çeşitlenebilir. Veri deposu, verinin duyargada depolanmasına gerektiğinde ağa gönderilmek üzere vericiye iletilmesinde rol oynar. Alıcı/verici, lokal verinin ağa iletiminde ve diğer duyargalardan gelen verinin bir sonraki duyargaya iletilmesinde görev alır. Güç ünitesi ise diğer birimlere gerekli olan gücü aktarır [9].

Duyarga ağ mimarisinin yapı taşı olan duyargalar, birbirleri üzerinden veriyi geçit adı verilen son toplama noktasına iletirler. Geçit kendisine gelen veriyi kontrol merkezine yönlendirir. Geçit ve duyargalar arasındaki haberleşme, geçit ve kontrol

merkezi arasında olan haberleşmeden genellikle farklıdır. Geçit ve duyargalar, ortamın karakteristiğine göre duyarga ağ mimarisinin önerdiği şekilde haberleşirler. Bu sistemde kullanılan teknikler önceden bahsedilen sebeplerden ötürü klasik kablosuz ağ tekniklerinden farklıdır. Geçit ve kontrol merkezi arasındaki haberleşme teknikleri, mevcut kablosuz ağ teknikleridir. Bunlar radyo linkler olabileceği gibi, uydu linki de olabilir. Uygulamanın özelliğine göre geçit ve kontrol merkezi birbirlerine fiber yada bakır linkler üzerinden de bağlanabilir.



Şekil 2.2: Duyarga Ağ Haberleşmesi

Şekil 2.2’de temel duyarga ağ haberleşmesi gösterilmiştir. Şekildeki çift yönlü oklar ilgili duyargaların birbirleriyle komşuluk kurduklarını gösterir. Duyargalar oluşturdukları komşuluk linki üzerinden haberleşerek verinin iletilmesini sağlarlar. İki duyarga arasında oluşacak komşuluk, duyarga ağ mimarisinde belirtilen koşullara göre (genellikle mesafe) kurulur.

2.3 Duyarga Ağ Tasarımına Etki Eden Faktörler

Duyarga ağların tasarımında birçok faktör, ağda kullanılacak duyarga sayısının, algoritmanın, protokolün, konuşlandırmanın ve diğer tekniklerin seçiminde etkilidir [1,11,21]. Duyarga ağlarında göz önünde bulundurulması gereken bu faktörler aşağıda listelenmiştir.

- Hata toleransı: duyarga ağlarında duyargalar çevre şartlarından ve donanım kısıtlarından çok fazla etkilenirler. Bir duyarganın konuşlandırıldıktan sonra fiziksel darbeler sonucu bozulması, yerinin değişmesi, gücünün bitmesi gibi nedenlerden dolayı duyarga işlevselliğini kaybedebilir. Böyle bir durumda sistemin halen çalışabiliyor olması gerekmektedir. Duyarga ağındaki hata toleransı bir duyarganın $(0,t)$ zaman aralığında sorunsuz çalışabilirliği ile ölçülür ve Poisson dağılımından yararlanır. Buna göre hata toleransı $R_k(t)$:

$$R_k(t) = e^{-\lambda_k t} \quad (2.1)$$

olarak alınır ve λ_k k. duyarganın hata olasılığını gösterir.

- Ölçeklenebilirlik: Bir duyarga ağındaki duyarga sayısı uygulamaya bağlı olarak onlar mertebesinde binler hatta milyonlar mertebesinde olabilir. Zamanla duyarga sayısındaki artış gereksinimi olduğunda sistemin, yeni duyarga ilavesini destekleyebiliyor olması gerekir. Duyarga ağındaki duyarga yoğunluğu μ aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\mu(R) = (N \cdot \pi \cdot R^2) / A \quad (2.2)$$

Burada N , duyarga sayısını, A arazinin alanını, R radyo iletim menziline (kapsama alanı) verip $\mu(R)$, A alanı bölgesindeki R kapsama alanındaki duyarga sayısını gösterir.

- Maliyet: Duyarga ağlarda kullanılan duyarga sayısı uygulamaya göre çok fazla olduğundan duyarga maliyeti yüksek olabilir. Maliyetin, klasik duyarga yöntemleri ile oluşan maliyetten düşük olması gerekir.
- Donanım Kısıtları: Şekil 2.1’de ana birimleri gösterilen bir duyarganın küçük boyutlarda, az güç tüketimine sahip, kapsama alanının geniş, değişen koşullara göre dayanıklı olması beklenir.
- Ağ Topolojisi: Duyargalar belli bir alana konuşlandırılırken çeşitli yöntemler kullanılır. Duyargalar tek tek konuşlandırılacağı gibi uçak gibi bir vasıta ile havadan da dağıtılabilir. Konuşlandırma yapıldıktan sonra duyargaların değişikliklere (bir engele çarpma, yerinin değişmesi, engel tarafından iletim yapamaması vb.) karşı nasıl davranacakları önceden kestirilmelidir.

- İletim Ortamı: Duyargaların bulundukları ortam tasarımı önemli rol oynar. Örneğin sualtı duyargalar akustik haberleşme kullanırken, karasal ortamlarda kullanılan duyargalar radyo haberleşmesinden faydalanır.
- Çevre: Duyargaların bulunacağı alan üzerinde önceden çalışma yapılması gereklidir. Uygulamaya göre alanın bir askeri arazi olması, çevrede bozucu etkenlerin olması (su akıntıları, hayvanların göç yolları vb.) çevre şartlarının beklenmedik etki göstermesine neden olabilir.
- Güç tüketimi: Duyarga gücü, mimaride kullanılan tekniklerin seçiminde etkin rol oynar. Kısıtlı güce sahip olmaları, duyargaların sadece gerektiği zamanlarda kullanılmalarını gerektirir. Özellikle mesaj iletiminde kullanılan güç, bir duyarganın en fazla güç kullandığı durumdur. Uygulamaya ve duyarganın çeşidine göre bazı durumlarda güneş enerjisinden yararlanılabilir. Fakat sualtı uygulamalarında alternatif enerji kullanan bir duyarga henüz yoktur.

2.4 Duyarga Ağları Protokol Yığını

2.4.1 OSI Modeli

1978 yılında tasarlanan ve 1984 yılında son bir düzenlemeyle yaygınlaşmaya başlayan, ağ protokollerinin nasıl olması gerektiğini bildiren “Open Systems Interconnection” (OSI) modeli, farklı üreticilerin donanımlarının birbirleriyle konuşabilmesi için gerekli olan standartları bildirir [16]. Duyarga ağlarında kullanılan haberleşme protokolleri temelde OSI modeline uyar. OSI modelinde önerilen her katman için duyarga ağlarında kullanılması planlanan protokol ve teknikler ayrı ayrı düşünülmelidir.

Şekil 2.3’de OSI modelinin katmanları gösterilmiştir.

Uygulama
Sunu
Oturum
Taşıma
Şebeke
Veri Bağlantı
Fiziksel

Şekil2.3: OSI Katmanları

Uygulama katmanında kullanıcı tarafından çalıştırılan tüm uygulamalar tanımlanır. Örneğin FTP, e-mail, SNMP uygulamaları gibi. Sunu katmanında, uygulama katmanına çıkan verinin kodlama ve dönüştürme işlemleri yapılır. Ayrıca sıkıştırma, şifreleme gibi işlemler de gerçekleşir. TIFF, JPEG, MIDI, MPEG gibi dönüşümler sunu katmanında gerçekleşir. İletişimde bulunacak iki haberleşme cihazı arasındaki oturumun kurulması, yönetilmesi ve sonlandırılması oturum katmanında gerçekleşir (NFS, SQL, ASP gibi). Taşıma katmanında üst katmanlardan gelen veri segmentlere ayrılarak akış kontrolü sağlanır. Bu katmanda haberleşme cihazları arasındaki mantıksal bağlantı sağlanır. TCP, UDP gibi protokoller taşıma katmanında tanımlanan protokollerdir. Şebeke katmanında, verilerin diğer cihazlara en uygun yoldan gitmesi sağlanır. IP protokolü günümüzde en çok kullanılan şebeke katman protokolüdür. Veri bağlantı katmanında, şebeke katmanından gelen paketlere hata kontrol bitleri eklenerek çerçeve yapısı oluşturulur. Kullanıcıların ortak paylaşımlı bir ortama nasıl dahil olmaları gerektiğini açıklar. Fiziksel katman, verilerin fiziksel olarak gönderilmesi ve alınması ile ilgilenir. Modülasyon şekli, sayısal yada analog hangi tür haberleşmenin yapılacağı bu katmanda belirlenir.

2.4.2 Duyarga Ağlarında Fiziksel Katman

Fiziksel katman haberleşmede kullanılacak frekans seçiminden, modülasyondan, taşıyıcı frekanstan sorumludur. Genellikle duyarga ağlarda 915 Mhz ISM bandı kullanır [1]. Uygulamaya göre optik yada akustik iletimden de faydalanılır.

Modülasyon için ikili (“binary”) yada M’li (“M-ary”) modülasyon çeşitleri kullanılır. M’li modülasyon çeşitleri birim zamanda daha fazla bilgiyi iletmek bakımından ikili modülasyon çeşidine göre daha iyi olmakla beraber kompleks devre tasarımları ve daha fazla güç tüketimi yaptıklarından ikili modülasyon çeşidine göre zorluklar içerir.

2.4.3 Duyarga Ağlarında Veri Bağlantı Katmanı

Veri bağlantı katmanı, haberleşme cihazları arasındaki güvenilir bağlantı kurulmasından sorumludur. Verileri çerçeve yapısına dönüştürerek paylaşımlı ortamda verinin hata kontrolü yapılarak iletilmesini sağlar. Alıcı tarafta ise çerçevelerin tespitinde görev alır.

Veri bağlantı katmanının temelde iki görevi vardır. İlk olarak haberleşme cihazlarının paylaşımlı ortama sorunsuz bir şekilde dahil olmalarını sağlayan “Medium Access Control” (MAC) birimi ve ikinci olarak veri çerçevelerinin hatalı gidip gitmediğini kontrol eden hata kontrol birimi.

MAC birimi öncelikli olarak sayıca çok fazla olabilen duyargaların mevcuttaki ortamı nasıl kullanmaları gerektiğini, güvenilir iletim kanallarının oluşabilmesi için gerekli olan standartları tanımlar. Duyarga ağlarında kullanılmak üzere “Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks” (SMACS), “Eaves-drop-And-Register” (EAR) gibi birçok MAC algoritmaları geliştirilmiştir. Bununla birlikte başka alanlarda da kullanılan TDMA, FDMA ve CSMA teknikleri duyarga ağları için geliştirilmektedir.

Hata kontrol birimi, gönderilen verinin hatalı olup olmamasının algılanmasını sağlar. “Forward Error Correction” (FEC) ve “Automatic Repeat Request” (ARQ) kullanılan iki yöntemdir. FEC kullanılan algoritmalarla göre hatalı gelen veri bitlerini belirli bir seviyeye kadar algılayarak düzeltir. ARQ ise hatalı bitin algılandığı durumda düzeltme yapmayarak verinin tekrar gönderilmesini ister. Duyarga sayısının çok olduğu durumlarda ARQ kullanmak verilerin tekrar iletimini arttırdığından performans düşürücü etki yapabilir. FEC ise kompleks kodlama devrelerine ihtiyaç duyar.

2.4.4 Duyarga Ağlarında Şebeke Katmanı

Duyarga ağlarında şebeke katmanı verinin diğer duyargalar üzerinden gönderilerek geçit duyargasına ulaştırılmasını sağlar. Veri paketinin hangi duyarga üzerinden gideceğine yönlendirme protokolleri karar verir. Şu an duyarga ağlarında kullanılabilecek birçok yönlendirme protokolü vardır ve halen üzerlerinde çalışmalar yapılmaktadır [14].

Klasik kablosuz haberleşme ağlarında ve diğer ağlarda kullanılan protokoller duyarga ağlar üzerine çeşitli sebeplerden dolayı uygulanamazlar. Bunlardan başlıcaları aşağıda verilmiştir.

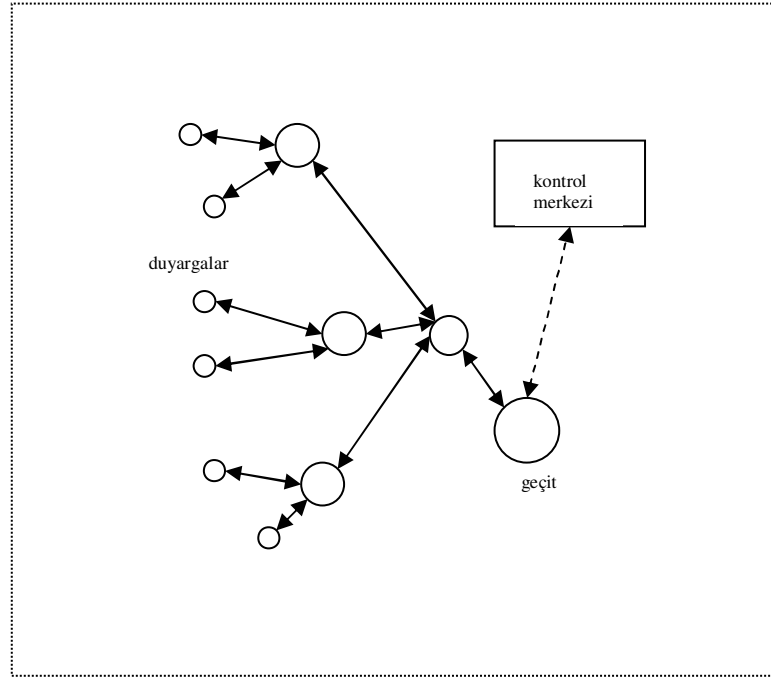
- Duyarga sayısının çok fazla olması global adresleme yapısını kullanan IP tabanlı protokollerin uygulanmasını zorlaştırır.
- Klasik haberleşme ağlarından farklı olarak hemen hemen tüm duyarga ağ uygulamalarında verilerin geçit adı verilen toplama duyargasına gönderilmesidir.
- Konuşlandırılmaya bağlı olarak birçok duyarganın aynı bilgiye sahip olan bir olayı algılayarak verileri geçide yönlendirmek istemesi, böylece aynı bilgiye sahip birçok paketin gereksiz yere ağı işgal etmesidir.
- Duyargaların kısıtlı güçlerinin olması, böylelikle her gönderilen paket, duyargalar arasında yönlendirilirken duyarga ağındaki mevcut gücün tükenmesini hızlandırır.

Duyarga ağlarında kullanılan yönlendirme protokolleri data merkezci (“data-centric”), hiyerarşik (“hierarchical”) ve konum tabanlı (“location-based”) olmak üzere üç temel gruba ayrılır [14].

Data merkezci protokoller, gereksiz bilgilerin ağı işgal etmesini önlemek amaçlı sorgu tabanlı ve gerekli verinin ismi üzerinden yapılan protokollerdir [12,14]. Örneğin “sadece 30C sıcaklığı aşan olayların getirilmesi” gibi. “Flooding”, “gossiping”, SPIN, “directed diffusion” gibi protokoller data merkezci protokollerdir.

Hiyerarşik protokoller, duyarga ağını gruplara bölerek her grup üzerinde toplanan verilerin ağı fazla işgal etmemesi için birleştirilerek (gereksiz bilgiler ayrıştırıldıktan sonra) ağa verilmesiyle ilgilenir. Böylelikle duyarga ağındaki kullanılan toplam gücü

minimize etmeye çalışırlar. LEACH, PEGASIS gibi protokoller hiyerarşik protokoller grubuna girerler. Şekil 2.4’de hiyerarşik yapıya ait bir ağ topolojisi gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Hiyerarşik Yapı

Şekil 2.4’de duyargalar kendi bölgelerindeki kapsama alanı ve enerjileri daha fazla olan duyargalara veri paketlerini yollarlar. Verileri alan bu duyargalar bilgileri yoğunlaştırarak geçide gönderirler. Eğer yeterli mesafede değillerse diğer grubun kendisi gibi olan duyargası üzerinden geçide ulaşmaya çalışır.

Konum tabanlı protokoller, konum bilgilerini kullanarak verinin tüm ağa gönderilmesinin yerine sadece ilgilenilen hedefin konumuna doğru yönlendirme yapmaya çalışırlar. MECN, SMECN, GEAR gibi protokoller konum tabanlı protokollerdir.

Üç protokol grubu dışında servis kalitesi (“Quality of Service”, QOS) tabanlı protokoller de vardır. Bu protokoller genellikle uçtan uça gecikmeleri, paketlerin önceliklendirilmesi gibi bazı iyileştirme koşullarını hesaba katarlar.

2.4.5 Duyarga Ağlarındaki Yönlendirme Konularında Dikkate Alınması

Gereken Hususlar

Duyarga ağlarında yönlendirme protokollerinin performansını, duyarga ağındaki uygulamanın cinsi, sistemsel bazı kısıtlar gibi faktörler belirler [14].

Bir duyurga ağını temel olarak duyurga, geçit ve algılanması istenen olaylar oluşturur. Ağ dinamikleri üç temel ögenin stabilizeleriyle ilgilenir. Duyurgaların ve geçidin hareketli olup olmaması, olayların statik (periyodik) yada dinamik gelişmeleri duyurga ağ yönlendirme protokollünün seçiminde yada geliştirilmesinde önemlidir.

Duyurga konuşlandırılması, uygulamaya bağlı olarak önceden belirlenen yerlere yada rasgelesel şekilde duyurgaların yerleştirilmesini inceler. Önceden belirlenen yerler ve veri yollarının kullanılması veya rasgele konuşlandırılan duyurgaların oluşturacağı veri yolları yönlendirme protokollerinin performansını etkileyen diğer bir etkidir.

Duyurga güçlerinin kısıtlı olması, duyurgaların direk geçit ile haberleşmesi yada diğer duyurgalar üzerinden geçide bilgi transfer etmesi gerektiği kararını etkiler. Mesafenin karesiyle doğru orantılı şekilde artan iletim gücü, duyurganın direk geçit ile iletişim kurması durumunda duyurganın enerjisini daha çabuk bitirecektir. Fakat bu durumda kullanılan yönlendirme protokolü oldukça basitleşmektedir. Diğer durumda ise iletim gücünden tasarruf sağlanırken, ağdan gereksiz paketlerin iletilmesi, yönlendirme protokolünün duyurga enerjisine getireceği ek yük gibi problemler oluşmaktadır.

Duyurgaların donanım kapasiteleri yönlendirme protokollerinin performansını etkileyen diğer bir faktördür. Bazı hiyerarşik protokolleri, bazı duyurgaların donanım kapasitelerini daha yüksek tutarak performansı arttırmaya çalışırlar.

Veri yoğunlaştırma, duyurgalardan gelen verilerin bazı özel duyurgalar üzerinde toplanarak sıkıştırılması, gereksiz ve tekrarlanan verilerin atılması gibi işlemleri yürütürler. Bu sadeye duyurga ağında bir olay sonucu oluşan verinin daha az güç harcayarak geçide iletilmesi sağlanmaya çalışılır.

2.5 Sualtı Duyurga Ağları

Sualtı duyurga ağları, karasal duyurga ağlarına benzer yapıdadır. Farklı olarak sualtı duyurga ağlarında hareketli duyurgalar da mevcuttur (Multiple Unmanned yada Autonomous Underwater Vehicles, UUV, AUV). Hareketli yada sabit sualtı duyurgaları topladıkları verileri iletebilmek için birbirleriyle iletişim (konum bilgilerinin, hareket bilgilerinin diğerlerine öğretilmesi vb.) içinde olmak durumundadırlar.

2.5.1 Sualtı Duyarga Ağlarında Karşılaşılan Zorluklar

Sualtı duyarga ağlarında karşılaşılan temel zorluklar [2,4,11];

- yeterli bant genişliğinin olmaması,
- çoklu yol (“multi-path”), girişim (“fading”) gibi bozuculardan haberleşme kanal yapısının etkilenmesi,
- yayılım (“propagation”) hızının yavaş olması,
- yüksek bit hata oranları,
- yüksek paket kayıp oranları,
- duyargalarının kısıtlı güce sahip olmaları (güneş enerjisi gibi alternatif kaynakların kullanılamaması),
- duyargaların dış etkenlerden dolayı bozulma oranlarının yüksek olması,
- donanımların, karasal duyarga donanımlarına göre daha pahalı olması,
- bazı protokollerde kullanılması gereken eş zamanlılığın (“clocking” gibi) gecikmeden ötürü tam olarak yapılamamasıdır.

2.5.2 Sualtı Duyarga Ağlarında Akustik Haberleşme

Karasal duyarga ağlar da radyo haberleşmesinden yararlanılırken sualtı duyarga ağlarında akustik haberleşme kullanılır. Öncelikle radyo haberleşmesinin sualtında oldukça sınırlı yayılımı vardır [10]. Radyo dalgalarının özellikle tuzlu suda uzun mesafe yayılabilmesi için çok düşük frekanslarda olmaları gerekir (30-300Hz). Bu koşullarda radyo dalgasının gönderilmesini sağlayacak anten uzunluğu ve iletim gücü artmaktadır [2,20]. Optik haberleşmesinin de radyo haberleşmesindeki gibi sualtında kullanılması uygun değildir. Optik dalgalar, radyo dalgaları gibi yüksek zayıflamadan (“attenuation”) etkilenmese de saçılmadan olumsuz etkilenirler. Ayrıca optik dalgaların sualtı duyargalarında algılanabilmeleri için optik alıcı ve vericilerin çok hassas bir biçimde konumlandırılması gerekir.

Sualtı haberleşme kanallarının etkilendiği temel olumsuzluklar aşağıda verilmiştir.

2.5.2.1 Yol kaybı

Mesafe ve frekans seçimine bağlı olarak akustik enerji ısıya dönüşerek zayıflar (“attenuation”). Ayrıca saçılma, dip yansımaları, kırılma, suyun derinliği gibi

etkenlerde zayıflamayı etkiler. 12.5kHz’de soğurulma (“absorption”) yaklaşık 1db/km olurken 70kHz için 20db/km’yi aşmaktadır [10].

Frekanstan bağımsız olarak mesafe arttıkça dalganın genişlemesinden dolayı ses dalgasının enerjisi azalır. Geometrik yayılma (“geometric spreading”) denilen bu bozucu etkinin küresel ve silindirik çeşidi vardır [11]. Küresel yayılım (2.3) denklemince modellenir [5].

$$path_loss(db) = 20\log_{10}(range) \quad (2.3)$$

2.5.2.2 Gürültü

Sualtı haberleşmesini etkileyen gürültü, insan ve çevresel faktörlerden kaynaklıdır. Genelde makine nedenli (gemi pervanesi vb.) gürültüler insan faktörlü gürültü içindedir. Rüzgar, fırtına, sualtı akıntıları, yağmur gibi nedenler ise çevresel faktörlere örnek olarak verilebilir. Örneğin rüzgarın hızının iki kat artması çevresel gürültüyü yaklaşık 5dB artırmaktadır [10].

Genel olarak sığ sularda çevresel gürültünün ortalama değeri 70dB alınarak modellenir [17].

2.5.2.3 Çoklu Yol (“multi-path”)

Simgeler arası girişim (ISI) oluşturarak akustik sinyalin bozulmasına neden olur. Bu istenmeyen girişim, su dalgaları, yüzen vasıtalar nedeniyle olduğundan frekansa bağlı olarak zamanla değişir [7].

2.5.2.4 Gecikme (“delay”)

Sualtıdaki ses hızı yaklaşık 1500m/s olup ışık hızının 2×10^5 katı kadar yavaştır. Bu nedenle akustik haberleşmede gecikme en önemli probleminden biridir. Gecikmenin yüksek olmasından dolayı sualtı duyurga ağlarındaki veri iletim hızı düşer. Ses hızı aşağıdaki formülle modellenir [13].

$$C = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016Z \quad (2.4)$$

C: ses hızı (m/s)

T: sıcaklık (C)

S: tuzluluk (psu)

Z: derinlik (m)

2.5.2.5 Doppler Kayması

Yüksek hızlarda iletim olduğu zaman Doppler etkisinden dolayı alıcıda işaretler girişim yaparak sualtı haberleşme kanalına bozucu etkide bulunur.

Bahsi geçen bozucu etkiler genellikle ortamın kimyasal ve fiziksel yapısından kaynaklıdır. Suyun sıcaklığı, tuzluluk oranı gibi nedenlerin değişken durumlarından dolayı bu bozucu etkilerin hesabı oldukça zorlaşır.

Yatay ve dikey yönlü olarak haberleşme kanallarının olduğu varsayılırsa, dikey yönlü kanalların, yatay yönlü kanallara oranla bozucu etkilerden daha fazla etkilenir [2,20].

2.5.2.6 Konum Bilgisinin Elde Edilmesi ve Zaman Senkronizasyonu

Karasal duyurga ağlarında ortamın hava olmasından dolayı radyo haberleşmesi kullanılır. Bu durumda GPS gibi teknolojiler duyurgaların arazi üzerinde tam olarak nerede olduklarını belirleyebilirler. Fakat radyo haberleşmesinin sualtında kullanılamamasından dolayı sualtı duyurga ağlarında çalışabilecek farklı yöntemler araştırılmaktadır [15,20].

2.5.3. Sualtı Duyurga Ağlarında Protokol Yığını

Sualtı duyurga ağlarında protokol ağ yığını OSI modeliyle benzerlik göstermektedir. Duyurga ağ mimarisinde bahsi geçen protokoller, sualtı duyurga ağlarında görülen sınırlı bant genişliği, çoklu yol, yayılım hızının yavaşlığı (akustik iletim nedeniyle), yüksek bit hata oranları, alternatif enerji kaynaklarının kullanılamaması, duyurga donanımlarının (kırılma, bozulma, hareket etme vb.) çevresel şartlara karşı daha hassas olması, senkronizasyon problemleri gibi sebeplerden dolayı sualtı duyurga ağlarına tam olarak uygulanamazlar. Dolayısıyla sualtı duyurga ağlarında belirtilen etkileri göz önüne alan protokollerin geliştirilmesi gereklidir.

Temel prensipler OSI katmanında belirtildiği gibi bir sualtı duyurga ağındaki ilk üç katman fiziksel, veri bağlantı ve şebeke katmanıdır. Fiziksel katmanda, vericideki lojik verilerin çeşitli modülasyonlar kullanılarak analog işaretlere dönüştürülme

işlemi yapılır. Alıcıda ise gürültü gibi bozucu etkilere maruz kalan işaretin tekrar lojik verilere dönüştürölme işlemi gerçekleştirilir [16, 19].

Haberleşme ortamına gönderilecek lojik bilginin nasıl bir paket yapısına sahip olacağını veri bağlantı katmanı belirler. Bu katmandaki iki ana bölüm, çerçeve yapısının belirlenip paylaşımlı haberleşme ortamının çoklu kullanıcılar tarafından paylaşılması ve hata kontrolünün yapılmasıdır. Çerçeve yapısında, bilgi, senkronizasyon bitleri, verici ve alıcının adresleri ve kontrol bilgileri bulunur [19]. Genellikle hata kontrolü, çerçevenin “cyclic redundancy check” (CRC) bölümü ile yapılp hatalı gelen paketin nasıl işlem göreceğini belirler. ARQ, hatalı gelen paketin verici tarafından tekrar gönderilmesini sağlayıp “Stop&Wait”, “Go Back N”, “Selective Repeat Protocol” gibi teknikleri kullanır [19]. Sualtı duyurga ağlarında gürültü nedeniyle oluşan yüksek bit hata oranı, ARQ kullanımını olumsuz etkileyen bir parametredir. Paketlerin tekrar gönderilimi, sınırlı enerjileri olan duyurgaların enerji tüketimini arttırıcı bir rol oynar. Diğer bir yöntem olan FEC, hatalı gelen paketlerdeki bitlerin bir dereceye kadar tekrar gönderilen bitlere dönüştürölmesini sağlar. Fakat FEC kullanımı için duyurgalarda daha kompleks devreler ve kodlama teknikleri gereklidir. Veri bağlantı katmanının diğer bölümü olan MAC, çoklu kullanıcıların paylaşımlı haberleşme ortamına nasıl bağlanacaklarını belirler.

Şebeke katmanı, sualtı duyurgalarının, ağ topolojine göre paketleri nasıl yönlendireceklerine karar veren protokolleri içerir. Bu katmanda kullanılan protokoller, sualtı duyurga ağlarındaki gecikme ve senkronizasyon sorunlarını dikkate alacak şekilde olmalıdır.

2.5.3.1. Sualtı Duyurga Ağlarında Fiziksel Katman

Sualtı duyurga ağlarında kullanılan modölasyonlardan bir tanesi Frekans Kaymalı Anahtarlama (“frequency shift keying”, FSK). FSK modölasyonunun sualtı duyurga ağlarındaki çoklu yol, su yüzeyi ve su dibindeki yansımalar gibi bozuculardan daha az etkilenmesi için çeşitli yöntemler kullanılsa da akustik haberleşmedeki bant genişliğinin az olması FSK modölasyonunun kullanılmasını zorlaştırmaktadır [2]. Diğer modölasyon tekniklerinden Faz Kaydırmalı Anahtarlama (“phase shift keying”, PSK) ve Karesel Genlik Modölasyon (“quadrature amplitude modulation”, QAM) sualtı duyurga ağlarında kullanılan diğer modölasyon çeşitleridir

[2]. Tablo 2.1’de modülasyon çeşitlerinin sualtı uygulamalar için gelişim süreçleri, bant genişliği ve hız karşılaştırmaları verilmiştir [2].

Tablo 2.1: Modülasyon Teknikleri

(*: d ve s sırasıyla derin ve sığ suları belirtir)

Çeşit	Zaman	Hız [kbps]	Bant [kHz]	Uzaklık [km] *
FSK	1984	1.2	5	3 _s
PSK	1989	500	125	0.06 _d
FSK	1991	1.25	10	2 _d
PSK	1993	0.3-0.5	0.3-1	200 _d -90 _s
PSK	1994	0.02	20	0.9 _s
FSK	1997	0.6-2.4	5	10 _d -5 _s
PSK	1998	1.67-6.7	2-10	4 _d -2 _s
16-QAM	2001	40	10	0.3 _s

2.5.3.2. Sualtı Duyarga Ağlarında Veri Bağlantı Katmanı

MAC protokollerinden ALOHA, Taşıyıcı Algılama Çoklu Erişim (“carrier sense media access”, CSMA), “Multiple Access with Collision Avoidance” (MACA), MACAW sualtı duyarga ağları için kullanılabilecek protokollerdir. Fakat bu protokoller temel olarak sualtı ağları için tasarlanmamışlardır.

ARQ tekniklerinden “Stop&Wait”, “Go Back N” ve “Selective Repeat Protocol” hatalı paket geldiğinde paketlerin tekrar nasıl yollanması gerektiğini belirtir. Kısaca “Stop&Wait” tekniğinde verici diğer paketi yollamadan önce alıcıdan bir tane bilgilendirme (ACK) mesajının gelmesini bekler. Belli süre içerisinde ACK mesajı gelmezse yollanan paket tekrar yollanır. “Go Back N” tekniği ile verici N tane paket iletimi yaptıktan sonra alıcıdan bir tane ACK mesajı beklenir. “Selective Repeat Protocol” tekniğinde ise verici toplu paketler yollar. Alıcı sadece hatalı alınan paket için ACK yollar. ACK mesajını alan verici ilgili paketi tekrar yollar [19]. ARQ tekniklerinden farklı olarak FEC teknikleri de hata kontrolü için sualtı duyarga ağlarında kullanılabilen tekniklerdir. FEC teknikleri, veri paketlerine fazladan bitler koyarak alıcının hatalı gelen paketleri algıladıktan sonra alıcının gerekli düzeltmeyi

yapmasını sağlar. Fakat FEC tekniklerinde gelişmiş kodlama ve daha kompleks donanım ihtiyacı vardır [2].

2.5.3.3. Sualtı Duyarga Ağlarında Şebeke Katmanı

Sualtı duyarga ağlarında şebeke katmanı, paketlerin yönlendirilmesinden sorumludur. Topolojiye bağımlı olsa da genel olarak sualtı duyargaları veri paketlerini geçit duyargasına iletmek isterler. Geçit duyargası ise kendisine gelen paketleri kontrol merkezlerine iletmekle görevlidir. Paketleri hangi yolu kullanarak geçide gideceğine yönlendirme protokolleri karar verir. Yönlendirme protokolleri genel olarak en kısa yol algoritmalarını kullanırlar. Sualtı duyarga ağlarında görülen gecikme, senkronizasyon ve sınırlı enerji problemlerinden dolayı yönlendirme algoritmalarının bahsi geçen problemlere karşı duyarlı olmalıdır. Ayrıca sualtı duyarga ağlarında görülen diğer bir zorluk ise uygulamaya bağlı olarak sualtı duyargalarının hareketliliğidir. Dolayısıyla duyargaların anlık yerlerinin tespiti gibi konular yönlendirme protokollerinde ele alınması gereken diğer hususlardır.

Sualtı duyarga ağlarında kullanılabilen yönlendirme protokollerinden bazıları “Destination Sequence Distance Vector” (DSDV), “Temporally Ordered Routing Algorithm” (TORA), “Dynamic Source Routing” (DSR) ve “Ad Hoc On-demand Distance Vector”dır (AODV) [2, 19].

DSDV, periyodik yönlendirme güncellemeleri ile her hedef noktaya hangi noktalar üzerinden gitmesi gerektiğini yönlendirme listesinde tutan bir protokoldür.

TORA, gereklilik durumunda yolların bulunmasını sağlar. Ayrıca hedef noktaya olan alternatif yolların da belirlenmesi, ana yollun kullanılmadığı durumlarda hızlı bir şekilde yönlendirmenin yapılabilmesini sağlar.

DSR, diğer yönlendirme protokollerine göre kaynak yönlendirmesi yapan bir protokoldür. Paketlerin başlık kısımlarında paketin hangi noktalar üzerinden gideceği sırasıyla bulunmaktadır. Böylelikle paketi olan yönlendiricinin hesaplama yapmasına gerek kalmadan paketi sıradaki yönlendiriciye iletmesi sağlanır.

AODV protokolünde ise TORA ve DSR protokollerinin temel özellikleri kullanılarak yönlendirme yapılır [2, 19].

2.5.3.4. Sualtı Duyarga Ağlarında Çoklu Erişim Teknikleri

Sualtı duyargaları, akustik haberleşme ortamına erişirken mevcut bant genişliğini ve zamanı en verimli şekilde kullanmaları gerekir. Çoklu erişim tekniklerinden olan Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (“frequency division multiple access”, FDMA), mevcut bant genişliğini kanallara bölerek her kullanıcıya bir tane kanal tahsis eder. Sualtı ağlarındaki bant genişliğinin sınırlı olması ve girişim gibi etkilerden dolayı FDMA sualtı duyarga ağların için uygun bir teknik değildir [19]. Diğer bir teknik olan Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (“time division multiple access”, TDMA), zaman aralıklarını çerçeve adı verilen zaman yuvalarına ayırır. Her kullanıcı genel olarak bir tane çerçeve kullanarak haberleşme ağına dahil olur. TDMA tekniğinde zaman çerçevelerinin çok iyi oluşturulmaları gerekir. Fakat sualtındaki gecikme problemlerinden dolayı zaman çerçeveleri oluşturulurken senkronizasyon problemleri ile karşılaşır. Bu nedenle TDMA tekniği de sualtı ağları için tam olarak uygun bir teknik değildir. Kod Bölümlemeli Çoklu Erişim (“code division multiple access”, CDMA), kullanıcılara tüm bant genişliğini anlık olarak kullanabilmesini sağlayan bir tekniktir. Her kullanıcıya önceden bir tane PN (“pseudo noise”) kodu tahsis edilerek alıcının gelen işaretlerin hangi vericiye ait olduğunu tespit etmesi sağlanır. Sualtı duyarga ağlarında CDMA tekniği diğer tekniklere göre daha iyi sonuç verir [19].

3. KONUŞLANDIRMANIN SUALTİ DUYARGA AĞ PERFORMANSINA ETKİSİ

Sualtı duyurga ağlarında temel problemlerden bir tanesi duyargaların kısıtlı enerjilerinin olmasıdır. Ayrıca güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarından faydalanılamaz. Sualtı uygulamalarında özellikle derinliğe bağlı olarak duyargaların bataryalarının da değiştirilmesi imkansızdır. Dolayısıyla sualtı duyurga ağlarında gücün kullanımı üzerinde çalışılması gereken bir husustur. Yapılan birçok çalışmada gücün en verimli yoldan kullanılmasına çalışılır.

Uygulama alanlarına göre sualtı duyargalar, 100 m derinliğe kadar olan sığ sularda yada daha derin olan yerlerde konuşlandırılabilirler [11]. Artan derinliğe göre konuşlandırma esnasında zorluklarla karşılaşılır. Sığ sularda, sualtı duyargalarının dalgıçlar ve çeşitli cihazlar vasıtasıyla istenilen bölgelere yerleştirilmesi sağlanırken derin sularda bu yöntemler uygulanamaz hale gelmektedir. Ayrıca çok derin sularda mevcut yöntemlerin kullanılması uygulamanın maliyetini de arttırmaktadır. Buna karşı kullanılabilecek bir yöntem, sualtı duyargaların su yüzeyinden bırakılması olabilir. Su yüzeyinden duyargaların atılmasından, sığ sularda kullanılacak uygulamalar için de yararlanılabilir. Fakat artan derinlikten dolayı duyargaların deniz dibindeki yerleşim yerleri, konuşlandırılması istenen yerlere göre daha fazla sapmalar oluşturur. Ayrıca sualtı akıntıları ve deniz dibindeki bazı engellerden dolayı bu sapmalar daha da artabilir. Birbirlerinin kapsama alanları dışına düşen duyargaların haberleşememesinden dolayı, algılanması istenen olaylar, duyargalar tarafından tespit edilmesine rağmen kontrol merkezine ulaştırılamamasına neden olur. Bu yüzden duyargaların konuşlandırılmasının mümkün olduğunca kontrol altında tutulması planlanır. Sualtı uygulama alanının çok geniş olması kontrolün sağlanmasını zorlaştıran bir faktördür. Sualtı duyurga sayısının arttırılması ile karşılaşılan zorlukların kısmen önüne geçilebilse de bunun maliyeti arttırıcı etkisi vardır. Gelişen teknolojiyle sualtı duyargalarının ortalama \$10000 olan fiyatlarının oldukça düşürülmesi ile duyurga sayıları uygulamalarda arttırılabilir [10]. Su yüzeyinden çeşitli yöntemlerle bırakılabilecek sualtı duyargaları deniz dibine çeşitli

dağılımlara uygun olarak düşerler. Bunlardan düzgün ve Gauss dağılım, karşılaşılabilecek en sık dağılımlardan bazılarıdır. Bu çalışmada düzgün ve Gauss dağılımlara göre konuşlandırılan sualtı duyurga ağlarında, bahsi geçen dağılım çeşitlerinin, ağ performansına etkileri incelenecektir.

Sualtı duyurga ağlarda duyurgalarının konuşlandırılması, tüm ağda veri paketlerinin iletilmesi için gerekli olan tüm gücü etkileyen önemli bir faktördür. Kullanılacak yönlendirme algoritmasına göre, her veri iletimi sonunda duyurgalarda belirli iletim gücü harcanır. Veri paketlerinin geçide ulaşırken geçtikleri her duyurgalardan güç çekmeleri, sualtı duyurga ağında kullanılan veri yollarının çok fazla duyurga üzerinden geçmeyecek şekilde oluşturulmalarını gerektirir. Ayrıca pratikte sualtı duyurgalarının bataryalarının değiştirilememesi, yapılan uygulamanın süresini artırmak, duyurgaların ömrünü uzatmakla (enerjisinin daha verimli ve daha az kullanmak) olacaktır.

Bir duyurganın konumu, uygulamanın yapılacağı alan üzerinde, algılanması planlanan olaylara yakın olmalıdır. Bir duyurga, ilgilenilen olayı eğer kapsama alanı içerisindeyse algılayabilir. Dolayısıyla duyurgaların konuşlandırılması maksimum olayın algılanması yönünde olmalıdır. Aynı zamanda duyurgaların birbirleriyle olan mesafeleri veri mesajlarının geçide iletilebilmesi için de önemlidir. Birbirlerinin kapsama alanı dışındaki duyurgalar, veri iletimini sağlayacak haberleşme kanallarını kuramazlar. Bu koşul da, duyurga mesafesinin çok uzun olmamasını gerektirir. Bir yandan olayların daha fazla algılanabilmeleri için duyurgaların maksimum alanı kaplayacak şekilde konumlandırılmaları istenirken diğer yandan artan mesafeden dolayı duyurgalar arası iletim kanallarının sayısının azaltılmaması gereklidir.

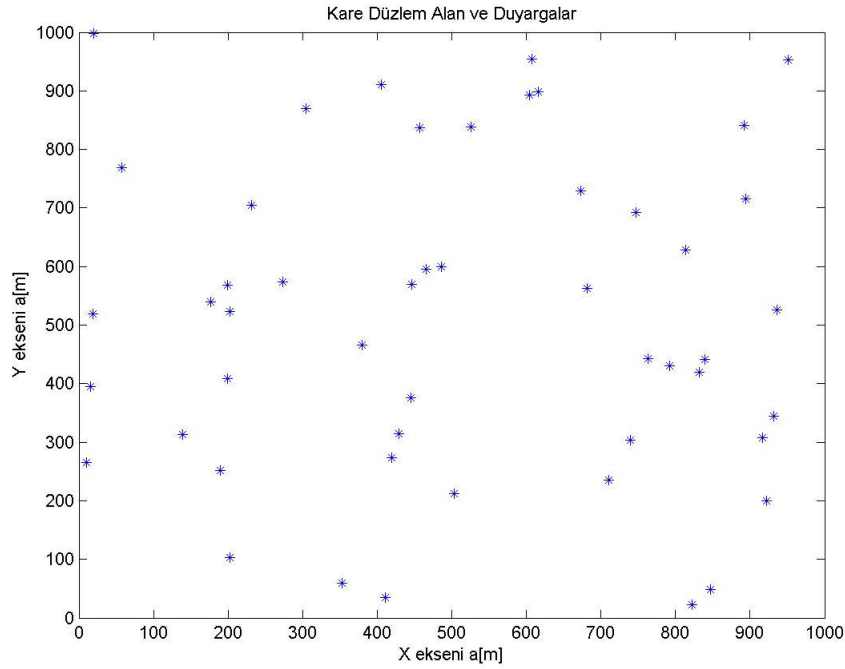
Sonuç olarak duyurga konuşlandırılması, olayların tespitinin olabilecek en yüksek değere çıkarmak ve duyurga ağlarındaki kullanılan gücün en düşük seviyeye indirmek ve duyurgalarının enerjilerinin mümkün olduğunca en az kullanılması için bir optimizasyon problemine dönüşür.

Yapılan çalışmada duyurga konuşlandırma çeşitlerinin, belli olaylar sonrasında, duyurga enerjilerine ve veri paketlerinin iletilirken duyurga ağında kullanılan toplam güce nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Bununla beraber veri yol uzunluğunun (bir paketin kaç duyurga üzerinden giderek geçide ulaştığı), konuşlandırma çeşitlerine göre etkileşimi incelenmiştir. Ayrıca belirli olaylar karşısında, konuşlandırma

çeşitlerinin, duyargalarının olayları tespit edebilme olasılıklarına etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre alternatif bir yöntem önerilmiş, bu yöntemin sualtı duyarga ağındaki iyileştirmeleri üzerinde durulmuştur.

3.1 Yöntem ve Yaklaşımlar

Bir sualtı duyarga ağı belirli bir alanı kapsar. Modelleme yapılırken, duyarga ağının alanı belli yaklaşımlara göre alınır. Sualtındaki alan pratikte engebeler, çukurlar, çeşitli bitki örtüleri, kayaçlı yapılar ile kaplıdır. Dolayısıyla alanın modellenmesi oldukça zorlaşır. Kolaylık olması için, sualtı duyarga ağı kuş bakışı ile düzlem bir kare alan olarak düşünülebilir. Şekil 3.1’de kuşbakışı düzlem bir kare alan ve bu alan üzerindeki duyargalar gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kuşbakışı Düzlem Kare Alan ve Duyargalar

Sualtı duyarga alanı A , $a \times a$ boyutlarında olup $a^2 \text{ m}^2$ 'dir. Bu alana n tane duyarga çeşitli şekillerde yerleştirilebilir. Örneğin konuşlandırma sonucunda duyargaların konumları düzgün, Gauss gibi dağılımlara uyabilir.

Bir duyarganın konumu, X ve Y eksenlerinde bir değerden oluşur. Yani (x,y) olarak gösterilen bir duyarganın konumu X ekseninde x , Y ekseninde y noktalarının kesişim yeridir. Daha önceden bahsedildiği gibi eksenlerdeki noktalar çeşitli dağılımlara

uyabilirler. Bu çalışmada duyarga konumlarının düzgün ve Gauss dağılımlarına uygun olduğu kabul edilmiştir.

Düzgün dağılımın iki boyuttaki yoğunluk fonksiyonu (3.1) denklemi ile verilmiştir [18].

$$f(x, y) = \frac{1}{(b-a)(c-d)}, a \leq x \leq b, c \leq y \leq d \quad (3.1)$$

(3.2) denkleminde ise Gauss dağılımının iki boyuttaki yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir [18].

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-1/2(((x-\mu_1)/\sigma_1)^2 + ((y-\mu_2)/\sigma_2)^2)} \quad (3.2)$$

μ_x : x'nin beklenen değeri

σ_x : x'in standart sapması

μ_y : y'nin beklenen değeri

σ_y : y'in standart sapması

Duyargaların konum bilgileri düzgün ve Gauss dağılımlarına göre farklı matrisler üzerinde tutulabilir. D_D matrisinde düzgün dağılımlı duyargaların konumları, D_G matrisinde ise Gauss dağılımlı duyargaların konum bilgileri vardır.

$$D_D = \begin{bmatrix} D_D(1,1) & D_D(1,2) \\ \vdots & \vdots \\ D_D(n,1) & D_D(n,2) \end{bmatrix}_{nx2}$$

$D_D(i,1)$: i. duyarganın x eksenindeki yeri [m]

$D_D(i,2)$: i. duyarganın y eksenindeki yeri [m]

$$D_G = \begin{bmatrix} D_G(1,1) & D_G(1,2) \\ \vdots & \vdots \\ D_G(n,1) & D_G(n,2) \end{bmatrix}_{nx2}$$

$D_G(i,1)$: i. duyarganın x eksenindeki yeri [m]

$D_G(i,2)$: i. duyarganın y eksenindeki yeri [m]

Duyargalar, R yarıçaplı kapsama alanlarına sahiptirler ve kapsama alanı içerisindeki duyargalar ile komşuluk kurabilirler. Bir duyarga komşu duyargaları üzerinden veri paketlerini yollayabilir. Dolayısıyla komşuluk şartı (3.3) eşitsizliğiyle verilir.

$$\sqrt{(D_i(i,1) - D_j(j,1))^2 + (D_i(i,2) - D_j(j,2))^2} \leq R \quad (3.3)$$

Komşuluk matrisi K ,

$$K = \begin{bmatrix} K(1,1) & \cdots & K(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K(1,n) & \cdots & K(n,n) \end{bmatrix}_{n \times n}$$

olmak üzere;

$K(i,j)=1$ ise i . ve j . duyargalar arasında komşuluk vardır,

$K(i,j)=-1$ ise i . ve j . duyargalar arasında komşuluk yoktur.

Sualtı duyarga ağı üzerinde çeşitli analizler yapmak için olayların oluşturulması gerekir. Bu olaylar sabit tutularak performans ölçümleri yapılmıştır. Olaylar E matrisi içinde tutulmuştur.

$$E = \begin{bmatrix} E(1,1) & E(1,2) & E(1,3) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E(e,1) & E(e,2) & E(e,3) \end{bmatrix}_{e \times 3}$$

e : olay sayısı.

$E_i(i,1)$: i . olayın adı

$E_i(i,2)$: i . olayın x eksenindeki yeri [m]

$E_i(i,3)$: i . olayın y eksenindeki yeri [m]

Bir olay bir duyarga tarafından tespit edilebilmesi için olayın duyarganın kapsama alanı içinde olması gerekir. Dolayısıyla bir olayın algılanma şartı;

$$\sqrt{(E_i(i,2) - D_j(j,1))^2 + (E_i(i,3) - D_j(j,2))^2} \leq R \quad (3.4)$$

olarak verilir. Burada i . olayı j . duyarga yukarıdaki koşulu sağlarsa algılamaktadır. T_D matrisinde i . olayı tespit eden düzgün dağılıma göre konuşturulmuş duyargalar tutulur.

$$T_D = \begin{bmatrix} T_D(1,1) & \cdots & T_D(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_D(e,1) & \cdots & T_D(e,n) \end{bmatrix}_{exn}$$

T_D matrisinin i . satırı, i . olayı tespit eden duyargaları verir.

T_G matrisinde ise i . olayı tespit eden Gauss dağılıma göre konuşlandırılmış duyargalar tutulur.

$$T_G = \begin{bmatrix} T_G(1,1) & \cdots & T_G(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_G(e,1) & \cdots & T_G(e,n) \end{bmatrix}_{exn}$$

T_G matrisinin i . satırı, i . olayı tespit eden duyargaları verir.

P matrisinde ise duyargaların mevcut güçleri tutulur.

$$P = [P(1) \quad \cdots \quad P(n)]_{1 \times n}$$

$P(i)$: i . duyarganın gücü [W].

Her duyarganın bir paket iletimi için harcaması gereken güç P_{paket} ile verilir.

Duyarga ağında, olaylar sonucu oluşan veri paketlerinin iletimi sırasında minimum enerjinin kullanılması istenir. Konuşlandırmanın veri iletimi için gereken toplam güç ile yakından ilişkilidir.

Bir duyarganın, geçide ulaşırken üzerinden geçtiği duyargalar o duyargaya ilişkin veri yolunu oluşturur. Yol matrisi Y ,

$$Y = \begin{bmatrix} Y(1,1) & \cdots & Y(n,1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y(1,n) & \cdots & Y(n,n) \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$n \times n$ 'lik bir matristir ve i . satırı sırasıyla i . duyarganın geçide gitmesi gereken duyargaları tutar. Açıkça görüleceği üzere bir yolun maksimum uzunluğu duyarga sayısına eşittir. Yol matrisi $n \times n$ olmakla beraber bir yolun maksimum uzunluğu n olabilir. Daha kısa yollar için matrisin satırlarındaki geçit duyargasından sonraki diğer değerleri sıfırdır. i . duyargadan çıkan paketin, geçide varması için geçit ve o duyarga dahil üzerinden gitmesi gereken duyarga sayısı,

$$Y_{-i} = \sum_{j=1}^k 1, \quad k = maks(k) \text{ ve } Y(i, k) \neq 0 \text{ için} \quad (3.5)$$

koşulunca verilir. Y_{-i} , i. duyarganın yol uzunluğunu vermektedir.

Bir yoldan giden paketin duyargalardan çekeceği güç, bir paketin yollanması için gereken iletim gücü ile yolun uzunluğunun çarpımına eşittir. Her paket iletimi için duyargalardan belli bir güç çekilir. [6]. i. duyargadan çıkan bir paketin duyarga ağından çektiği toplam güç,

$$Y_{-P_i} = (Y_{-i}) \times P_{paket} \quad (3.6)$$

(3.6) denklemince verilir. Y_{-P_i} , i. duyargadan çıkan paketin duyargalarda harcanmasına neden olan toplam güçtür.

Duyarga ağından olaylar oluştuğundan sonra duyargalarda harcanacak toplam güç,

$$P_{toplami} = \sum_{j=1}^{m_i} Y_{-P_{T-D(i,j)}} \quad (3.7)$$

olarak (3.7) formülünce verilir. Burada T_D matrisi bir olayın oluşmasından sonra onu algılayabilen düzgün dağılıma göre konuşlandırılan duyargaları tutar. Dolayısıyla i. olay sonunda duyarga ağından çekilen toplam güç, olayı algılayan duyargaların veri paketlerini geçide yollamasıyla harcanan güce eşittir. (3.7)'de verilen m_i i. olayı tespit edebilen duyarga sayısını vermektedir.

Düzgün dağılıma göre konuşlandırılan duyargalardan e olay sonunda çekilen toplam gücü;

$$P_{toplamdüzgün} = \sum_{i=1}^e P_{toplami} \quad (3.8)$$

(3.8) denklemini verir.

Sualtı duyarga ağındaki toplam başlangıç gücünün olaylar sonrası harcanan güce oranıyla yüzdesel olarak harcanan güç $V_{düzgün}$ ise,

$$V_{düzgün} = \frac{P_{toplamdüzgün}}{P_{başlangıç}} \times 100 \quad (3.9)$$

(3.9) formülünce bulunur.

Gauss dağılımına göre konuşlandırma sonucu i. olay sonunda duyarga ağında harcanan toplam güç $P_{toplami}$ (3.7) formülüne benzer şekilde (3.10) formülünde verilmiştir. Gauss dağılımına göre harcanan toplam güç P_{gauss} , (3.11) formülü ve harcanan yüzdesel güç V_{gauss} ise (3.12) formülünde verilmektedir.

$$P_{toplami} = \sum_{j=1}^{m_i} Y - P_{T-G(i,j)} \quad (3.10)$$

$$P_{toplamgauss} = \sum_{i=1}^e P_{toplami} \quad (3.11)$$

$$V_{gauss} = \frac{P_{toplamgauss}}{P_{başlangıç}} \times 100 \quad (3.12)$$

En az toplam güç çeken dağılım çeşidi D 'nin, duyargaların konuşlandırılmasında kullanılması planlanır (3.13).

$$\min(V_{düzgün}, V_{gauss}) \quad (3.13)$$

Sualtı duyarga ağlarının ömrünü etkilen diğer bir husus, bir olay olduğu zaman tetiklenen duyarga sayısıdır. Tetiklenen duyarga sayısının minimum olması, daha az veri paketi yollanması dolayısıyla tercih edilir. Düzgün dağılıma göre maksimum tetiklenen duyarga sayısı $maksD_{S_{düzgün}}$,

$$maksD_{S_{düzgün}} = maks\left(\sum_{j=1}^k 1\right), \quad k = maks(k) \text{ ve } T_{-D}(i,k) \neq 0 \text{ için} \quad (3.14)$$

(3.14) koşulunca bulunur. Dolayısıyla (3.14), olaylar olduğunda, düzgün dağılıma göre konuşlandırılıp tetiklenen maksimum duyarga sayısını vermektedir. Benzer şekilde (3.15) ise Gauss dağılımına göre konuşlandırılma yapıldığında maksimum tetiklenen duyarga sayısı $maksD_{S_{gauss}}$,

$$maksD_{S_{gauss}} = maks\left(\sum_{j=1}^k 1\right), \quad k = maks(k) \text{ ve } T_{-G}(i,k) \neq 0 \text{ için} \quad (3.15)$$

olarak bulunmaktadır.

En küçük değere sahip olan dağılım çeşidi, hangi dağılım çeşidinin seçilmesinde etkilidir. Seçilecek dağılım çeşidi olan D ,

$$\min(maksD - S_{düzgün}, maksD - S_{gauss}) \quad (3.16)$$

(3.16) koşulunca bulunur.

Yol uzunluğunun kısa olması, paket gönderilimi için gerekli olan gücü azaltacağından tercih sebebidir. Gauss ve düzgün dağılım sonucu oluşan yolların en kısa olanı seçilmelidir.

$$\min(maks(Y_i)) \quad (3.17)$$

(3.17) koşulunca düzgün ve Gauss dağılıma göre oluşan maksimum uzunlukta yollar karşılaştırılıp en kısa olanı seçilir. Burada i , sırasıyla düzgün ve Gauss dağılımı temsil eder.

Sualtı duyarga ağında her veri paketi geçide geleceğinden geçidin gücü diğer duyargalara göre daha fazla azalır. Dağılım çeşitleri arasından geçit enerjisini en az kullanan seçilmelidir.

$$maks(P_{düzgün}(1), P_{gauss}(1)) \quad (3.18)$$

(3.18) karşılaştırmasında, $P(1)$ geçit duyargasının gücünü göstermektedir. Geçit duyargasının olaylar sonrasındaki enerjisi ile ilk enerjisinin oranıyla yüzdesel olarak kullanılan enerji hesap edilebilir. (3.19) düzgün dağılım sonucunu verirken (3.20) Gauss dağılım sonucunu verir.

$$V_{geçit, düzgün} = \frac{P_{düzgün}(1)}{P_{başlangıç}(1)} \quad (3.19)$$

$$V_{geçit, gauss} = \frac{P_{gauss}(1)}{P_{başlangıç}(1)} \quad (3.20)$$

Tercih edilen dağılım çeşidi,

$$\min(geçitkullanım_{düzgün}, geçitkullanım_{gauss}) \quad (3.21)$$

(3.21) karşılaştırması ile belirlenir.

Olaylar sonunda tetiklenen toplam duyarga sayısı, duyarga ağında kullanılan gücü etkileyen diğer bir faktördür ve olayların minimum sayıda duyargayı tetiklemesi istenir (3.24). $toplamlamT_D$ ve $toplamlamT_G$, olaylar sonunda tetiklenen toplam duyarga sayısını göstermek üzere,

$$toplamlamT_D = \sum_{i=1}^e \sum_{j=1}^{m_i} 1 \quad (3.22)$$

$$toplamlamT_G = \sum_{i=1}^e \sum_{j=1}^{m_i} 1 \quad (3.23)$$

m_i , T_D ve T_G matris satırlarının sıfırdan farklı olan bileşen sayısını verir. Minimum tetiklenen duyarga sayısına göre yapılacak karşılaştırma,

$$\min(toplamlamT_D, toplamlamT_G) \quad (3.24)$$

(3.24) ile verilmektedir.

Toplam tetiklenen duyarga sayısının olay sayısına oranıyla bir olay sonrasında ortalama tetiklenen duyarga sayısı hesaplanır. Sırasıyla (3.25) ve (3.26) düzgün ve Gauss dağılım için kullanılacak formüllerdir. Olay başına ortalama en düşük sayıda tetiklenen duyarga sayısını veren dağılım tercih sebebidir (3.27).

$$ortT_D_{düzgün} = \frac{toplamlamT_D}{e} \quad (3.25)$$

$$ortT_G_{gauss} = \frac{toplamlamT_G}{e} \quad (3.26)$$

Sırasıyla $ortT_D_{düzgün}$ ve $ortT_G_{gauss}$ düzgün ve Gauss dağılıma göre ortalama tetiklenen duyarga sayısını göstermektedir. Tercih edilen dağılım çeşidi,

$$\min(ortT_D_{düzgün}, ortT_G_{gauss}) \quad (3.27)$$

(3.27) koşulu ile verilmektedir.

Sualtı duyarga ağlarında uygulamaya yönelik olarak olayların tespit edilmesi çok önemlidir. Tespit edilemeyen olay sayısını minimum yapan konuşlandırma çeşidinin seçilmesi bu bakımdan daha uygundur (3.28).

$$\min(tespitsizolay_{düzgün}, tespitsizolay_{gauss}) \quad (3.28)$$

$tespitsizolay_{düzgün}$ ve $tespitsizolay_{gauss}$, sırasıyla düzgün ve Gauss dağılıma göre konuşlandırma yapıldığında tespit edilemeyen toplam olay sayısını verirler. Toplam olay sayısına göre yüzdesel değerler düzgün ve Gauss dağılımına göre sırasıyla (3.29) ve (3.30) formüllerince bulunur.

$$ortalamatespitsizolay_{düzgün} = \frac{tespitsizolay_{düzgün}}{e} \quad (3.29)$$

$$ortalamatespitsizolay_{gauss} = \frac{tespitsizolay_{gauss}}{e} \quad (3.30)$$

Ortalama olarak en düşük tespit edilemeyen olayı veren dağılım seçilmelidir (3.31).

$$\min(ortalamatespitsizolay_{düzgün}, ortalamatespitsizolay_{gauss}) \quad (3.31)$$

Duyargalar her düzgün ve Gauss dağılıma göre yerleştirildiklerinde farklı yerlerde bulunabilirler. Bu nedenle, istatistiksel olarak değer vermek daha önemlidir. Yapılan çalışmada Monte Carlo yöntemi gereğince duyargalar 100 kere düzgün ve Gauss dağılıma göre konuşlandırılmış, çıkan sonuçların ortalaması ve standart sapması alınarak yukarıda bahsi geçen karşılaştırmalar hesaplanmıştır.

3.2 Dijkstra Yönlendirme Algoritması

Sualtı duyarga ağlarındaki temel problemten biri daha önceden de bahsedildiği üzere sınırlı enerjidir. Sualtı coğrafik koşullarından dolayı, duyarga enerji gereksinimi için güneş enerjisi gibi alternatif kaynaklar kullanmak imkansızdır. Ayrıca yine duyargaların sualtında olmaları nedeniyle (uygulamaya göre kilometrelerce aşağıda), duyargalara erişim imkanı olmamaktadır. Dolayısıyla duyarga enerjilerini olabilecek en az seviyede kullanmak gerekmektedir. Sualtı duyarga ağında kullanılması planlanan yöntemler, protokoller ve uygulamalar özellikle enerji kısıdını dikkate alabilecek şekilde olmalıdır.

Sualtı duyarga ağlarında kullanılması gereken yönlendirme algoritmalarının, enerjinin duyargalar arasında nasıl kullanıldığını hesaba katacak şekilde olmalıdır. Böylelikle enerjisi azalan duyargalar yerine daha fazla enerjisi olan duyargalar

kullanılarak sualtı duyarga ağının ömrü arttırılabilir. Duyarga enerjilerinin hesaplamalarda kullanılmaması ile bazı duyargalar konuları itibariyle diğer duyargalara göre daha fazla kullanılabilirler. Genellikle veri paketlerinin geçiş noktaları üzerinde bulunan bu duyargaların aşırı kullanılmaları nedeniyle, enerjileri diğer duyargalarinkine oranla daha hızlı tükenir.

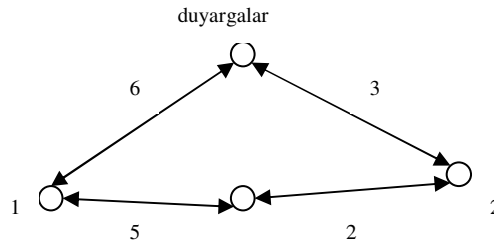
Duyargalarının diğer duyargaların enerji bilgilerine sahip oldukları durumda, duyarga ağ ömrünün nasıl değiştiğinin incelenmesi gerekmektedir. Duyarga ağ ömrü, önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere duyarga enerjileriyle yakından ilgilidir. Eğer duyargaların enerjileri tükenirse, herhangi bir bilgi aktarımı yapılamayacağı için duyarga ağının işlevselliği de biter. Bu nedenle duyargaların enerjilerinin mümkün olduğunca korunması gerekir.

1959 yılında Edsger Dijkstra tarafından tasarlanan Dijkstra algoritması, birbirleriyle komşuluk kuran noktalar arasındaki yol değerlerini (“cost”) kullanarak iki nokta arasındaki en kısa yolu bulmaya çalışır. Yol değerleri negatif olmayan sayılardır. Dijkstra algoritması, iki nokta arasındaki olabilecek tüm yolların toplam değerlerine bakarak en kısa değerli olan yolu seçen bir algoritmadır. Dijkstra algoritması kullanılmadan önce her komşu nokta arasındaki (bu çalışmada duyargalar) yola bir değer verilir. Algoritmanın kullanılırken aşağıdaki adımlar kullanılır.

- Hangi duyargaların birbirleriyle komşuluk kurduğunu gösteren komşuluk matrisi (D_D, D_G) oluşturulur.
- Gezilen duyargaların (C) ve mevcut duyargayı gösteren bir değişken (u) oluşturulur.
- Başlangıç değeri olarak tüm gezilen duyarga sayısı aynı sayıya atanır (örneğin -1).
- Mevcut duyargayı gösteren değişken (u) geçit duyargası olarak ayarlanır.
- Bu duyarga gezilen olarak işaretlenir.
- Bu duyargaya komşu olan duyargaların yol değerleri, yol matrisi D'ye yazılır.
- En kısa değerli yol üzerinde komşu duyargaya gidilir ve bu duyarga gezilen olarak işaretlenir.
- Son iki adım tüm duyargaların gezilme işlemi bitene kadar devam eder.

- Sonuç olarak bir duyargadan diğer bir duyargaya hangi duyargalar üzerinden giderek toplam kaç yol değeri ile gittiği bulunur.

Bu çalışmada Dijkstra algoritması kullanılarak duyargaların geçide doğru yolları hesaplamaları sağlanmıştır. Duyargalar optimal yolu Dijkstra algoritmasıyla seçerlerken komşuluk değerlerini kullanırlar. Eğer bir duyargaya iki alternatif yol var ise bu yolların en küçük değeri olanı optimal yol olarak alınır. Şekil 3.3’de 1 numaralı duyargadan 2 numaralı duyargaya iki tane alternatif yol vardır. Bu yolların değerleri üstteki yol için $6+3=9$, alttaki yol için $5+2=7$ ’dir. Dijkstra algoritmasına göre optimal yol en küçük değeri olan alttaki yoldur. Dolayısıyla 1 numaralı duyarga, 2 numaralı duyargaya alttaki yolu kullanarak paket iletimi yapar.



Şekil 3.3: Dijkstra Algoritması için Örnek Duyarga Komşulukları

Duyargalar geçide nasıl gideceklerini belirlemek için Dijkstra algoritmasını kullanırlar. Dijkstra algoritmasında komşuluk değerlerinin kullanıldığı daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir.

Bu çalışmada iki duyarga arasındaki komşuluk değerleri C komşuluk değer matrisinde tutulur.

$$C = \begin{bmatrix} C(1,1) & \cdots & C(n,1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C(1,n) & \cdots & C(n,n) \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$C(i,j)$: i. duyarga ve j. duyarga arasındaki komşuluk değerini verir.

$$C(i, j) = \frac{10000}{(P(i) + P(j))/2} \quad (3.32)$$

Bu çalışmada duyargaların komşu duyargalarının mevcuttaki güçlerini bildikleri taktirde komşuluk değerini, kendi ve komşularının güçlerinin ortalamasını alarak

belirlerler. Dijkstra algoritmasının en düşük değerli yolu seçmesi dolayısıyla, hesap edilen bu değer, ortalama başlangıç güç değeri olan 10000W'a bölünür (3.32).

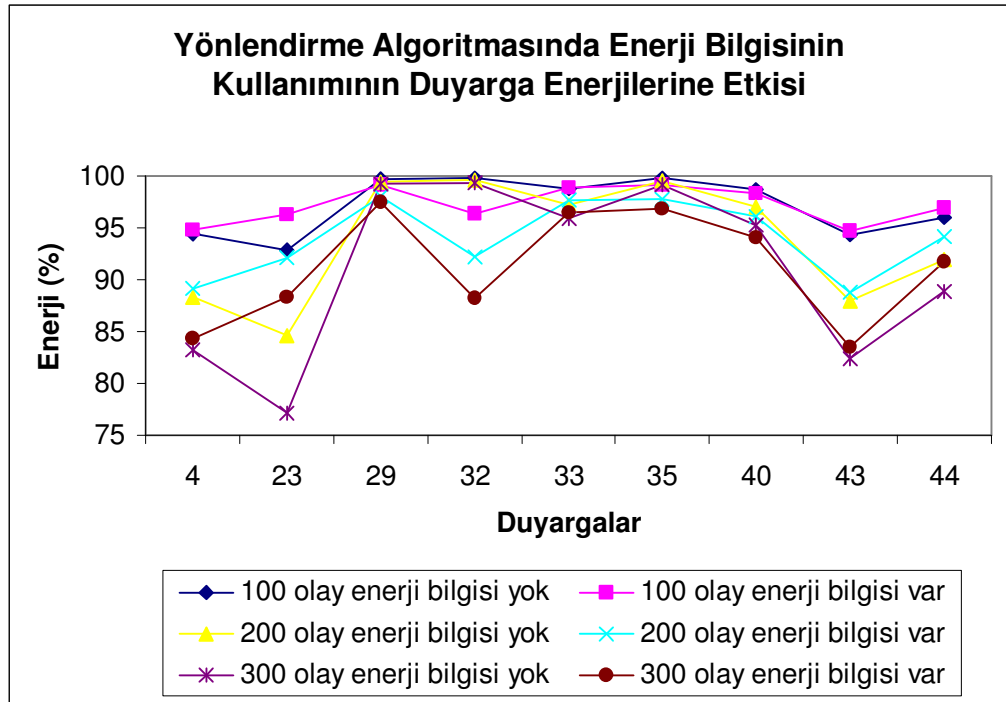
Her olay sonunda, olayları tespit eden duyargalar veri iletimine başlarlar. Veri iletiminden sonra yol üzerindeki duyargaların enerjilerinde azalma olacaktır. Bu çalışmada bir sonraki olay olmadan, duyargaların diğer duyargaların enerjileri durumlarını öğrendikleri kabul edilmiştir. Bu bilgiye göre de duyargaların tekrar Dijkstra algoritmasını çalıştırarak yeni yollarını hesap ettikleri varsayılır.

Şekil 5.1'deki düzgün dağılıma göre konuşlandırılan duyargaların konumları incelendiğinde, duyargaların konumlarının, duyargalar arası oluşan komşulukları nasıl etkilediği görülmektedir. Bu dağılımda, kimi duyargalar bazı bölgelerde yoğunlaşmış ve bir çok duyarga ile komşuluk kurmuşlardır. Dolayısıyla merkezdeki bu duyargalar, oluşan yollarda genellikle kullanılmaktadır. 4., 23., 29., 32., 33., 35., 40., 43. ve 44. duyargalar bahsi geçen şekilde olan duyargalardan bazılarıdır. Bu duyargalar üzerindeki güç değerleri, duyarga enerjilerinin bilindiği ve bilinmediği durumlara göre kıyaslanmıştır (Tablo 3.1). Güç değerlerini bilmedikleri durumda duyargaların Dijkstra algoritması ile seçtikleri yol, minimum duyarga üzerinden geçide ulaştıkları yolun aynısı çıkar. Şekil 3.4'de ise aynı sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Enerji Bilgisinin Yönlendirme Algoritmasında Kullanıldığı ve Kullanılmadığı Durumların Bazı Duyargalara Etkisi

(*: enerji bilgisi kullanılarak yapılan yönlendirme sonuçları)

Duyarga No	100 olay*	100 olay	200 olay*	200 olay	300 olay*	300 olay
4	94.82	94.48	89.18	88.32	84.36	83.2
23	96.3	92.86	92.1	84.64	88.3	77.16
29	99.18	99.76	98.1	99.42	97.52	99.22
32	96.38	99.82	92.18	99.64	88.24	99.38
33	98.86	98.78	97.64	97.22	96.5	95.88
35	99.14	99.8	97.78	99.52	96.84	99.16
40	98.32	98.66	96.14	97	94.12	95.28
43	94.68	94.34	88.8	87.94	83.56	82.4
44	96.98	96.06	94.16	91.98	91.76	88.9



Şekil 3.4: Yönlendirme Algoritmasında Enerji Bilgisinin Kullanımının Duyarga Enerjilerine Etkisi

Sonuçlardan görüldüğü üzere enerji bilgisinin duyargalar arasında bilinmesi durumunda, duyargalar yollarını seçerken sürekli aynı duyargalara kullanmazlar. Bu sayede duyargalar üzerindeki enerjiler daha fazla korunur. Örneğin 23 numaralı duyarga, enerji bilgisine sahip olmadan yönlendirme yaptığında, artan olaylar sonrasında duyarganın enerjisi dramatik olarak düşmektedir. Diğer duyargaların enerji bilgisine göre yönlendirme yaptığında enerji korunumu artmaktadır. Yönlendirilmesi gereken paketler diğer duyargalar üzerinden gittiğinden enerjinin duyargalar üzerinde daha verimli kullanılması (az kullanılan duyargaların da kullanılmasıyla) sağlanmaktadır. Tablo 3.1'deki verilere bakıldığında 100 olay sonunda 23 numaralı duyarganın enerjisi, enerji bilgisi kullanılarak yapılan yönlendirmede artarken, 32 numaralı duyarganınki azalmaktadır. Böylelikle enerjinin duyargalar arasında daha dengeli kullanılması sağlanır.

Duyargaların, diğer duyarga enerjilerini bildikleri durumda sualtı duyarga ağında enerji kullanımı daha fazla duyargaya yayılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, konumlarından dolayı çok fazla kullanılan duyargalar korunmaktadır. Duyarga enerjileri böylelikle kısmen de olsa çoğu duyarga tarafından eşit olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin getirdiği iyileştirmeden dolayı, dağılım performansları incelenirken duyargaların birbirlerine enerjilerini öğrettikleri ve

optimal yol seçiminde kullandıkları Dijkstra algoritmasının bu enerjileri (3.32) formülünce verilen şekilde kullandıkları göz önüne alınacaktır.

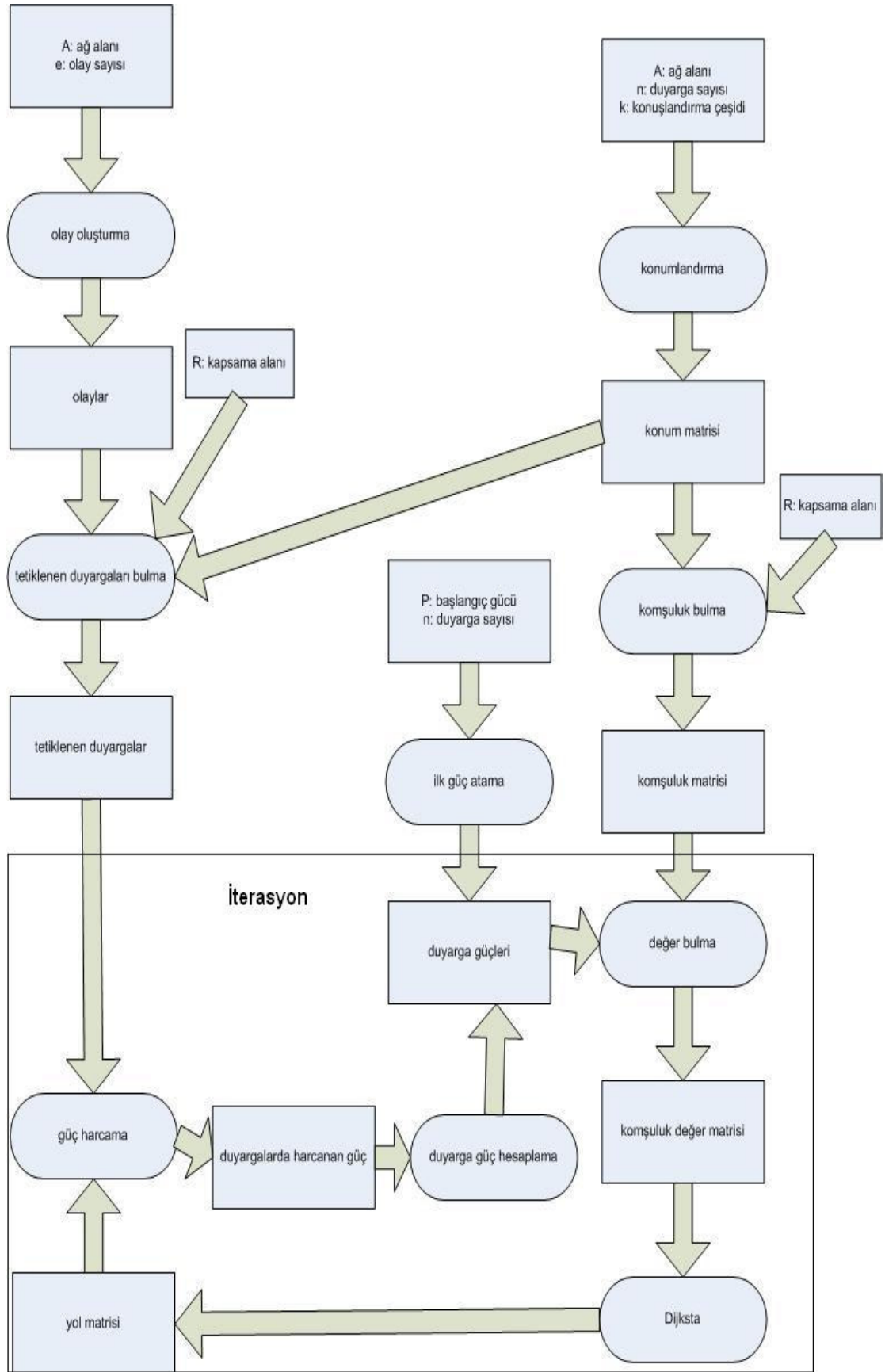
3.3 Algoritma Akışı

Algoritmanın temel adımları aşağıda özetlenmektedir. Daha detaylı adımlar, Şekil 3.4'deki akış diyagramı ile verilmektedir.

- 1- n tane duyarga alan A üzerinde konuşlandırılır,
- 2- e tane olay sırasıyla meydana gelir (olaylar geçit tarafından rasgele belirlenerek sorgulama ile duyargalardan talep edilir),
- 3- her olay sonrasında olayı tespit edebilen duyargalar (geçit tüm duyargaların nerede olduklarını ve ne kadar enerjilerinin kaldığını bildiğinden Dijkstra algoritmasını kullanarak her duyarganın hangi duyargalar üzerinden paketleri yollaması gerektiğini duyargalara öğretir) en yüksek enerjili duyargalar üzerinden geçide yollarını oluştururlar,
- 4- tetiklenen duyargalar veri iletimine başlar,
- 5- oluşan yollar üzerindeki duyargalardan her veri paketi için P_{iletim} gücü harcanır,
- 6- diğer olay meydana gelir ve 3. adımdan itibaren akış sırasıyla devam eder.

Şekil 3.4'de algoritmanın akışını açıklayan temel akış diyagramı verilmiştir.

Şekil 3.4'de verilen akış diyagramı, yapılan çalışmanın temel adımlarını göstermektedir. Buna göre, duyarga ağ alanının boyutları, duyargaların sayısı, duyargaların kapsama alanı, olay sayısı, analizi yapılacak sualtı duyarga ağ yapısı algoritma çalıştırılmadan önce belirlenerek giriş değerleri olarak atanır. İlk adım olarak sualtı duyarga ağ yapı çeşidine göre duyargalar, sualtı duyarga alanına konuşlandırılırlar. Her duyarga arasındaki mesafe ölçümleri yapılarak kapsama alanı değerine göre komşuluk oluşturup oluşturamayacakları bulunur. Komşuluk matrisinde her duyarganın, diğer duyargalarla oluşturduğu komşuluk bilgisi tutulur. Duyarga konuşlandırma bilgisinin geçit tarafından bilindiği farz edilir. Ayrıca geçidin duyarga başlangıç güçlerini ilk konuşlandırma sırasında öğrendiği kabul edilir.



Şekil 3.4: Akış Diyagramı

İkinci adım olarak algılanması istenen olaylar oluşturularak sualtı duyarga ağı alanındaki yerleri, olaylar matrisine yerleştirilir. Olaylar geçit tarafından rasgele bir nokta seçilerek oluştuğu varsayılır. Her olayının konum bilgisi, duyargaların konumlarıyla karşılaştırılarak olayların hangi duyargalar tarafından algılanabileceği tespit edilir. Her olaya karşı tetiklenen duyargaların bilgisi tetiklenen duyargalar matrisinde tutulur. Olaylar oluşturulurken olayların nerede olacağının önceden bilinmeyeceği öngörülerek sualtı duyarga ağında rasgele oluşacakları göz önüne alınmıştır.

Üçüncü adımda her duyargaya başlangıç enerji değerleri atanmaktadır. Bu değerler duyarga güçleri matrisindedir. Dördüncü adımda önceden belirlenen e tane olaya karşı gelen tetiklenen duyargalar sırasıyla çağrılmaktadır. Geçit, diğer duyargaların enerji bilgilerini dikkate alıp Dijkstra algoritmasını kullanarak geçide hangi duyargalar üzerinden gitmeleri gerektiğini sorgu mesajı ile bildirir ve veri yollarını oluşturur. Her duyarganın, bir tane algıladığı olay hakkında veri paketi oluşturacağı planlanmıştır. Dolayısıyla ilgili olayı algılayabilen duyargalar birer tane veri paketi oluşturarak geçide doğru bu veriyi iletirler. Veri paketi yolu üzerindeki tüm duyargalar veri iletiminde rol oynayacağından bu duyargalar belirli bir güç harcarlar. Harcanan güç ilgili duyargalardan çıkarılarak duyarga güçleri matrisi güncellenir. Beşinci adımda, dördüncü adım tekrarlanarak tüm olayların oluşması sağlanır. Olaylar sonrası daha önce anlatılan değerlendirme kriterleri hesaplanır. Algoritma sonunda her sualtı duyarga ağı yapı çeşidine göre değerlendirme kriterleri hesaplanmış olur.

4. IZGARA YAPISI

Sualtı duyurga ağıları uygulamalarında, sualtı duyurgalarının konuşlandırılacağı alan çok geniş olabilmektedir. Belirli sayıda olan duyurgaların konuşlandırılması, uygulama alanını maksimum kapsayacak şekilde olmalıdır. Böylelikle önceden yerleri tam olarak bilinemeyen, algılanması istenen olayların tespit edilebilme olasılıkları arttırılır. Bunu yapabilmenin bir yolu, sualtı duyurgalarının düzenli aralıklarla yerleştirilerek uygulama alanını bölmektir. Bu konuşlandırma şekli, ızgara yapısını meydana getirir. Izgara yapısında her sualtı duyurgası arasında belirli bir mesafe (önceden hesaplanan bir değer) vardır.

Sualtı duyurga ağı için öncelikle bir arazi yapısı seçilir. Bu çalışmada engebesiz düzlem bir alanda sualtı duyurga ağının oluşturulduğu varsayılmıştır. Düzlem alan 1000 m^2 boyutunda bir kare alan olarak düşünülmüştür.

$$A=1000m \times 1000m =1km^2$$

A: alan.

Duyurgaların 200m yarıçaplı bir alanı kapsama alanları içine alabilecekleri düşünülmüştür [6].

$$R=200m$$

R: duyurga kapsama alanı yarıçapı

Çalışmada 50 tane duyurga üzerinden analizler yapılmıştır.

$$n=50$$

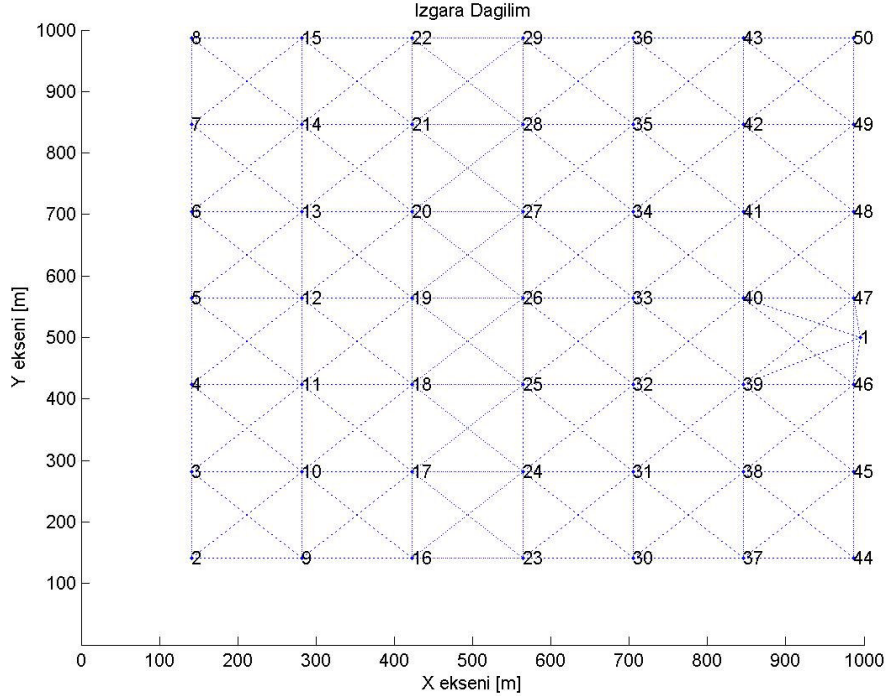
n: duyurga sayısı

Çalışmada 100 olay oluşturulmuştur.

$$e=100$$

e: olay sayısı

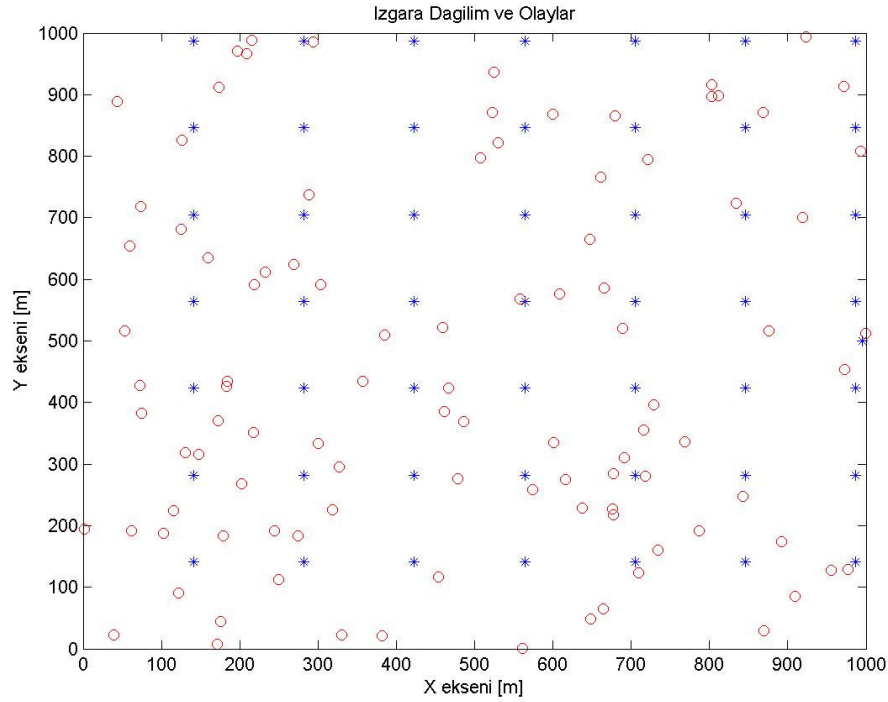
Duyarga sayısı tüm analizlerde karşılaştırma yapılabilmesi için sabit tutulmuştur. Izgara yapısına göre sualtı duyargalar konuşlandırıldığında Şekil 4.1 gösterilen yapı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.1: Izgara Yapısı ve Oluşan Komşuluklar

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere sualtı duyargaları belirli mesafelerle konuşlandırılmıştır. Bir duyarga kapsama alanı R 'nin 200m mesafesinden ötürü oluşan komşuluklar 50 duyarga için Şekil 4.1'de verildiği gibi çıkmaktadır. Bu yapıya göre sualtı duyargalar, 200m'lik kapsama alanlarıyla uygulama alanı üzerindeki tüm olayları tespit edebilirler. İdeal bir durum olan ızgara yapısını pratikte oluşturmak oldukça zordur. Birbirleri ile 141 m mesafe olan duyargaları bu denli hassas konuşlandırmak daha önceki bölümlerde belirtilen sebeplerden ötürü pratikte imkansızlaşır. Dolayısıyla duyarga konumlarının düzgün ve Gauss dağılımına uyduğu diğer yapıların incelenmesi gereklidir.

Şekil 4.2'de ızgara yapısında meydana gelen olaylar ve sualtı duyargalar gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Izgara Yapısı ve Olaylar (Olaylar o, duyargalar ise * olarak verilmiştir)

Bölüm 3 de verilen ve hangi yapının seçilmesi gerektiğine yardım eden hesaplamalar aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Izgara Yapısı Değerlendirme Sonuçları

		Izgara Yapısı
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama güç yüzdesi	%0.9608
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	8
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	7
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%10.08
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	5.04
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%0

Tablo 4.1'de, üçüncü bölümde ızgara yapı için yapılması gereken değerlendirmeler bulunmaktadır. Şekil 4.2'den görülebileceği gibi düzgün dağılıma uygun olarak meydana gelen olaylar duyargaların kapsama alanlarında bulunmaktadır. Dolayısıyla tüm olaylar algılanabilmektedir. Tablo 4.1'deki birinci değerlendirme tüm olayların olmasından sonraki sualtı duyarga ağında kullanılan toplam güç yüzdesini vermektedir. 100 olay sonucu oluşturulan tüm veri paketlerinin gönderilmesi, sualtı ağ enerjisinin %0.9608 kullanılmasını gerektirmektedir.

İkinci değerlendirme her hangi bir olay için tetiklenen maksimum duyarga sayısını vermektedir. Olaylar sonucu tetiklenen duyarga sayısı, duyargaların konumlarıyla yakından ilgilidir. İdeal durumda bir olay sonucu tetiklenen duyarga sayısının az olması beklenir. Böylelikle aynı veri içerikli paketlerin sualtı duyarga ağında gereksiz yere iletilmesi önlenir. 100 olay sonucunda bir olay sonucu tetiklenen maksimum duyarga sayısı sekizdir ve 50 duyarga için bu değer %16'dır. Yani yaklaşık olarak bir olay meydana geldiğinde duyargaların maksimum %16'sı tetiklenecektir.

Üçüncü değerlendirmede geçit ile duyargalar arası oluşan yolların maksimum uzunlukta olanı verilmiştir. çok uzun yolların olması bir veri paketinin geçide giderken üzerinden geçtiği duyarga sayısını arttırdığından, duyargaların enerjilerini daha çabuk harcayacak bir etki yapar. Izgara yapısında oluşan en uzun yol 7 olarak çıkmıştır.

Dördüncü değerlendirme ile geçit enerjisine bakılır. Geçit duyargası, kontrol merkezi ile duyargalar arasında geçit görevi yaptığından enerjinin daha verimli kullanılması gerekir. Fakat konumu ve görevi itibarıyla en fazla kullanılan duyarga geçittir. Tüm veri paketleri geçide geldiğinden en fazla iletim gücü harcayan duyarga geçittir. Izgara yapısında 100 olay sonucu geçidin enerjisi %10.08 azalmaktadır.

Beşinci değerlendirmede tüm olaylar sonucu tetiklenen toplam duyarga sayısı incelenmektedir. Toplam olay sayısına göre yüzde değeri hesaplanmıştır. Dolayısıyla %5.04 değeri, bir olay sonucu tetiklenen ortalama duyarga sayısına karşılık gelir.

Altıncı değerlendirme ile tespit edilemeyen olay sayısı incelenmiş ve ızgara yapısında bu değer sıfır olarak bulunmuştur. Daha önceden açıklandığı üzere ızgara yapısındaki duyarga konumlarının düzenli ve duyargaların tüm alanı kapsayacak şekilde yerleştirilmeleri bu sonucun alınmasını sağlamıştır.

5. DÜZGÜN DAĞILIMLI YAPI

Izgara yapıda olduğu gibi düzgün dağılımlı yapıda da kare düzlem bir alan üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. 1km²lik kare alan, 200m kapsama alanı, 50 tane sualtı duyargası düzgün dağılımlı yapıda değiştirilmeyen parametrelerdir.

$$A=1000m \times 1000m = 1km^2$$

A: alan.

$$R=200m$$

R: duyarga kapsama alanı yarıçapı

$$n=50$$

n: duyarga sayısı

$$e=100$$

e: olay sayısı

Duyargalar düzgün dağılıma uyacak şekilde göre konuşlandırılmıştır.

Düzgün dağılıma göre duyargalar konuşlandırılırken, duyarga alanının x ve y eksenlerindeki duyarga konumları düzgün dağılımdan yararlanılarak oluşturulduğunda (denklem (3.1)), a=0, b=1000, c=0 ve d=1000 olduğundan iki boyutlu yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$f(x, y) = \frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000}, 0 \leq x, y \leq 1000$$

Kapsama alanı yarıçapı R olmak üzere komşuluk şartı (3.3) eşitsizliğinden

$$\sqrt{(D_i(i,1) - D_j(j,1))^2 + (D_i(i,2) - D_j(j,2))^2} \leq 200$$

Bir olayın algılanma şartı (3.4) eşitsizliğince;

$$\sqrt{(E_i(i,2) - D_j(j,1))^2 + (E_i(i,3) - D_j(j,2))^2} \leq 200$$

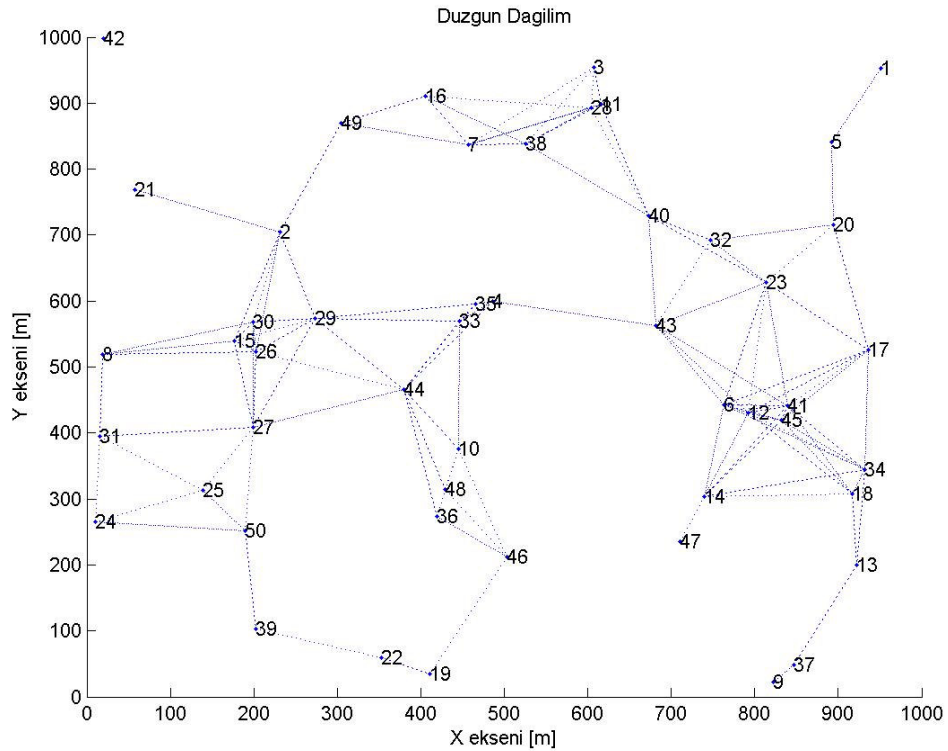
olarak verilir. Burada i. olayı j. duyarga yukarıdaki koşulu sağlarsa algılamaktadır.

Duyargalar bir veri paketinin iletimi için yaklaşık 2W güç kullanırlar [6]. Duyargalarının başlangıçta 10000W güce sahip oldukları düşünülmüştür. P matrisinde duyargaların mevcut güçleri tutulur.

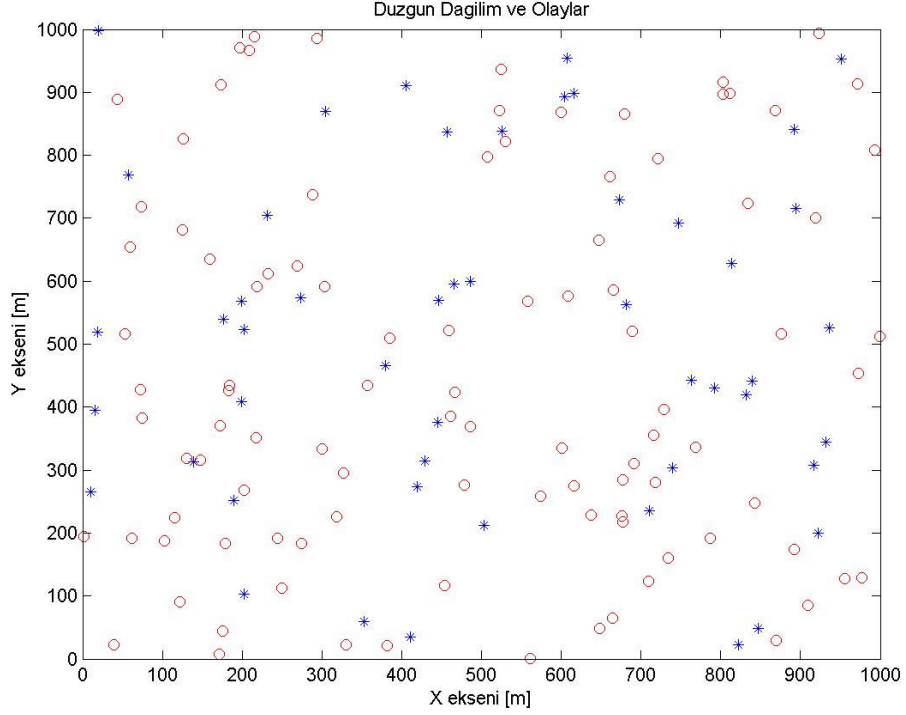
$$P = [P(1) \ \dots \ P(n)]_{1 \times n}$$

$P(i)$: i. duyarganın gücü [W].

Aşağıdaki Şekil 5.1’de düzgün dağılıma göre konuşlandırılan 50 adet duyarganın sualtı duyarga ağındaki komşulukları gösterilmiştir. Şekil 5.2’de ise düzgün dağılıma göre konuşlandırılan 50 adet sualtı duyargaları ve olaylar gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Düzgün Dağılıma Göre Duyargaların Komşulukları



Şekil 5.2: Düzgün Dağılıma Göre Konuşlandırılan Duyargalar ve Olaylar
(Olaylar o, duyargalar ise * olarak verilmiştir)

Üçüncü bölümde belirtilen değerlendirmeler düzgün dağılımlı yapı için hesap edildiğinde Tablo 5.1'e deki değerler elde edilmiştir. Sonuçların daha gerçekçi olması için düzgün dağılıma göre yapılan duyarga konuşlandırılması 100 kere yapılmış, üçüncü bölümdeki değerlendirmeler hesaplanarak aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır.

Düzgün dağılıma uygun olarak konuşlandırılan sualtı duyargaları, uygulama alanını kaplayacak şekilde yayılırlar. Uygulama alanına yayılım nedeniyle duyargalardan iletilen veri paketlerinin geçit duyargasına gidebilmek için daha fazla duyarga üzerinden geçmesi gerekir. Veri iletimi nedeniyle kullanılan duyarga sayısının artması nedeniyle, olaylar sonrasında harcanan güç daha fazla olmaktadır.

Düzgün dağılıma uygun olarak konuşlandırılan sualtı duyargaları, uygulama alanını kaplayacak şekilde yayılırlar. Uygulama alanına yayılım nedeniyle duyargalardan iletilen veri paketlerinin geçit duyargasına gidebilmek için daha fazla duyarga üzerinden geçmesi gerekir. Veri iletimi nedeniyle kullanılan duyarga sayısının artması nedeniyle, olaylar sonrasında harcanan güç daha fazla olmaktadır

Tablo 5.1: Düzgün Dağılımı Yapı Değerlendirme Sonuçları

		Düzgün D. Yapı (Ortalama)	Düzgün D. Yapı (standart sapma)
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama güç yüzdesi	%1.235	0.255
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	10.96	1.53
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	10.28	1.94
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%10.393	0.55
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	5.196	0.27
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%1.11	1.51

Tablo 5.1’de verilen birinci değerlendirmeye göre tüm olaylar sonucu duyarga ağının %1.235’lük enerjisi harcanmaktadır. Bu değer ızgara yapısında değere göre daha fazladır. Bu neden olan bir sebep, düzgün dağılıma uyan yapıda olaylar sonucu tetiklenen duyargaların sayısının daha fazla olmasıdır. Ayrıca bu yapıda oluşan yollar, ızgara yapısındaki yollara göre daha uzun olmaktadır. Böylelikle veri iletimi sırasında kullanılan duyarga sayıları artmakta bu da enerjinin düzgün dağılımlı yapıda daha fazla kullanılmasına neden olmaktadır.

İkinci değerlendirmede, düzgün dağılımlı yapıda ortalama maksimum tetiklenen duyarga sayısı 10.96’dır. Bu değer ızgara yapıda 8 olarak bulunmuştur. Izgara yapıya göre düzgün dağılımlı yapıda maksimum tetiklenen duyarga sayısının daha fazla çıkmasının nedeni düzgün dağılımlı yapıda duyargaların kümeleşme göstermeleridir. Izgara yapıda tüm duyargalar, belirli aralıklarla konuşlandırıldığından kümeleşme durumu gözükmez.

Üçüncü değerlendirmede, maksimum ortalama yol 10.28 olarak hesaplanmıştır. Düzgün dağılımındaki saçılmadan dolayı yol uzunluğu ızgara yapıya göre artmaktadır.

Dördüncü değerlendirmeye göre olaylar sonucunda geçit enerjisinin %10.393’ü kullanılmıştır. Izgara yapıda geçit enerjisinin kullanım oranı %10.08 idi. Düzgün dağılımlı yapıda ortalama ve maksimum tetiklenen duyarga sayılarının fazla

olmasından dolayı veri paketlerinin gönderim sayısı artma göstermiş ve geçidin daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Böylelikle geçit enerjisi, ızgara yapıya göre daha fazla enerji harcamaktadır.

Beşinci değerlendirme, bir olay başına tetiklenen ortalama duyarga sayısının 5.196 olduğunu söylemektedir. Düzgün dağılımdaki hafif kümeleşmeden dolayı bu değer ızgara yapıdakine göre daha fazladır.

Altıncı değerlendirmede, tespit edilemeyen ortalama olay sayısının yüzdesi %1.11 olarak verilmektedir. Düzgün dağılımdaki saçılma nedeniyle bu değer ızgara yapısındaki gibi düşük çıkmıştır. Izgara yapısında belirli aralıklarla konuşlandırma sebebiyle tespit edilemeyen olay sayısı sıfırdır.

6. GAUSS DAĞILIMLI YAPI

Izgara ve üzgün dağılımlı yapıda olduğu gibi Gauss dağılımlı yapıda da kare düzlem bir alan üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. 1km^2 lik kare alan, 200m kapsama alanı, 50 tane sualtı duyargası düzgün dağılımlı yapıda değiştirilmeyen parametrelerdir.

$$A=1000m \times 1000m = 1\text{km}^2$$

A: alan.

$$R=200m$$

R: duyarga kapsama alanı yarıçapı

$$n=50$$

n: duyarga sayısı

$$e=100$$

e: olay sayısı

Duyargalar Gauss dağılıma uyacak şekilde göre konuşlandırılmıştır.

Kapsama alanı yarıçapı R olmak üzere komşuluk şartı (3.3) eşitsizliğinden

$$\sqrt{(D_i(i,1)-D_j(j,1))^2 + (D_i(i,2)-D_j(j,2))^2} \leq 200$$

Bir olayın algılanma şartı (3.4) eşitsizliğince;

$$\sqrt{(E_i(i,2)-D_j(j,1))^2 + (E_i(i,3)-D_j(j,2))^2} \leq 200$$

olarak verilir. Burada i. olayı j. duyarga yukarıdaki koşulu sağlarsa algılamaktadır.

Duyargalar bir veri paketinin iletimi için yaklaşık 2W güç kullanırlar [6]. Duyargalarının başlangıçta 10000W güce sahip oldukları düşünülmüştür. P matrisinde duyargaların mevcut güçleri tutulur.

$$P = [P(1) \quad \dots \quad P(n)]_{1 \times n}$$

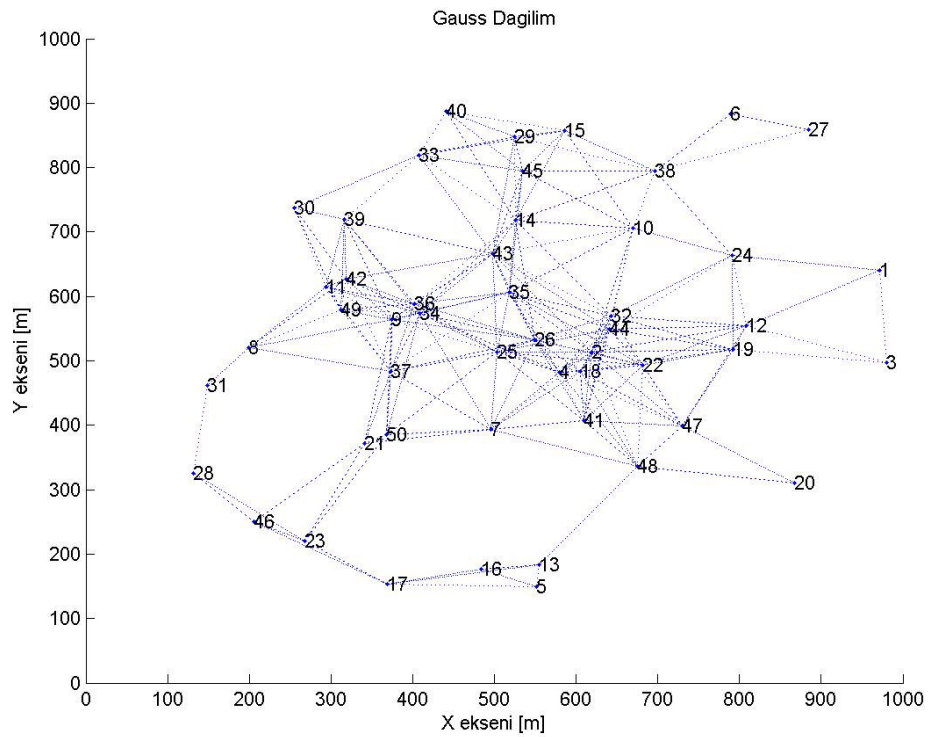
$P(i)$: i. duyarganın gücü [W].

Gauss dağılımının iki boyutlu yoğunluk fonksiyonu denklem (3.2)'den

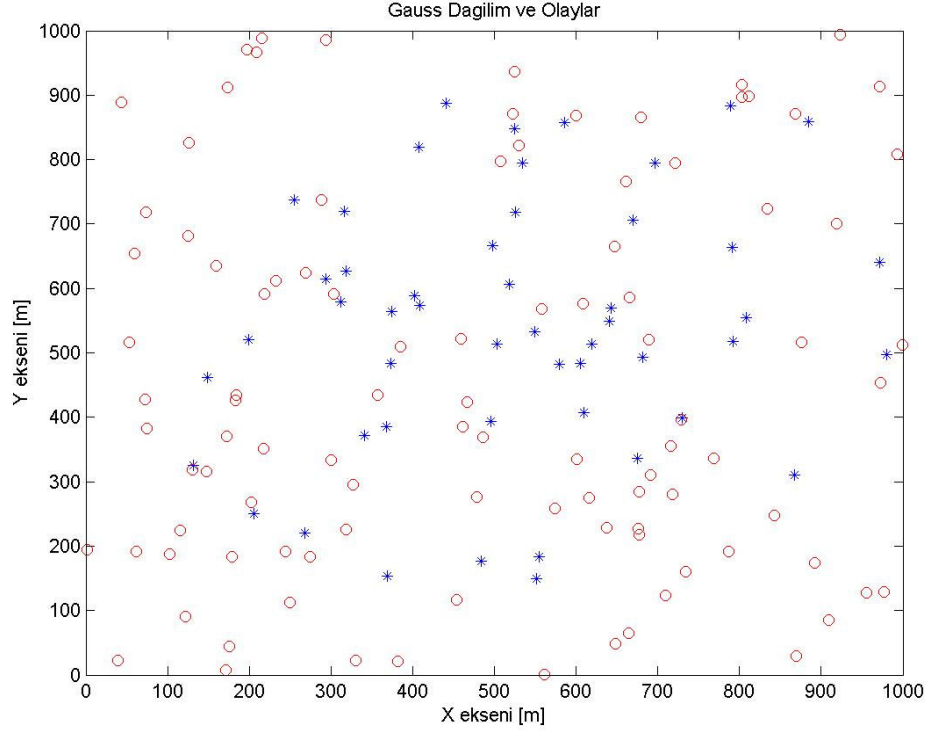
$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \times 225 \times 225} e^{-1/2((x-500)/225)^2 + ((y-500)/225)^2}$$

olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada $\mu_1 = \mu_2 = 500$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 225$ olarak alınmıştır.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'da ise Gauss dağılımına göre konuşlandırılan duyarga komşulukları ve duyarga ve olayların sualtı duyarga ağında nasıl konumlandıkları sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Gauss Dağılıma Göre Duyargaların Komşulukları



Şekil 6.2: Gauss Dağılıma Göre Konuşlandırılan Duyargalar ve Olaylar
(Olaylar o, duyargalar ise * olarak verilmiştir)

Şekil 6.1'den rahatça görüleceği üzere Gauss dağılımlı yapıda duyargalarının konumları merkezde yoğunlaşmaktadır. Standart sapmanın değerine göre duyargaların merkezden kenar bölgelere yayılmaları değişmektedir. Gauss dağılımından dolayı duyargalarda genel olarak kümeleşme yapısı görülmektedir. Kenar bölgelerde seyrek olan duyargalar nedeni ile kenar bölgelerdeki olayların tespit edilmesi zorlaşır. Ayrıca merkezdeki yoğun duyarga sayısı nedeniyle merkez bölgede meydana gelen bir olayı tespit eden duyarga sayısı bahsi geçen diğer yapılardakine oranla daha fazladır. Bu nedenle aynı veri içerikli paketlerin sualtı duyarga ağını daha fazla işgal ederler. Bununla birlikte merkezdeki yoğun duyarga konuşlandırması nedeniyle bir duyarga, daha fazla sayıda duyarga ile komşuluk kuracaktır. Bu sebeple oluşan yolların uzunluğu, düzgün dağılımlı yapıya göre daha kısa olmaktadır. Ayrıca fazla komşuluk nedeniyle bir duyarga, her olay sonucu geçide göndereceği veri paketi için kullanacağı yolu değiştirebilir. Yani her zaman aynı duyarga üzerinden veri paketini yollamayabilir. Bu durum düzgün dağılımlı yapıda daha zordur. Düzgün dağılımlı yapıda bazı duyargalar konumları itibarıyla çok fazla kullanılabilir.

Aşağıdaki Tablo 6.1’de üçüncü bölümde anlatılan değerlendirme sonuçları Gauss dağılımlı yapı için verilmiştir. Sonuçların daha gerçekçi olması için düzgün dağılıma göre yapılan duyarga konuşlandırılması 100 kere yapılmış, üçüncü bölümdeki değerlendirmeler hesaplanarak aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır.

Tablo 6.1: Gauss Dağılımı Yapı Değerlendirme Sonuçları

		Gauss D. Yapı (ortalama)	Gauss D. Yapı (standart sapma)
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama güç yüzdesi	%1.024	0.142
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	17.79	2.543
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	7.66	0.923
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%10.775	0.591
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	5.387	0.295
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%9.07	3.872

Tablo 6.1’deki birinci değerlendirmede, tüm olaylar olduktan sonra sualtı duyarga ağında kullanılan enerji % 1.024’tür. Bu değer, ızgara ve düzgün dağılımlı yapılardaki değerlerden daha düşüktür. Bunun sebebi, Gauss dağılımlı yapıda kümeleşme nedeniyle daha kısa yollar üzerinden verilerin geçide ulaştırılmasıdır. Ayrıca yine kümeleşme nedeniyle kenar bölgelerdeki algılanamayan olaylar sonucu veri paketleri oluşturulmamış, dolayısıyla da iletim gücü harcanmamıştır.

İkinci değerlendirme, bir olay sonucu tetiklenen maksimum duyarga sayısının Gauss dağılımlı yapıda ortalama 17.79 olduğunu belirtir. Bunun nedeni, Gauss dağılım nedeniyle merkezde duyarga kümeleşmesi görülmesi ve bu bölgede meydana gelen bir olayın birçok duyarga tarafından algılanmasıdır.

Üçüncü değerlendirmede, maksimum uzunlukta yollun 7.66 olduğu belirtilir. Kümeleşme nedeni ile merkezde yoğunlaşan duyargalar komşulukları sayesinde az duyarga üzerinden geçide ulaşabilirler. Bu da yolların daha kısa olmasını sağlar.

Dördüncü değerlendirme, tüm olaylar sonucunda geçit enerjisinin %10.775'nin kullanıldığını göstermektedir. Bu değer, ızgara ve düzgün dağılımlı yapıdaki değerden daha fazladır. Yani Gauss dağılımlı yapıda geçit daha fazla kullanılır. Bunun nedeni ise kümeleşmeden dolayı olay başına ortalama tetiklenen duyurga sayısının daha Gauss dağılımlı yapıda daha fazla olmasıdır.

Beşinci değerlendirme, olay başına ortalama tetiklenen duyurga sayısını 5.387 olarak göstermektedir. Bu değer, diğer iki yapıda göre daha yüksek olup nedeni Gauss dağılımının getirdiği kümeleşme yapısıdır.

Altıncı değerlendirmede, tespit edilemeyen olay sayısı tüm olayların %9.07'si kadardır. Merkezi kümeleşmeden dolayı kenar bölgelerdeki olayların tespit edilebilme olasılığı dramatik bir biçimde düşmektedir.

7. SÜPER DUYARGALI YAPI

Düzgün ve Gauss dağılımlı yapılar karşılaştırıldıklarında iki yapının birbirlerine göre üstünlüklerinin olduğu görülür. Aşağıdaki Tablo 7.1’de elde edilen değerler düzgün ve Gauss dağılımlara göre kıyaslanmıştır.

Tablo 7.1: Düzgün ve Gauss Dağılımının Karşılaştırılması

		Düzgün D. Yapı	Gauss D. Yapı
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama güç yüzdesi	%1.23	%1.02
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	10.96	17.79
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	10.28	7.66
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%10.39	%10.77
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	5.19	5.38
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%1.11	%9.07

Tablo 7.1’de düzgün ve Gauss dağılımlarının duyarga ağına olan etkileri görülmektedir. Tablo verileri incelendiğinde bazı durumlarda düzgün dağılımın, bazı durumlarda da Gauss dağılımın ön plana çıktığı görülmektedir.

Birinci karşılaştırmada Gauss dağılımı sonunda duyarga ağında olaylar sonrası paket iletimi için gerekli olan toplam gücün daha az çıktığı görülmüştür. (3.13) gereğinde Gauss dağılımının seçilmesi daha uygun olmaktadır.

İkinci karşılaştırmada düzgün dağılım ile konuşlandırılan duyargaların bir olay sonunda Gauss dağılımındaki konuşlandırmaya göre daha az tetiklendiği görülmektedir. Bu sayede aynı bilgiyi içeren paketlerin ağı daha az işgal etmesi sağlanır. (3.16) gereğince düzgün dağılım daha iyi sonuç vermiştir.

Üçüncü karşılaştırmada maksimum yol uzunluğu düzgün dağılımda bulunmaktadır. (3.17)'a göre Gauss dağılımı bu konuda daha avantajlıdır.

Dördüncü karşılaştırma, geçit enerjilerini dağılımlara göre kıyaslar. (3.21) gereğince düzgün dağılım, Gauss dağılıma göre daha iyi sonuç verir.

Beşinci karşılaştırma, tüm olaylar olduktan sonra, olay başına tetiklenen ortalama duyarga sayılarını verir ve (3.27)'e göre düzgün dağılım, Gauss dağılıma göre daha iyi sonuç verir.

Altıncı karşılaştırma, tespit edilemeyen toplam olay sayısının yüzdesini verir ve (3.31)'e göre düzgün dağılımın seçilmesi gerekir.

Şekil 5.1 ve Şekil 6.1'den rahatça görüleceği üzere düzgün dağılıma göre konuşlandırılan duyargalar, sualtı duyarga alanına Gauss dağılımına oranla daha fazla yayılmaktadır. Gauss dağılımına göre konuşlandırılan duyargalar, sualtı duyarga alanının merkezinde yoğunlaşmışlardır. Yoğunlaşmaya bağlı olarak duyargaların birbirleriyle olan mesafeleri daha kısadır. Bu nedenle Gauss dağılımına göre konuşlandırılan duyargaların birbirleriyle yaptıkları komşuluk sayısı daha fazladır.

Gauss ve düzgün dağılımın birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Düzgün dağılım, duyarga alanına yayılıp daha fazla olayı algılayabilirken, artan duyargalar arası mesafelerden dolayı komşuluk sayısından azalma olur. Geçide ulaşmak için seçilen yollarda daha fazla duyarga üzerinden gidilir. Bu da bazı duyargaların (özellikle merkezde bulunan birçok yol için ortak kullanılan) daha fazla kullanılmasına neden olur. Özellikle bu duyargalar zamanla çevrelerindeki duyargalar için bir köprü vazifesi görmeye başlarlar. Bu nedenle duyarga ağındaki önemleri artmakla beraber fazla kullanılmalarından dolayı enerjileri daha çabuk bitmektedir. Sonuç olarak bu duyargaların enerjilerinin bitmesi geçide uzak olan duyargaların veri iletimini durdurur. Duyarga ağın verimli bir şekilde çalışmasını önler.

Gauss dağılımında ise duyargalar birbirlerine daha yakındır. Azalan mesafe ile kurulan komşuluk sayısı artar. Dolayısıyla düzgün dağılımdakine göre köprü vazifesi gören duyargalar bu yapıda görülmez. Bu da duyarga ağının daha uzun süre veri toplayabileceği anlamındadır. Ayrıca bir duyarga geçide daha az duyarga üzerinden veri paketi yollayarak ulaşır. Daha az duyarganın kullanılması bir olay oluştuğunda

daha az gücün iletim için duyargalar tarafından kullanılması demektir. Fakat duyargaların birbirlerine daha yakın olmaları, bir olayın birçok duyarga tarafından algılanmasına ve aynı veriye sahip paketlerin ağı gereksiz yere yormasına neden olur. Ayrıca her paket geçide gitmek isteyeceğinden, her olay sonunda geçitten paket iletimi (kontrol merkezine doğru) amaçlı çekilen güç artar.

Dağılım çeşitlerinin etkileri incelendiğinde bazı durumlarda düzgün dağılımın daha avantajlı, bazı durumlarda ise Gauss dağılımının daha avantajlı olduğu görülmektedir. Her iki dağılımın avantajlarına sahip olan sualtı duyarga konuşlandırma yöntemlerinin araştırılması gerekir. Bu bölümde, alternatif bir konuşlandırma yöntemi önerilmektedir.

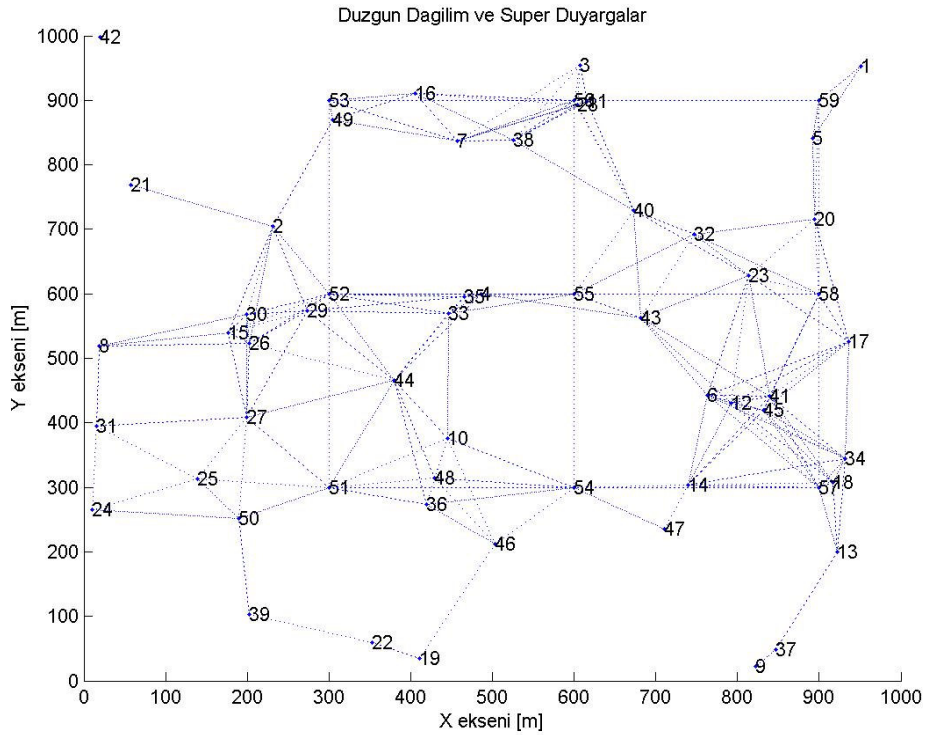
Buraya kadar yapılan analizlerde birbirleriyle aynı özellikte olan duyargalar kullanılmıştır. Duyarga ağının ömrünü artırmak için bu duyargaların bataryalarının güçlendirilmesi gerekir. Fakat bu durum, duyarga sayısının fazla olmasından dolayı, pratikte donanım maliyetlerini arttırıcı etki yapar. Bir duyarga ağında maliyetlerin tasarımı dikkat edilmesi gereken bir faktör olduğundan bahsedilmişti. Dolayısıyla maliyetleri aşırı arttırmadan bir çözüme gidilebilir mi sorusunun araştırılması gereklidir. Yapılan dağılım performans sonuçlarından, Gauss dağılımının sualtı duyarga ağında daha az enerji harcamasına neden olduğu görülmüştür (yaklaşık %17 daha az). Bunun temel sebebi duyarga sıklığından dolayı bir duyarganın daha az duyarga üzerinden veri paketlerini geçide ulaştırması ve merkezdeki kümeleşmeden dolayı daha az oranda olayın tespit edilebilmesidir.

Daha az duyarga üzerinden geçide ulaşmak kapsama alanının daha geniş olmasıyla da alakalıdır. Sualtı duyarga ağ alanının merkez noktalarına, daha geniş kapsama alanına sahip duyargaların eklenmesi herhangi bir duyarganın daha az duyarga üzerinden (merkezdeki yeni duyargalar üzerinden) geçide ulaşmasına neden olur. Merkezdeki bu duyargalar daha fazla kullanılacaklarından enerjilerinin daha yüksek tutulmasında fayda vardır. Kısaca, kapsama alanları daha geniş, enerjileri daha fazla olan “süper duyarga”ların duyarga ağına eklenmesi güç kullanımının daha verimli olmasını sağlayacaktır.

Düzgün dağılım ile konuşlandırılan duyargaların daha fazla olayı tespit edebilmeleri, bir olay sonunda Gauss dağılımındakilere göre daha az sayıda duyarganın tetiklenmesi, geçidin daha verimli kullanılması ve olaylar sonunda tetiklenen toplam duyarga sayısının daha az oluşu düzgün dağılımın avantajlı noktalarıdır. Düzgün

dağılımla konuşlandırılmış sualtı duyarga ağ alanı merkezine süper duyargaların eklenmesi ile Gauss dağılımının avantajlı olduğu yerlerden de yararlanılabilir.

Bu amaçla 50 tane duyargaya sahip duyarga ağına 9 tane süper duyarga daha eklenerek farklı bir topoloji oluşturulur. Süper duyargalar, birbirleriyle eşit mesafede ve alanın merkezinde olacak şekilde yerleştirilirler. Şekil 7.1'deki 51,...,59 numaralı duyargalar süper duyargalar olup kapsama alanları 300m, ilk güçleri 20000W olarak alınmıştır.



Şekil 7.1: Düzgün Dağılım ve Süper Duyargalar

Düzgün ve Gauss dağılımına göre konuşlandırma bölümünde yapılan analizler yeni topoloji için tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Birinci karşılaştırmada, düzgün dağılım sonucu duyarga ağına kullanılan toplam gücün, süper duyargalı yapıda azalmış olduğu görülmektedir (düzgün dağılımlı yapıya göre yaklaşık %30 daha az güç tüketimi). Böylelikle Gauss dağılımlı yapıda elde edilen avantajlı yapı süper duyargalı yapıda daha da iyileştirilmiştir.

Tablo 7.1: Süper Duyargalı Yapı ile Düzgün, Gauss Dağılımlı ve Izgara Yapısının Karşılaştırılması

		Izgara Yapı	Düzgün D. Yapı	Gauss D. Yapı	Süper D. Yapı
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama	%0.96	%1.23	%1.02	%0.85
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	8	10.96	17.79	12.34
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	7	10.28	7.66	7.66
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%10.08	%10.39	%10.77	%12.23
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	5.04	5.19	5.38	6.11
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%0	%1.11	%9.07	%0.48

İkinci karşılaştırmada, süper duyargalı yapının Gauss dağılımlı yapıya göre daha iyi, düzgün dağılımlı ve ızgara yapılarına göre daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonucun en iyi sonuç olan ızgara yapısına yakınsaması için bir yöntem süper duyargaların sadece veri paketi yönlendirilmesinde kullanılmaları, olay tespitinde kullanılmamaları ile sağlanabilir. Böylelikle olay tespitinde kullanılmayan süper duyargaların enerjileri daha fazla korunmuş olacaktır.

Üçüncü karşılaştırmada, süper duyargaların kapsama alanının daha geniş olmasıyla ve daha az duyarga üzerinden geçide ulaşılması nedeniyle süper duyargalı yapı, ızgara yapısına yakın sonuçlar vermiştir.

Dördüncü karşılaştırma, geçidin süper duyargalı yapıda daha fazla kullanıldığını göstermektedir. Bunun sebebi süper duyargaların da olay algılamada kullanılmaları, dolayısıyla daha fazla veri paketi oluşturulmasını sağlamalarıdır. Süper duyargaların sadece yönlendirilmede kullanılmasıyla iyileştirme sağlanacaktır.

Beşinci karşılaştırmada, süper duyargalı topolojide daha fazla duyarganın tetiklendiği görülmektedir. Fakat bu değer duyarga sayısının elliden elli dokuza çıkması nedeniyle ve süper duyargalarında olay tespitinde kullanılmasıyla olmaktadır. Süper duyargaların sadece veri paketi yönlendirilmesinde kullanılmasıyla iyileştirme sağlanacaktır.

Altıncı karşılaştırmada ise süper duyargalı yapıda, en iyi sonuç veren ızgara yapısına oldukça yakın değerlerin alındığı belirtilmektedir.

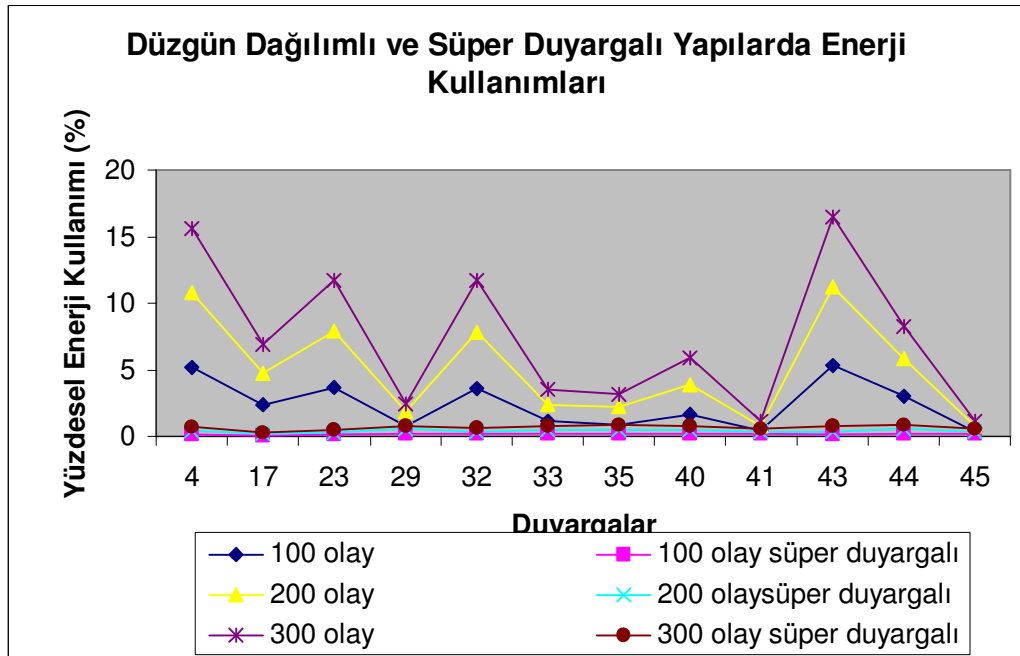
Süper duyargalı yapıda duyargaların kullanım yüzdesini düşürmekle sualtı duyarga ağının ömrü arttırılabilir. Merkez noktalarda konuşturulan süper duyargalar yol seçiminde daha fazla kullanılacakları için diğer duyargalar veri paketi iletimde çok fazla görev almazlar. Böylelikle veri iletimi için harcanan güçten tasarruf sağlanır. Duyargalar bu yapıda genellikle olay algılamada ve oluşturulan ilk veri paketinin iletiminde kullanılırlar. Şekil 7.1’de gösterildiği üzere genellikle bir duyarga direk olarak süper duyargaya paketi yollamaya çalışır. Diğer komşu duyargaları geçide ulaşmak için kullanmayacağından bu duyargaların enerjileri korunmuş olur.

Üçüncü bölümde yönlendirme algoritmasında duyargaların enerjilerinin kullanıldığı durumda duyargaların daha az kullanıldığından bahsedilmişti. Yapılan incelemede 4., 23., 29., 32., 33., 35., 40., 43. ve 44. duyargalar incelenmiş, yönlendirme algoritmasında enerji bilgisinin kullanılması dahilinde duyarga kullanım oranlarının daha birbirlerine daha yakınsadığı gösterilmişti. Şekil 5.1’de görüleceği üzere bu duyargalar genel olarak merkez noktalarda bulunduklarından oluşan birçok yolda kullanılmaktadırlar. Düzgün dağılımlı bir yapıya örnek olan Şekil 5.1’de duyarga yerleşimi, Şekil 7.1’de süper duyargalı yapı haline dönüştürülmüştür. Süper duyargalı yapıda 4., 17., 23., 29., 32., 33., 35., 40., 41., 43., 44. ve 45. duyarga enerjileri düzgün dağılımlı yapıdakine oranla çok daha az kullanılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 7.2’de ilgili duyargaların enerji kullanım oranları düzgün dağılımlı yapı ile süper duyargalı yapıya göre kıyaslanmaktadır. Olay sayısının arttırılması ile duyargaların enerjilerin değişimleri Tablo 7.2’de verilmektedir.

Tablo 7.2 incelendiğinde süper duyargalı yapıdaki duyarga enerjilerinin artan olay sayısında dahi düzgün dağılımlı yapıya göre oldukça az kullanıldığı görülmektedir. Şekil 7.2’de alınan sonuçlar grafiksel olarak gösterilmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre süper duyargalı yapıda, duyargaların enerjileri daha az kullanılmasından dolayı duyarga ağının ömrünün arttırılması sağlanır.

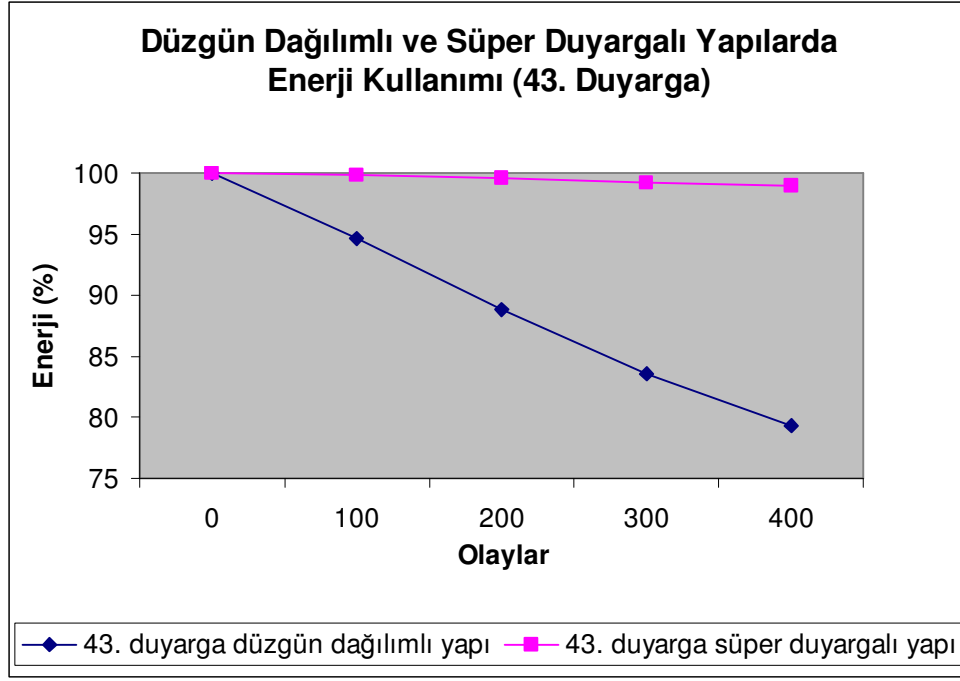
Tablo 7.2: Duyargaların Olay Sayılarına Göre Harcanan Enerjilerinin Yüzdeleri

Duyarga No	100 olay	100 olay*	200 olay	200 olay*	300 olay	300 olay*
4	5.18	0.16	10.82	0.4	15.64	0.74
17	2.4	0.08	4.72	0.22	6.94	0.28
23	3.7	0.14	7.9	0.3	11.7	0.52
29	0.82	0.24	1.9	0.58	2.48	0.78
32	3.62	0.18	7.82	0.36	11.76	0.62
33	1.14	0.18	2.36	0.48	3.5	0.82
35	0.86	0.2	2.22	0.48	3.16	0.84
40	1.68	0.22	3.86	0.48	5.88	0.76
41	0.4	0.18	0.76	0.34	1.12	0.54
43	5.32	0.14	11.2	0.38	16.44	0.8
44	3.02	0.24	5.84	0.54	8.24	0.88
45	0.38	0.2	0.76	0.38	1.16	0.56

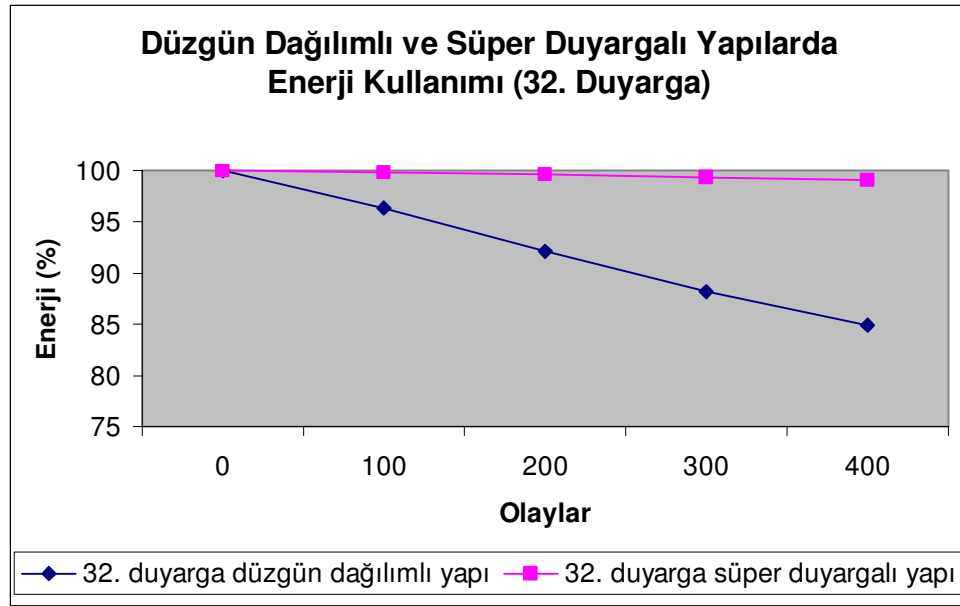


Şekil 7.2: Düzgün Dağılımlı ve Süper Duyargalı Yapılarda
Enerji Kullanım Karşılaştırması

Özellikle 4., 23., 32. ve 43. duyargaların enerji kullanımı süper duyargalı yapıda dramatik olarak düşmektedir. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de 43. ve 32. duyargaların 100, 200, 300 ve 400 olay sonunda enerjilerinin düzgün dağılımlı ve süper duyargalı yapıdaki değişimleri verilmektedir.



Şekil 7.3: 43. Duyarga için Düzgün Dağılımlı ve Süper Duyargalı Yapılardaki Enerji Kullanımları



Şekil 7.4: 32. Duyarga için Düzgün Dağılımlı ve Süper Duyargalı Yapılardaki Enerji Kullanımları

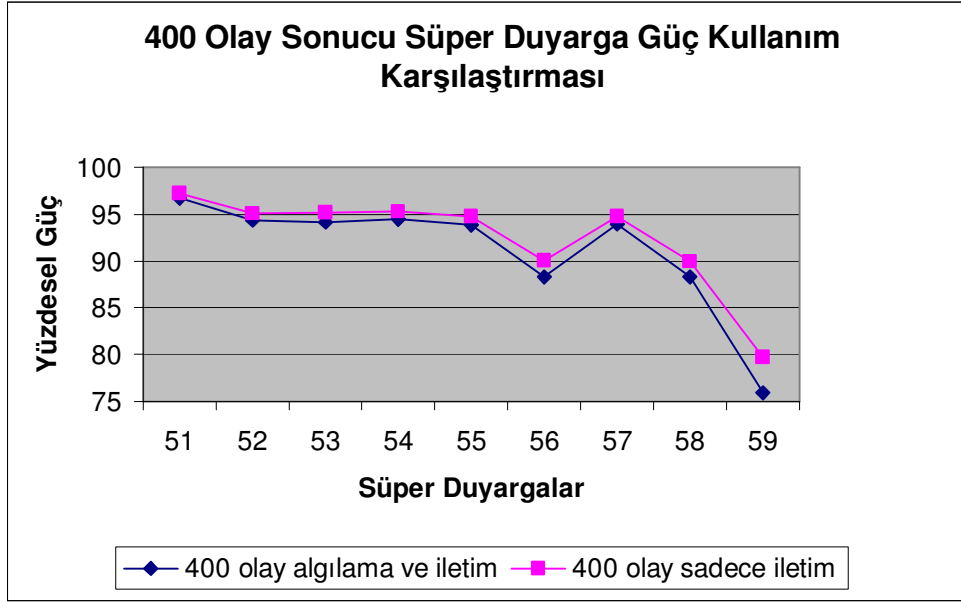
Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'den rahatça görüleceği üzere süper duyargalı yapıda duyargaların enerjileri oldukça az kullanılmaktadır. Böylelikle enerjileri korunan duyargalar, sualtı duyarga ağlarının da dolaylı olarak ömrünü arttırmaktadır.

Tablo 7.1’den görüleceği üzere süper duyargalı yapıda ortalama enerji kullanımı diğer alternatif yapılara göre düşmektedir. Süper duyargaların diğer duyargalara göre daha yüksek enerjilerinden dolayı oluşan yollar, süper duyargalar üzerinden geçecek şekilde oluşmaktadır. Bu sadeye normal duyargaların paket iletimde kullanımları azaltılarak enerjilerinin korunduğu bahsedilmiştir. Veri paketlerinin süper duyargaları kullanarak geçide gitmesi süper duyargaların daha fazla kullanılmasına dolayısıyla da enerjilerinin daha hızlı tükenmesine neden olur. Süper duyargaların enerjilerinin daha az kullanılmasını sağlayacak bir yöntem süper duyargaların sadece paket iletimde görev alması ile sağlanabilir. Tablo 7.2’de süper duyargaların olay tespitinde kullanılmayıp sadece paket iletiminde yararlanıldıklarında alınan sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Süper Duyargaların Sadece Paket İletiminde Kullanılmasının Getirdiği Etkiler

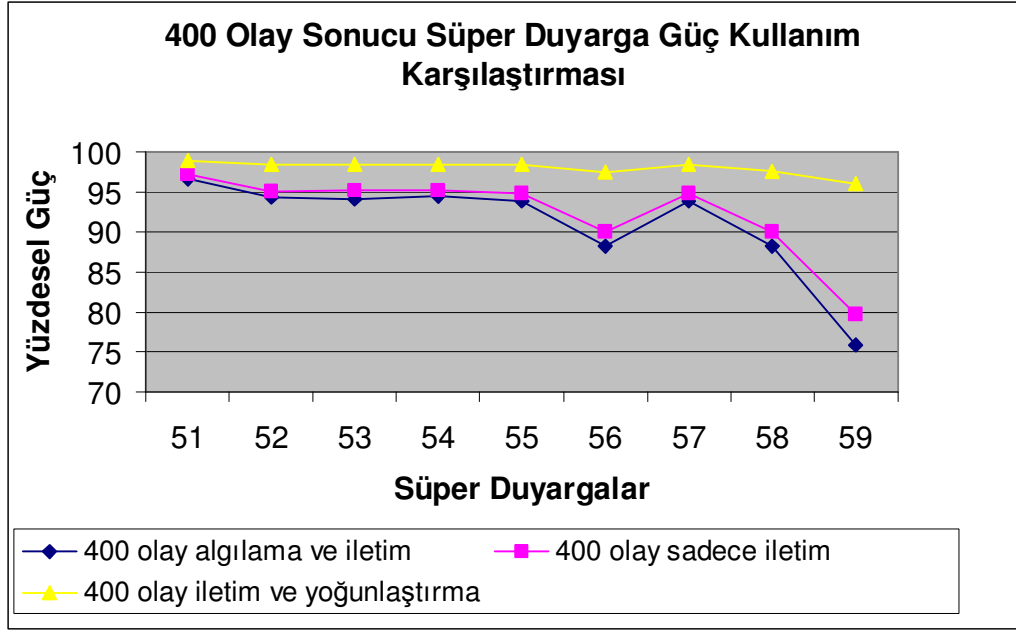
		Süper D. Yapı (Olay ve İletim)	Süper D. Yapı (Sadece)
1	Tüm olaylar sonrasında sistemden çekilen ortalama güç yüzdesi	%0.85	%0.74
2	Bir olaya ilişkin maksimum tetiklenen duyarga	12.34	10.92
3	Maksimum uzunlukta yol (kullanılan duyarga sayısı)	7.66	7.46
4	Geçit duyargasının enerji kullanım yüzdesi	%12.23	%10.33
5	Olaylar sonrasında tetiklenen ortalama duyarga sayısı	6.11	5.16
6	Tespit edilemeyen ortalama olay sayısı	%0.48	%0.63

Süper duyargaların sadece paket iletiminde görev alması ile tüm olaylar sonucu sistemden çekilen ortalama güç yüzdesinde azalma meydana gelmektedir. Bu sayede duyarga ağının ömrü daha da arttırılmaktadır. Olaylar sonrasında tetiklenen duyarga sayısında azalma olduğundan geçide gelen paket sayısındaki düşüş olaylar sonrasındaki geçit enerjisini artırmaktadır. Bununla birlikte tespit edilemeyen olay sayısında çok az bir miktarda artış gözlemlenmektedir. Süper duyargalardan sadece olay tespitinde yararlanılması durumunda enerjilerinin nasıl değiştiği Şekil 7.5 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.5: Süper Duyargalarda Olay Tespitinin Enerjiye Etkisi

Bir olay sonucu tetiklenen her duyarga bir veri paketi oluşturur. Eğer olayı birden fazla duyarga tespit edebilirse aynı veri içeriğine sahip paketlerin iletimi söz konusu olmaktadır. Diğer bir ifade ile aynı bilgiye sahip paketler duyarga ağını gereksiz yere işgal etmektedirler. Bu olumsuzluğu önlemenin bir yolu süper duyargaların gelen paketlerdeki veri içeriğine bakarak iletim yapmalarıdır. Böylelikle bir süper duyargaya gelen birden fazla paket, süper duyargada toplanarak sadece bir paket olarak ağa verilir. İletilen paket sayısı süper duyargalar arasında azalmasından dolayı hem süper duyargalarının paket iletiminde daha az güç harcamalarını sağlar hem de geçide daha az paketin gitmesine neden olur. Şekil 7.6’da süper duyargaların paket yoğunlaştırması (“aggregation”) yapması durumunda süper duyargalardaki enerji değişimleri verilmiştir.



Şekil 7.6: Yoğunlaştırmanın Süper Duyargalarının Enerjilerine Etkisi

Şekil 7.6'dan görülebileceği üzere bir olaya ilişkin paket sayısındaki azalma süper duyargaların enerjinin daha az tükenmesini sağlamaktadır. Paket iletiminde omurga olarak kullanılan süper duyargalardaki enerji korunması nedeni ile duyarga ağının ömrü daha da arttırılmaktadır.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çeşitli yapı analizlerinde duyargaların enerji kullanımlarının duyargaların konuşlandırma biçimleriyle yakından ilişkili olduğu görülmüştür. İdeal yapı olan ızgara yapısının pratikte uygulanamamasından dolayı bu yapıya yakın performans değerleri veren, kolayca uygulanabilen farklı yapıların araştırılması gereklidir. Düzgün ve Gauss dağılımlarına uyacak şekilde sualtı duyargalarının konuşlandırılmaları mümkündür. Fakat iki dağılımın birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Temel olarak düzgün dağılımlı yapıda, olayların çok büyük kısmı (yaklaşık %98.9) algılanmakta, daha az duyarganın tetiklenmesi ile duyargaların ve geçidin enerjileri daha fazla korunmaktadır. Fakat oluşan uzun yollar düzgün dağılımlı yapı için sorun teşkil etmektedir. Daha kısa yollar oluşturan Gauss dağılımlı yapıda ise sualtı duyarga ağından olaylar sonucu daha az enerji çekilmektedir. Bu avantajları aynı anda kullanabilmek için kapsama alanı ve enerjisi daha fazla olan süper duyargalar kullanılabilir. Böylelikle ızgara yapısındaki performans değerlerine yakın sonuçlar alınabilir. Genel olarak incelendiğinde süper duyargalı yapı, düzenli yerleştirilen duyargalardan oluşan ızgara yapısı ile saçılma yöntemiyle dağıtılan duyargalarından oluşan düzgün ve Gauss dağılımlı yapılar arasında bir yerdedir. Süper duyargalı yapının daha da iyi sonuçlar verebilmesi için süper duyargaların sadece veri paketi iletiminde kullanılması, olayların algılanmasında kullanılmaması gerekir. Ayrıca süper duyargaların konumlarından, güçlerinden (Dijkstra algoritması en yüksek enerjili duyargadan gitmeye çalışır) ve kapsama alanlarından dolayı oluşan veri yollarında kullanılırlar. Bir nevi veri paketlerinin toplama noktalarıdır. Bu nedenle sualtı duyarga ağında gereksiz yere aynı bilgi içeriği olan paketlerin dolaşması önlenabilir. Süper duyarga kendisine gelen aynı bilgiye sahip birden fazla veri paketinden sadece bir tanesini geçide doğru yönlendirerek kendisinden sonraki duyargaların enerjilerini koruyabilir.

Yapılan analizler sonucu uygulama alanında az sayıda süper duyarganın önceden tespit edilen merkezi noktalarda konuşlandırılmasının ve süper duyargaların yoğunlaştırma yaparak enerji tüketimini azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca geçidin ilk

konuşlandırma sırasında duyargaları yerlerinin ve ilk enerjilerini bildiği taktirde sadece geçit üzerinde yönlendirme algoritması çalıştırılması ile diğer duyargalar üzerindeki işlem yükü azaltılabilmektedir. Geçidin yolladığı sorgu mesajları içerisinde her duyarganın hangi duyargalar üzerinden verileri yollaması gerektiği bilgisi eklenerek duyargalar üzerinde yönlendirme algoritmasına gerek kalmadan veri iletimi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Akyıldız, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Çayırıcı, E.**, 2002. A survey on sensor networks, *IEEE Communications Magazine*, **40**, 102-114.
- [2] **Akyıldız, I.F., Pompili, D. and Melodia, T.**, 2005. Underwater acoustic sensor networks research challenges, *Ad Hoc Networks*, **3**, 257-279.
- [3] **Akyıldız, I.F., Pompili, D. and Melodia, T.**, 2006. Routing algorithms for delay-insensitive and delay-sensitive applications in underwater sensor networks, *12th Annual International Conference on Mobile Computing And Networking*, Los Angeles, USA, 298-309.
- [4] **Heidemann, J., Ye, W., Wills, J., Syed, A. and Li, Y.**, 2005. Underwater sensor networking research challenges and potential applications, *USC/ISI Technical Report*, **ISI-TR-2005-603**.
- [5] **Shahabudeen, S. and Chitre, M.A.**, 2005. Design of networking protocols for shallow water peer-to-peer acoustic networks, *Oceans 2005*, **1**, 628-633.
- [6] LinkQuest Underwater Acoustic Modems UWM2000 Specifications, *www.linkquest.com*.
- [7] **Partan, J., Kurose, J. and Levine, B.N.**, 2006. A Survey of practical issues in underwater networks, *1st ACM International Workshop on Underwater Networks*, Los Angeles, USA, 17-24.
- [8] **Akyıldız, I.F., Pompili, D. and Melodia, T.**, 2005. Research for underwater acoustic sensor networks, *Ad Hoc Networks*, **3**, 257-279.
- [9] **Al-Ali, A.R., Aji, Y.R., Othman, H.F. and Fakhreddin, F.T.**, 2005. Wireless smart sensors networks overview, *Second IFIP International Conference*, WOCN, March 2005, 536-540.
- [10] **Heidemann, J., Ye, W., Wills, J., Syed, A. and Li, Y.**, 2006. Research challenges and applications for underwater sensor networking, *Wireless Communications and Networking Conference*, WCNC, 228-235.

- [11] **Akyıldız, I.F., Pompili, D. and Melodia, T.,** 2004. Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks, *ACM SIGBED Review*, **1**, 3-8.
- [12] **Karl, H. and Willig, A.,** 2003. A short survey of wireless sensor networks, *TKN Technical Report*, **TKN-03-018**, Berlin.
- [13] **Makhija, D., Kumaraswamy, P. and Rajarshi, R.,** 2006. Challenges and design of mac protocol for underwater acoustic sensor networks, *4th International Symposium Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, April 2006, 1-6.
- [14] **Akkaya, K. and Younis, M.,** 2005. A survey on routing protocols for wireless sensor networks, *Ad Hoc Networks*, **3**, 325-349.
- [15] **Chandrasekhar, V., Seah, W., Choo, Y.S. and Ee, H.V.,** 2006. Localization in underwater sensor networks survey and challenges, *1st ACM International Workshop on Underwater Networks*, Los Angeles, USA, 33-40.
- [16] **Lammle, T., Porter, D. and Chellis, J.,** 1999. Cisco Certified Network Associate Study Guide, Network Press, CA.
- [17] **Jurdak, R., Lopes, C.V. and Baldi, P.,** 2006. Battery lifetime estimation and optimization for underwater sensor networks, *Wiley-IEEE Pres.*
- [18] **Leon, G.,** 1993. Probability and Random Processes for Electrical Engineering, Addison-Wesley.
- [19] **Proakis, J.G., Sözer, E.M., Rice, J.A. and Stojanovic, M.,** 2000. Underwater Acoustic Networks, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **25**, 72-83.
- [20] **Cui, J., Kong, J., Wills, J., Gerla, M. and Zhou, S.,** 2006. Challenges building scalable mobile underwater wireless sensor networks for aquatic applications, *IEEE Network, Special Issue on Wireless Sensor Networking*.
- [21] **Akyıldız, I.F., Sankarasubramaniam, Y. and Çayırıcı, E.,** 2002. Wireless sensor network: a survey, *Computer Networks*, **38**, 393-422.
- [22] **Proakis, J.G., Sözer, E.M., Rice, J.A. and Stojanovic, M.,** 2001. Shallow water acoustic networks, *Communications Magazine*, **39**, 114-119.

ÖZGEÇMİŞ

1982 Kilis doğumluyum. İlkokulu Kilis Cumhuriyet İlkokulu'nda bitirdim. Daha sonra Kilis H.M.K. Anadolu Lisesinde ortaokula devam ettim. Ardından 1997'de Gaziantep V.D. Fen Lisesi'nde lise öğrenimime başlayıp 2000'de mezun oldum. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nde lisans eğitimime başladım. 2005 yılında bu bölümden mezun olup İstanbul Teknik Üniversitesi Telekomünikasyon Bölümünde yüksek lisans eğitimime devam ettim.