

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Doğrusal Kablosuz Sensör Ağlarında İletim Gücü ve Paket Boyutu
Optimizasyonu ile Yaşam Süresi Eniyileme İşlemi ve Güvenilirlik
Değerlendirmesi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Muhammed Fatih ÇARSANCAKLI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Nisan 2021



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Muhammed Fatih ÇARSANCAKLI

İMZA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Doğrusal Kablosuz Sensör Ağlarında İletim Gücü ve Paket Boyutu Optimizasyonu ile Yaşam Süresi Eniyileme İşlemi ve Güvenilirlik Değerlendirmesi

Muhammed Fatih ÇARSANCAKLI

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Bülent TAVLI

Tarih: Nisan 2021

Doğrusal Kablosuz Sensör Ağları (DKSA), dağıtım senaryolarında sensör düğümlerinin iletim topolojisi üzerine konuşulduğu uygulamalarda kullanılır. Böyle bir dağıtım, güvenilirlik endişelerini ortaya çıkarır çünkü ağdaki düğümlerin çoğu, DKSA mimarisinin hayatta kalması açısından kritiktir. Düğümlerin bir alt kümesi ortadan kaldırılsa bile DKSA'nın iletim halinde kalması mümkündür, ancak böyle bir oluşum nedeniyle Ağ Ömrü (AÖ) üzerinde potansiyel azalma ciddi seviyelerde olabilir. Bu çalışmada, DKSA'nın güvenilirliği, kapsamlı bir sistem modeli üzerine inşa edilerek çalışmasının modellenmesi için ayrıntılı bir optimizasyon çerçevesi oluşturulup incelenmiştir. Çerçevemiz, DKSA'nın davranışını karakterize etmede etkili olan üç iletim gücü ve paket boyutu atama stratejisini kapsar. DKSA'nın güvenilirliğini birden çok perspektiften değerlendirmek için rastgele ve koordineli olmak üzere iki düğüm hatası modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, dağıtım parametrelerine, arıza senaryosuna ve stratejiye bağlı olarak, sensör düğümlerinin %10'unun arızalanması durumunda bile ihmal edilebilir AÖ düşüşleri ile DKSA'nın işlemlerini sürdürmesinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır, bununla beraber tek bir düğümün bile etkisiz hale gelmesinin AÖ değerini ciddi bir şekilde azaltabildiği durumlar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal kablosuz sensör ağları, güvenilirlik, düğüm hatası, ağ ömrü eniyilemesi, veri paket boyutu, iletim güç seviyesi.

ABSTRACT

Master of Science

Lifetime Maximization with Transmission Power Level and Packet Size
Optimization for Linear Wireless Sensor Networks

Muhammed Fatih ÇARSANCAKLI

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Bülent TAVLI

Date: April 2021

Linear Wireless Sensor Networks (LWSNs) are employed in scenarios where sensor nodes are required to be positioned over a line shaped deployment domain. Indeed, such a deployment arises reliability concerns because almost all the nodes in the network are critical nodes for the survivability of the LWSNs. It is possible that the network survives even after the incapacitation of a set of sensor nodes, however, such an occurrence can lead to significant decreases in Network Lifetime (NL). In this study, we explore the reliability of LWSNs through an optimization framework which is built upon a detailed system model. Our framework encompasses three transmission power and data packet size assignment strategies. Furthermore, to provide a multi-faceted assessment we utilize two cascaded node failure models (i.e., random and coordinated node failure models). Our results reveal that depending on the application/deployment scenario parameters, failure models, and optimization strategies reduction of NL can be kept at negligible levels even if 10% of sensor nodes are incapacitated. However, it also possible that under certain setting incapacitation of a single node can results in significant reductions in NL.

Keywords: : Linear wireless sensor networks, reliability, cascaded failures, network lifetime optimization, data packet size, transmission power level, propagation model.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof.Dr. Bülent TAVLI, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	x
İÇİNDEKİLER	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR	xv
SEMBOL LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Doğrusal Kablosuz Sensör Ağları	4
1.2.2 Kablosuz Sensör Ağları ve Doğrusal Kablosuz Sensör Ağlarının Güvenilirliği	6
1.2.3 Anormal Enerji Tüketimi	7
1.2.4 İGS-VPB- İkili Eniyileme	8
1.2.5 Yenilik	11
2. SİSTEM MODELİ	13
2.1 Genel Bakış	14
2.2 Yol Kaybı Modeli	15
2.3 İletim Modeli	16
2.4 Enerji Yayılım Modeli	17
2.5 Eniyileme Modeli	19
2.5.1 Genel Eniyileme Modeli	19
2.5.2 Ağ Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi (NetPS)	21
2.5.3 Bağlantı Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi (LnkPS)	22
2.5.4 En Yüksek İGS ve En Düşük VPB Atama Stratejisi (FixPS)	23
2.6 Basamaklı Düğüm Hataları Modeli	23
2.6.1 Rastgele Düğüm Etkisizleştirme (RDE) Modeli	24
2.6.2 Koordineli Düğüm Etkisizleştirme (KDE) Modeli	24
3. ANALİZ	27
4. SONUÇ	31
Kaynakça	42
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Koordineli Düğüm Etkisizleştirme Stratejisi Akış Diagramı. . . . 24



KISALTMALAR

QoS	Hizmet Kalitesi
AÖ	Ağ Ömrü
İGS	İletim Güç Seviyesi
VPB	Veri Paket Boyutu
ACK	Veri Alımı Doğrulaması
ÇM	Çevre Modeli
LnkPS	Bağlantı Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi
NetPS	Ağ Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi
FixPS	En Yüksek İGS ve En Düşük VPB Atama Stratejisi
RDE	Rastgele Düğüm Etkisizleştirme
KDE	Koordineli Düğüm Etkisizleştirme
KTP	Karma Tamsayı Programlama
DAM	Düğüm Arası Mesafe
PER	Paket Hata Oranı
KSA	Kablosuz Sensör Ağları
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DKSA	Doğrusal Kablosuz Sensör Ağları
SGO	Sinyal Gürültü Oranı
PHO	Paket Hata Oranı

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.



Simgeler	Açıklama
d_{ij}	Düğüm- i ve Düğüm- j Arasındaki Mesafe
ϕ_{ij}	Düğüm- i ve Düğüm- j Arasındaki Yol Kaybı
d_0	Referans Uzaklık (1 metre)
ϕ_0	Referans Yol Kaybı (55 dB)
X_σ	Gölgelene Terimi
σ	Gölgeleme Teriminin Standart Sapması
α	Yol Kaybı Üstü
P_ω	Gürültü Gücü (\sim -120 dBm)
P_{tx}^l	İGS- l Güç Seviyesi
$P_{tx}^{out,l}$	İGS- l Çıkış Gücü
P_{rx}	Alıcı Kanal Güç Tüketimi (69 mW)
$P_{rx,ij}^{in,l}$	- j Düğüm Alınan Sinyal Gücü
χ_{ij}^l	- j Düğümünde Alınan Sinyalin SNR Değeri
$\rho_{ij}^{l,s}(\eta)$	η -Bayt Verinin Başarılı Alınma Oranı
$\rho_{ij}^{l,f}(\eta)$	Paket Hata Oranı (PHO)
$\beta_{ij}^{lkm,s}$	Çift Yönlü Başarılı El Sıkışma Oranı
η	Paket Boyutu
η^m	Veri Paket Boyut
η_A	ACK Paket Boyutu (12 bayt)
$E_{tx}^l(\eta^m)$	η^m -bayt Paket İletimi İçin Enerji Tüketimi
$T_{tx}(\eta^m)$	İletim Süresi
ζ	Kanal Oranı (250 kbps)
T_{slot}^m	Zaman Dilim Süresi
T_{grd}	Koruma Zamanı (100 μ s)
T_{prp}	Maksimum Yayılım Gecikmesi (100 μ s)
$E_{tx}^{HS}(\eta^m)$	El Sıkışma İçin Vericinin Enerji Kaybı
λ_{ij}^{lkm}	Yeniden İletim Oranı
$E_{tx,ij}^{lkm}$	Bir El Sıkışma İçin Vericinin Ortalama Enerji Kaybı
E_P^m	Veri İşleme Enerji Kaybı ($E_P^m = 0.1055\eta_D^m \mu$ J)
$E_{rx}^{HS,s}$	Başarılı Bir El Sıkışma İçin Alıcının Enerji Kaybı
$E_{rx}^{HS,f}$	Başarısız Bir El Sıkışma İçin Alıcıda Enerji Kaybı
$E_{rx,ji}^{lkm}$	Alıcının Bir El Sıkışma İçin Ortalama Enerji Kaybı
V	Tüm Düğümler
G	Haberleşme Ağı Diagramı
(i, j)	- i ile- j Arasındaki Bağlantı
A	Haberleşme Ağı Bağlantıları
f_{ij}^{lkm}	Düğüm- i ile Düğüm- j Arasındaki İletilen Veri Miktarı

Simgeler	Açıklama
W	Ağdaki Sensör Düğüm
S_L	İGS Seti
S_M	VPB Seti ($S_M = \{28, 32, 38, 48, 68, 128\}$ bayt)
N_{rnd}	Tur Sayısı
T_{rnd}	Tur Süresi (20 s)
s_i	Her Turda Üretilen Veri Boyutu (120 bayt)
η_D^m	Veri Paketindeki Anlamlı Veri Boyutu
η_H	Veri Paketindeki Başlık Boyutu (8 bayt)
T_{DA}	Her Turda Veri Toplama İçin Harcanan Süre (5 ms)
T_{busy}^i	Uyku Modunda Değilken Harcanan Toplam Süre
P_{slp}	Uyku Modunda Güç tüketimi ($3 \mu W$)
E_{DA}	Veri Toplama Enerjisi ($57 \mu J$)
e_i	Her Sensör Düğümünün İlk Pil Enerjisi (15 kJ)
I_{jnlk}^i	Girişim Matrisi
P_v	Girişim Eşiği (~ -125 dBm)
a_{lkm}	NetPS İçin Kullanılan İkili Gösterge Değişkeni
M	Büyük Sayılar
l_{ij}	LnkPS İçin (i, j) Bağlantısındaki Optimum Veri İGS
k_{ji}	LnkPS İçin (i, j) Bağlantısındaki Optimum Veri ACK İGS
m_{ij}	LnkPS İçin (i, j) Bağlantısındaki Optimum VPB
γ	Başarısız Dügümlerin Kümesinin Boyutu

1. GİRİŞ

Önceden belirlenmiş bir coğrafi alanın izlenmesi ve gözetlenmesi için şu anda Kablosuz Sensör Ağları (KSA) olarak bilinen ağ bağlantılı algılama cihazlarından oluşan bir sistem yarım yüzyıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır [32]. Nitekim ABD silahlı kuvvetleri, Vietnam çatışması sırasında KSA'nın ilk versiyonlarından birini denedi [14]. Bununla birlikte, KSA ile ilgili en yoğun araştırma ve geliştirme üçüncü milenyumun başından itibaren gerçekleşmiştir. O zamandan beri, KSA teknolojisinde hızlı bir gelişim dönemine girmiştir. Günümüzde ise KSA geniş bir kullanım alanı sahiptir [58].

Birçok dağıtım senaryosu ve topoloji arasında, doğrusal KSA konuşlandırmaları, Doğrusal KSA(DKSA) olarak bilinen önemli bir KSA türünü oluşturur. DKSA mimarisi petrol, gaz ve su boru hatları için izleme ve gözetim gibi çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir [2, 54, 71]. Tarihteki en ölümcül petrol ve gaz boru hattı kazalarının analizi, bu tür kazaların önemli bir kısmının boru hatlarının uygun şekilde izlenmesiyle önlenebileceğini ortaya koymuştur [9]. Sınır gözetimi, demiryolu izleme ve tarihsel alan gözlemlene de DKSA'nın uygulama alanları arasındadır. Bu dağıtımların çoğu için, DKSA'nın tüm dağıtım mimarisi boyunca kesin olarak düz bir çizgi oluşturmasa da, konuşlandırmanın önemli bir bölümünde sensör düğümleri, en azından kabaca, aşağı yukarı düz bir çizgi boyunca konuşlandırılır [53]. Bu nedenle, bir DKSA mimarisinin dağıtımını temsil eden bir hat ağını analiz etmek mantıklı ve makul bir varsayımdır.

KSA için en önemli hizmet kalitesi ölçümlerinden biri ağ ömrüdür (AÖ) [13, 37]. AÖ'nü eniyilemek, KSA ile ilgili yapılan çalışmalarda en yoğun şekilde araştırılan performans ölçütü olmuştur [64]. İletim Güç Seviyesi (İGS) ve Veri Paket Boyut (VPB), KSA uygulamalarında enerji israfını azaltmanın iki etkili yoludur [34, 49, 65, 66, 70]. İGS atamasındaki amaç, optimum İGS değerini bir vericiye atamaktır, böylece düşük yol kaybına sahip iletim kanalında gereksiz yüksek enerji kullanmanın ve aynı zamanda yüksek yol kaybına sahip iletim kanalında yetersiz derecede düşük enerji kullanımından kaçınmaktır [70, 75]. Bu sayede iletim sırasında kanal bazlı enerji harcanması en optimal seviyelere getirilir. Bir diğer yaklaşımda ise, yüksek yol kaybına sahip iletim kanalında daha düşük bir VPB değer ataması gerçekleştirilerek, yeniden iletim olasılığını azaltırken, düşük bir yol kaybına sahip iletim kanalında daha yüksek bir VPB değer ataması gerçekleştirilerek yeniden iletimin düşük oranla gerçekleşme olasılığına sahip kanaldan daha yüksek boyutta veri iletimini sağlamaktadır [34]. Bu sayede iletilecek veri boyutlarının kanallara göre değişken olması sağlanarak ağın kullandığı enerjinin dengeli dağıtılması ve ağın yaşam süresinin artması hedeflenmektedir. İGS ve VPB değer atamalarının ikili eniyilemesi, AÖ'nü önemli ölçüde uzatan

bir yaklaşımdır [3]. Ayrıca, iki genel ikili eniyileme stratejisi vardır. Bunlar ağ düzeyi ve bağlantı düzeyi olarak sınıflandırılmıştır. Ağ düzeyinde gerçekleştirilen ikili eniyileme stratejisinde, tek bir eniyilenmiş İGS değer ataması sonucu ve tek bir eniyilenmiş VPB değer ataması sonucu, tüm bağlantılarda ağ boyunca kullanılmaktadır. Bağlantı düzeyinde ikili eniyileme stratejisinde ise, eniyilenmiş İGS ve eniyilenmiş VPB değer atama sonuçları, ağdaki her bağlantı için ayrı ayrı belirlenir. Ağ düzeyinde ikili eniyileme stratejisi, operasyonel bir bakış açısından bakıldığı zaman bağlantı düzeyinde ikili eniyileme stratejisinden daha uygun olmasına rağmen, bağlantı düzeyinde ikili eniyileme stratejisi, ağ düzeyinde ikili eniyileme stratejisi tarafından ortaya çıkacak enerji israfını önleme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, ikili eniyileme stratejilerinin verimliliği, diğer faktörlerin yanı sıra büyük ölçüde ağ topolojisine ve kablosuz iletim ortamının yayılım özelliklerine bağlıdır [68].

KSA'nın güvenilirlik değerlendirmesi, özellikle doğalgaz veya petrol boru hatları gibi kritik altyapıları izlemek için kullanılan KSA için hizmet kalitesi şartlarını sağlamak kadar önemlidir [73]. Aslında, kritik veya stratejik altyapı izleme ve gözetleme görevleri için büyük ölçekli DKSA sıklıkla kullanılır [47]. Güvenilirlik kriteri, bir DKSA uygulamasının kullanım amacına göre değişir, ancak bağlantı devamlılığı tartışmasız en temel güvenilirlik ölçüsüdür [30, 40, 41]. Aslında, k bağlantı özelliği, genel olarak iletişim ağlarında ve özellikle KSA'nda çok güçlü bir güvenilirlik kavramıdır [4]. Ağın başlangıçta k bağlantılı olduğu durumda, $k - 1$ düğümlerinin herhangi bir kombinasyonunun etkisizleşmesinden sonra sistem üzerinden aktif olarak çalışmasına devam eden herhangi bir düğüm, ağın geri kalanına bağlı kalır ve veri iletimini kesintisiz olarak devam ettirir [5, 17]. Bir ağ ne kadar yoğun bir şekilde konuşlandırılırsa, doğası gereği bağlantı kesilmelerine karşı da o kadar dirençli hale gelir.

Rastgele bir sensör düğüm setinin arızalarına bağlı olarak ağın yaşam süresindeki azalma, özellikle DKSA yapılarında sistemin çalışabilirliğini oldukça olumsuz etkileyecek derecede yüksek olabilir. Rastgele seçilen bir dizi düğümden kaynaklanan ağın yaşam süresinin azalmasının kapsamı, ortalamada çok yüksek olmayabilir. Bununla birlikte, ağın yaşam süresinin özel olarak seçilmiş bir dizi kritik düğümün çalışamaz hale gelmesi sonucunda azaltılması, sistemin yaşam süresini orantısız bir şekilde düşürebilir [69, 72]. Hem ağ düzeyinde hem de bağlantı düzeyinde İGS ve VPB ikili eniyileme stratejileri göz önüne alınarak gerçekleştirilen DKSA güvenilirliğinin bütünsel bir analizi, genel sistem davranışının yeterli bir şekilde karakterize edilmesi için gereklidir. Bu amaçla, söz konusu DKSA'nın maksimum ağ ömrünü belirlemek için Karma Tamsayı Programlama (KTP) yaklaşımını benimsenmiştir [20]. Ayrıca, rastgele düğüm hatalarını ve koordineli düğüm hatalarını modellemek için iki farklı strateji belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen

stratejilerin her ikisi de KTP modeli ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Çeşitli seviyelerde yol kaybı koşullarını modellemek için gerçek alan ölçümlerine dayalı üç yayılma ortamı benimsenmiştir [32]. Modellerin oluşturduğu fiziksel model katmanı, yaygın olarak kullanılan bir KSA platformundan alınmıştır [1].

1.1 Tezin Amacı

Tez araştırması olarak gerçekleştirilen çalışmanın yapısı belirlenirken literatürde henüz araştırılmamış ya da bütünlük olarak sonuçları incelenmemiş boşlukların doldurulması hedeflenmiştir. Bu çerçevede, araştırma sonucu elde edilen sonuçlar ile literatüre ana katkılarımız dört alt grup altında incelenmiştir :

1. Geniş bir bakış açısı yaratmak için, gerçekleştirilen çalışmalar ile ilgili tüm boyutları kapsayacak şekilde derinlemesine bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir.
2. DKSA'nın AÖ değerlerini karakterize etmek için üç farklı İGS ve VPB değer atama ortak eniyileme stratejisi sunulmuştur. DKSA yapılarında ağ ömrü değerini en üst seviyeye çıkarmak için iletim gücü ve paket boyutu eniyilemesinin ortak değerlendirilmesi yapılırken elde edilen sonuçların sistemin güvenilirlik değerlendirmesi ile birleştirilmesi literatürde hiç yapılmamıştır.
3. Ağ ömrü eniyilemesi bakış açısından optimum koşullar altında çalışan DKSA'nın güvenilirliğini değerlendirmek için, aynı zamanda yeni katılardan biri olan ve literatürde hiç yapılmamış iki farklı düğüm hatası modeli, rastgele düğüm hataları ve koordineli düğüm hataları, sunulmuştur.
4. Üç iletim gücü seviyesi ve veri paket boyutu eniyileme stratejilerini, iki düğüm hatası modeline uyarlayarak oluşturulmuş DKSA yapılarının güvenilirliğini karakterize etmek için 3 farklı çevre ortamını örnekleyen modeller ile ayrı ayrı alınan sonuçlar KTP modellerinin kullanılmasıyla sayısal olarak değerlendirilmiş ve geniş bir parametre alanına sahip kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Gerçekleştirilen çalışmanın literatürdeki diğer ilgili çalışmalardan ayırmak için incelenmesi gereken, literatürde kısmen örtüşen dört eksenidir. 1.2.1 alt başlığı içerisinde, DKSA hakkında literatür araştırması sunulmuştur. İkinci olarak

1.2.2 alt başlığı içerisinde hem kablosuz sensör ağları hem de doğrusal kablosuz sensör ağları yapıları için güvenilirlik değerlendirmelerine ilişkin olarak literatüre genel bakış sunulmaktadır. 1.2.3 alt başlığı içerisinde, kablosuz sensör ağlarında haberleşme düğümlerinin enerjilerinin erken tükenmesine sebep olan durumlarla ilgili ortaya konan çalışmaların incelemesine yer verilmiştir. 1.2.4 alt başlığında, İGS ve/veya VPB atama stratejileri hakkında yapılan çalışmalar üzerine gerçekleştirilen incelemeler sunulmuştur. Ve son olarak 1.2.5 alt başlığında ise, gerçekleştirilen çalışmanın mevcut literatüre kıyasla yeniliği ve bu çalışma ile literatürde doldurulan boşluk sunulmuştur.

1.2.1 Doğrusal Kablosuz Sensör Ağları

Kablosuz sensör ağları, son yıllarda teknolojik gelişmelerin neticesinde birçok alanda kullanılmaktadır [2, 27, 28, 53, 58, 59]. Doğrusal kablosuz sensör ağlarının sivil uygulama alanları yazarlar tarafından [58] çalışmasında incelenmiştir. Ayrıca düğümlerin yerleştirilmesi, topolojileri, kapsama analizleri, yaşam sürelerinin optimizasyonları ve yönlendirme protokolleri dahil olmak üzere bazı tasarım problemleri üzerine çalışılmış ve teknolojinin gelecekteki muhtemel eğilimleri araştırılmıştır. DKSA'nın çeşitli yönlerinin boru hattı altyapısında kullanılmak üzere araştırılması [28] çalışmasında incelenmiştir. Petrol, gaz ve su taşıyan boru hatlarının kritik ve gerekli altyapılarını izlemek için kullanılacak DKSA için kavramsal bir tasarım çerçevesi de ayrıca detaylandırılmıştır. Doğası gereği, sistem mimarisindeki bir düğümün haberleşme sürecindeki başarısızlığı, veri iletiminin sonlanmasına neden olur. Sensör düğümlerini, omurga düğümlerini ve temel düğümleri içeren hibrit yapı modeli, bu zorluğun üstesinden gelmek için tasarlanmıştır [38]. [38] gerçekleştirilen çalışması ile, DKSA için farklı çözümlerle değerli karar diyagramlarının modellenmesine dayanan verimli bir algoritma önerilmiştir. DKSA çalışmalarının petrol ve gaz endüstrisinde kullanılabilirliği için ayrıntılı temel ön koşulları ve potansiyel ihtiyaçları [29] çalışmasında incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, petrol ve gaz endüstrisi için bilimsel bir kategorizasyon önerilmiş ve alt kırılımlara göre sınıflandırılmış dağınık model sunulmuştur. Su iletim boru hatlarında bulunması muhtemel sızıntıları tespit etmek ve anlık su akış seviyesi bilgilerini kontrol etmek teknolojinin imkanlarını kullanmadan son derece zordur [54, 71]. Her iki sistem(PIPENET, SWATS) benzer şekilde doğrusal kablosuz sensör ağlarını kullanarak şehir su ağını anında izler. Bu kapsamda su debisi, su erişim seviyesi ve sızıntı bilgisi verileri anlık olarak analiz edilerek anormallikler tespit edilir. PIPENET sistemi, SWATS sisteminden farklı olarak ağ içi veri işleme yeteneğine sahip değildir. Aynı şekilde su iletim boru hatlarında olduğu gibi, petrol ve gaz iletim boru hatları da doğrusal kablosuz

sensör ağlarının çalışma alanları içindedir. [6] çalışmasında, doğrusal kablosuz sensör ağı yapısı, petrol ve gaz iletim boru hatlarının izlenmesi için tasarlanmıştır. Bu çerçevede yazılım, donanım ve algoritma çalışmaları yapılarak analiz edilecek verilerin önceliklerinin belirlenmesi, veri iletim kopmalarına karşı çözüm üretilmesi, elde edilen verilerin sınıflandırılması ve uzaktan kontrol altyapısının belirlenmesi konularında iyileştirmeler yapılmıştır. [53] çalışmasında, programlama tabanlı stratejiler üzerine çalışma gerçekleştirerek, boru hatlarının kullanılmaz duruma gelmesinden kaynaklı olarak gerçekleşen kaçakları tespit etmek ve ömrü dolan hatların tespit edilmesini sağlayacak teknikler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada, sensör ağları mimarisindeki teknik geliştirme yöntemlerini referans alarak kaçak tespit yöntemleri sınıflandırılmış ve yazılım tabanlı yöntemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğrusal veri toplama hizmetlerinde görev dönüşü ve ardışık sıra yönlendirme protokolü işlemi gerçekleştiren sistemin girişim analizi modellemesi sensör ağları içerisinde incelenmektedir [57]. [2] çalışmasında, KSA teknolojisi, yalnızca devam eden sürecin kalitesini korumak için değil, aynı zamanda olası çevresel tehlikeleri önlemek için her endüstride önemli bir role sahip olan izleme hizmeti sağladığı vurgulanmıştır. Kablosuz sensör ağları teknolojisinin doğrusal kablosuz sensör ağları teknolojisini de kapsayacak şekilde, farklı endüstrilerdeki önemi ve neredeyse tüm olası uygulamaları ayrıntılı bir şekilde bildirilmiştir. [25] çalışmasında, DKSA yapılarında düğüm yerleşimi için geliştirilen yaklaşım sunulmaktadır. Yaklaşımın amacı, her bir düğümün AÖ değerini önemli ölçüde uzattığı gösterilen her veri toplama periyodunda aynı miktarda enerjiyi dağıtmaktır. Rastgele düğüm yerleştirme ile enerji yayma özellikleri de araştırılmıştır. [48] çalışmasında, DKSA mimarisi üzerinden yük dağılımının karakterizasyonu için düğüm sayısı ve bunların uzamsal dağılımı dikkate alınarak bir analiz çerçevesi sunulmuştur. [46] çalışmasında, veri kuyruğu kararlılığı ve izleme kısıtlamalarının kalitesi altında DKSA yapılarının enerji hasadı için paket iletilmeme olasılığını en aza indiren Lyapunov tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Doğrusal yapıları gözlemlemek, DKSA sistem mimarisini belirlemek için ciddi bir sorundur. DKSA yönlendirme protokollerinin türlerinin sınıflandırılması ve yönlendirme protokollerinin performans analizi [59] çalışmasında incelenmiş ve sonuçlar yayınlanmıştır. [21] çalışmasında, DKSA yapıları için entegre bir yerel senkronizasyon ve aktarma yaklaşımı önerilmiş ve performansı simülasyonlar aracılığıyla değerlendirilmiştir. [26] çalışmasında, optimal düğüm yerleştirme ve eşit mesafeli düğüm yerleştirme stratejileri kullanılarak DKSA yapılarında bulunan haberleşme düğümlerinin tükettiği enerji değerlerinin minimizasyonunun karşılaştırmalı bir değerlendirmesi sunulmaktadır. [44] çalışmasında, DKSA kullanılarak oluşturulan mimari ile su kalitesinin görüntülenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışma sunulmaktadır. [10] çalışmasında, akıllı demiryolu sistemlerini izlemek için kullanılan DKSA için optimal bir enerji dağıtım yaklaşımı önerilmiştir.

1.2.2 Kablosuz Sensör Ağları ve Doğrusal Kablosuz Sensör Ağlarının Güvenilirliği

KSA ve DKSA yapılarının güvenilirliği, haberleşme ağını arızalara karşı son derece savunmasız hale getiren haberleşme ağının topolojisi nedeniyle kablosuz haberleşme sistemlerinde üzerinde titizlikle durulan bir konudur. Bu bölümde hem KSA hem de DKSA yapılarının güvenilirliği konusunda literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ağ sistemlerine harici müdahaleler topolojinin yaşam süresinin azalmasına neden olur. Özellikle atlıkarınca saldırıları, ağ yapılarının ömrünü önemli ölçüde azaltır [60]. [60] çalışmasında önerilen protokol, vampir saldırılarını algılayan hedef düğüme iletilen paketlerin analiz edilmesine dayanmaktadır. [72] çalışmasında, saldırı türlerinden bağımsız olarak tek bir sensör düğümünün etkisiz hale gelmesinin sonucunda, farklı sayıda sensör düğümüne sahip çeşitli topolojiler tasarlanmış ve sistem ömrü boyunca belirli aralıklarla topoloji mimarileri değiştirilmiştir. Değişken topoloji mimarisi ile tasarlanan sistemler ile yoğun iletişim içinde olan nesnelere interneti temeli ile haberleşen cihazların kullanılması sonucunda ortaya çıkan enerji seviyelerindeki değişiklikler [43] çalışmasında sunulmuştur. Birden fazla sensörün devre dışı kalması durumunda sistemin yaşam süresinde meydana gelen değişiklikler ise [69] çalışmasında incelenmiştir. Bu çerçevede kritik düğümler sıralı ve toplu olmak üzere iki farklı model ile belirlenmiş ve sistemin yaşam süresi üzerinde etkisinin olup olmadığına ve yaşam süresini değiştirdiği takdirde değişim eğrisinin etkileri araştırılmıştır. Öte yandan düğümler arasında gereksiz iletişim paketlerinin iletilmesi verilerin yeniden iletilmesine neden olmakta ve sistem ömrünü kısaltmaktadır [24]. Buna ek olarak, verilerin uzak noktalardaki düğümlere aktarımını açıklamak için farklı modeller geliştirilmiş ve sonuçlar [7] çalışmasında açıklanmıştır. [18] çalışmasında, ağ sistemine siber saldırıların tespiti ve saldırının önüne geçilmesi için çeşitli mekanizmalar araştırılmıştır. Siber saldırıları önlemek için geliştirilen çözümler ışığında, boş dinleme engellenerek gereksiz enerji kayıplarının en aza indirilebileceği [23] çalışmasında gösterilmiştir. Bu çalışmada şifreleme tekniklerinin kullanımının gerektiğinde siber saldırıları önlemede başarılı olabileceği vurgulanmıştır. Ağ yapısında kullanılan düğümlerin batarya enerjisini siber saldırılara karşı korumak için geliştirilen yöntem üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır [12]. [74] çalışmasında, önerilen yeni güvenilirlik indekslerini göz önünde bulundurarak KSA için bir güvenilirlik değerlendirmesi gerçekleştirip ardından optimum tasarım için güvenilirliğe dayalı bir yöntem belirlenmiştir. Kablosuz sensör ağlarının ayrıntılı güvenilirlik analizi [62] çalışmasında verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, KSA yapılarındaki düğüm sayısını, iletim gücünü ve düğümlerin çalışma sürelerini optimize ederek, haberleşme sisteminin verimliliğinin mümkün olduğu kadar artması beklenmiştir. Ve yine bu çalışmada gerçekleştirilen analizler sonucunda

geliştirilen sayısal çözümler de sunulmuştur.

Doğrusal kablosuz sensör ağları yapısını tasarlarken, oluşan hataların belirlenmesi ve hataların düğüm güvenilirliği üzerindeki etkilerinin göz önünde bulundurulması [61] önemli bir çalışma alanıdır. [41] çalışmasında belirtildiği gibi tasarlanan modelde olası düğüm hatası durumlarında DKSA yapılarının kapsama alanında kesintiler yaşanmıştır. Çalışmada farklı ağ yapıları için modeller tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar hem simülasyon hem de saha testleri sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. [40] çalışmasında teorik modeller, periyodik bakım sırasında oluşabilecek DKSA yapılarının kapsama durumu ve düğüm hataları dikkate alınarak geliştirilmiştir. DKSA yapılarının çok sayıda farklı bölüme ayrılmasına neden olabilecek sıralı hatalı düğüm yapı boşlukları ve çökmeye yakın aşırı yüklü düğümlerin çalışamaz hale gelmesi, sistemin ömrünün sona ermesine neden olabilir [39]. Bu çalışmada, DKSA sistemlerinde bu tür düğümlerin topoloji içerisinden kaldırılması ve bunun sonucunda enerji kullanımını dengeleyerek yaşam süresini uzatmaya meyilli olan iki metodoloji önerilmiştir. [30] çalışmasında, bu tasarımı farklı sektörlerde uygulamak için çeşitli senaryolar göz önüne alındığı zaman verimli, güvenilir ve başarılı performans gösteren Nesnelere İnterneti (IoT) tabanlı bir tasarım önerilmektedir. Tarih boyunca petrol ve gaz boru hatlarında çok sayıda kaza meydana gelmiştir. Kazaların nedenleri arasında malzeme hataları, korozyon, insan kaynaklı hatalar ve doğal sebepler gibi birçok neden vardır [9]. Bu çalışmada birçok kaza incelenmiş ve iletim hatlarının gözlemlenememesi sonucunda meydana gelen kazaların sebepleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve kazalar sınıflandırılarak çıkarımlar yapılmıştır.

1.2.3 Anormal Enerji Tüketimi

AÖ, DKSA yapısının en önemli performans ölçülerinden biridir. Kablosuz sensör ağlarının yaşam süreleri önemli bir güvenlik endişesidir ve AÖ'nü azaltan etkenlerin bulunması önemli bir farkındalık alanıdır. Bu alt bölümde, KSA ve DKSA yapılarının AÖ'nü azaltmaya yönelik çeşitli tehditleri incelemek için literatüre genel bir bakış sunuyoruz. Literatür taraması sonucu elde edilen kazanımlar DKSA yapılarının güvenilirlik değerlendirmesinde paha biçilemez öneme sahiptir.

[60] çalışmasında, haberleşen düğümlerinin batarya enerjilerini hızla tüketen ve böylece ağ içindeki veri akışını engelleyen vampir saldırıları tanımlanır. Aslında, bu tür saldırıların yıkıcı olduğu kadar tespit edilmesinin de zorluğundan bahsedilmiş ancak buna rağmen farklı saldırı türleri örnekleri ile paylaşılmıştır. [72] çalışmasında, kritik düğümlerin etkisizleştiği durumlarda kablosuz sensör ağlarının yaşam sürelerindeki değişim incelenmiştir. [51] çalışmasında, KSA'na karşı

yeni bir çeşit sensör batarya tüketimini amaçlayan saldırı tipi rastgele süreçlere dayanan matematiksel bir model aracılığıyla tanımlanmış ve incelenmiştir. [43] çalışmasında, Kısıtlı Uygulama Protokolü'nü kullanarak batarya enerjisinin anormal derecede boşaltılmasını sağlayan bir batarya tüketme saldırısı deneysel olarak gösterilmiştir. [69] çalışmasında, koordineli çoklu kritik düğüm etkisizleştirme işleminin kablosuz sensör ağlarının ağ ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. [24] çalışmasında, kablosuz sensör ağlarındaki sensörlerin bataryalarına hedef alan farklı saldırı çeşitleri incelenmiş ve ağ ömrü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

[7] çalışmasında, bir ağdaki kritik düğümleri proaktif olarak tanımlayan ve tanımlanan kritik düğümlerin ortadan kaldırılmasının etkilerini azaltmak için yedekli düğüm mimarisini öneren bir yapı sunulmuştur. [52] çalışmasında, KSA yapılarındaki güç analiz saldırılarına karşı geniş yelpazeli bir çalışma sunulmuştur. [18] çalışmasında, uyku reddi saldırıları dahil olmak üzere çeşitli saldırılara karşı etkili bir tespit ve izolasyon mekanizması sunulmaktadır. Karıştırma mekanizmaları, özellikle zaman senkronizasyonlu ve kanal atlama özellikli ağlarda uyku reddi gerçekleştirmek için kullanılabilir. [23] çalışmasında, nesnelerin interneti altyapısına sahip birimler arasındaki iletişimi engellemek amacı ile karıştırma uygulanarak gerçekleştirilen saldırılar araştırılmıştır. [45] çalışmasında, nesnelerin interneti altyapısını kullanan sistemlerin sahip olduğu ağlarda enerji kısıtlı cihazlara yönelik enerji tüketimini amaçlayan saldırılara sistematik bir genel bakış sunulmaktadır. [12] çalışmasında, iletişim ve güç aktarımının aynı anda gerçekleştiği kablosuz ağlarda haberleşme sensörlerinin enerjilerini azaltmaya yönelik gerçekleştirilen saldırılara karşı etkili bir çözüm mekanizma önerilmiştir. Çalışmasında, KSA yapılarında genel güvenilirlik ve anlık güvenilirlik için kullanılmak üzere iki yeni güvenilirlik ölçütü sunulmuştur. Ayrıca, güvenilirliği artırmak için üç aşamalı verimli bir tasarım metodolojisi önerilmektedir.

1.2.4 İGS-VPB- İkili Eniyileme

İletim çıkış gücünün anlık olarak kontrol edildiği çok fazla sayıda iletim ağına sahip büyük ölçekli kablosuz sensör ağlarının aktif kullanım esnasında ortaya çıkan kritik tasarım problemi ve bu problem karşısında kullanım senaryoları [49] çalışmasında ortaya konulan analiz çalışması ile rapor edilmiştir. Daha önce bahsedilen tasarım sorunları, kablosuz iletim senaryolarında kullanılan çok sayıda ticari radyo yayınları aracılığı ile yapılan iyileştirmeler sonucunda belirli seviyede giderilmiştir. Çok sayıda veri iletim düğümüne sahip olan büyük ölçekli kablosuz haberleşme mimarilerinin bulunduğu bir ortamda, enerji verimindeki orantılı iyileşmenin iletim gücü kontrolü tarafından ortaya konulmaması önerilmektedir. Dahası, haberleşme kanalları arasındaki etkileşim problemi ve işbirliğine dayalı

güç kontrolünün eniyilemesi [49] çalışmasında bildirilmiştir. Öte yandan, asenkron görev döngüsü ile veri toplama trafiği altındaki şarj edilebilir ve ağaç mimari yapısına sahip DKSA mimarisi, [50] çalışmasında incelenmiştir. Öncelikli tasarım zorluklarından biri, ayrı düğümlerin enerji mevcudiyeti ve tüketim yollarının mekansal-zamansal değişkenliğidir. Dahası, haberleşme kanalları arasındaki etkileşim problemi ve bu problemten kaynaklanan aktif kullanılan düğümlerde sistem seviyesi iletişim kesintileriyle sonuçlanan orantısız enerji tüketimi durumu incelenmesi gereken bir başka önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönlendirme protokolü ile birlikte dağıtılmış bir ortak güç kontrolünün, enerji tüketimini ve haberleşme kanalları arasındaki etkileşim sorununu önemli ölçüde düşürdüğü gerçekleştirilen çalışmada belirtilmektedir. Ayrıca tüm düğümlerden merkez alıcıya iletilecek amlamlı veri akışını oluşturarak haberleşme mimarisinin oluşumuna imkan verir. Önerilen çözümleri kablosuz haberleşme platformunda uyguladıktan sonra, paket teslim oranında herhangi bir kayıp olmaksızın haberleşme kanalları arasındaki toplam etkileşim sayısının ciddi anlamda azaldığı belirtilmiştir. Son olarak önerilen sistemin uygulanması periyodik güncellemeler dışında başka bir ekleme gerektirmediğinden, bu sistemin uzun süreli uygulamalarda kullanılabileceği bildirilmektedir.

[42] çalışmasında, tüm haberleşme yapılarına uygun olduğu bilinen nesnelere interneti alt yapısına sahip sistemlere yönelik çalışma yaklaşımının tipik olarak değişen sistemler, koşullar ve bilgi iletim trafiği için uygun olmadığı açıklanmaktadır. Bu görüş neticesinde, böylesine karmaşık bir sorunun çözümüne ARTPoS sistemi olarak adlandırılan, kablosuz sistemlerin çalışma anında birden fazla kablosuz iletişim teknolojisinin kullanılmasına olanak tanıyan ve mevcut özelliğe göre en uyumlu iletim gücü ve anlık veri iletim ayarlarına geçişi dinamik bir şekilde sağlayan algoritma yapısı önerilmiştir. Nesnelere interneti sistemi için Güçlü Optimal Radyo Türü ve İletim Gücünün Seçimi çalışmasının asıl sorun noktası olarak, bağlantı güvenilirliğini kabul edilebilir eşikler altında korumak olarak gösterilmektedir. Ayrıca, veri iletimine bağlı olarak düğümün güç tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında ARTPoS'un, görev çağrısına uygun ve ileride yapılacak uygulamalarda modelin güncellenmesine izin veren düşük güçlü bir dinleme tekniği sağlarken güç tüketimini önemli ölçüde azalttığı anlaşılmıştır. Ayrıca, ağ geçitlerini dahil ederek iletişim ağının tekil sensörden çoklu sensöre genişletilmesi önerisinde bulunulmuş ve olası sorunlar tespit edilmiştir.

Düşük güçlü, çok noktalı kablosuz ağlarda iletim gücünü ve yönlendirme topolojisini birlikte kontrol etmek için dağıtılmış ve uyarlanabilir mekanizma, [31] çalışmasında incelenmiştir. Yönlendirme topolojisi ve gizli uçbirim problemi, çok sekmeli ağda ulaşılabilir bant genişliğini nasıl etkileyebileceği açıklanmaktadır. Ayrıca, tek tip iletim gücü konfigürasyonunun geliştirilebileceği olası senaryolar

da deneysel veriler ve analizlerle gösterilmiştir. 49 düğümlü test ortamında gerçekleştirilen testler sonucunda paket kaybı probleminin azaldığı gözlemlenmiştir. Paket kaybı problemlerinin azalması ile birlikte, ulaşılabilir bant genişliği ve yönlendirme kararlılığında olumlu gelişmeler gözlemlenmiştir. [36] çalışmasında, teorik çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile pratik çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar arasında çelişki olduğu ifade edilmiştir. Derinlemesine yapılan araştırmalar sonucunda, ATPC'nin iki farklı biçimde verimin düşmesine sebep olacak şekilde iletim gücü kontrol yapılanmasına neden olduğu görülmektedir. Bunun neticesinde, sistemin çalışma durumunda daha fazla enerji tüketimine ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, yapılan deney ve gözlemlere göre, daha yüksek paket alma oranı elde etmek için yeterli seviyede olan iletim gücü seviyesini öngören bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin henüz tam anlamıyla tamamlanmamış olduğu anlaşılmakla birlikte ileride geliştirilecek çalışmalar için başarılı bir rehber olacağı gözlemlenmektedir. Bağlantı düzeyinde tokalaşma süreci ile ilgili iletim gücü kontrolünün kablosuz sensör ağlarının ömrü üzerindeki ana etkileri [70] çalışmasında incelenmiştir. Yeni bir bağlantı yapısı, çeşitli iletim gücü atama stratejilerine göre modellenmiştir. Mevcut çalışmalardan farklı olarak amaç, mevcut bağlantı seviyesi tokalaşmaların uyumunu sağlamak için bir programlama model yapısı geliştirmektir. Bu bakış açısıyla, bu alanda bulunan çeşitli soruların cevaplanma imkanı ortaya çıkmıştır. İletim gücü kontrolünün farklı güç seviyeleri altındaki etkisi [15] çalışmasında bildirilmiştir. Bir öncekinden farklı olarak, bu çalışmada, geliştirilen yapının ağ ömrü ve bant genişliği gereksinimleri üzerindeki etkisinin de bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu sayede, detaylı bir analiz sağlayan geniş bir veri yelpazesi elde edilmiştir. [11] çalışmasında, çoklu mobil baz istasyonlu DKSA için ortak İGS ataması, veri iletim yolu seçimi ve veri akışı boyutu optimizasyonu için bir eniyileme modeli önerilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Karasal alanlarda kullanılan sensör ağlarının ve akıllı ağ uygulamalarının ömrünü en üst düzeye çıkarmak için en uygun paket boyutunun belirlenmesi ve enerji kısıtlamaları [34] çalışmasında verilmiştir. [65] çalışmasında, farklı paket boyutu optimizasyon yöntemlerinin kapsamlı bir literatür taraması yapıldıktan sonra teorik kullanımları detaylı bir şekilde açıklanmış ve dört farklı kablosuz sensör ağ modelinde performansları gösterilmiştir. [22] çalışmada, girişimin yaşandığı durumlarda paket boyutlarının kablosuz sensör ağlarının performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırmalarının bir başka odak noktası, paket boyutunun sistemlerin aktif kullanım durumunda MAC katmanının performansını nasıl etkilediğidir. İki atlamalı kablosuz ağ yapılarında paket boyutunun sistem ömrü üzerindeki etkileri [16] çalışmasında incelenmiştir. Su altı iletişimde kullanılan fiziksel katman modellerine dayalı haberleşme mimari örnekleri [66] çalışmasında araştırılmıştır. Fiziksel katman modellerinde kullanılan altı farklı ticari modemin güç

tüketim özellikleri, tasarlanan sistem modeli üzerine eklenerek denemeler yapılmıştır. Tasarlanan sistemin sonuçları farklı ağ kullanım koşulları altında karşılaştırılmıştır. [19] çalışmasında, hem paket boyutu hem de düğüm sayısı, ağ yapılarındaki girişim sorunlarını önlemek için eniyilenmiştir. [35] çalışmasında, girişim altındaki iletişim sistemlerindeki düğümlerin yaşam sürelerini optimize eden paket boyutunu belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Petrol ve gaz endüstrisinin fiziksel iletim süreçlerindeki KSA uygulamasının performansı [8] çalışması altında raporlanmıştır. Bu analiz, optimum performansı ayarlamak için sistem mimarisinde kullanılan düğümler kademeli olarak 80 düğüme kadar çıkarılarak gerçekleştirilmiştir.

[3] çalışmasında, İGS ve VPB eniyilemesinin KSA yapılarının AÖ üzerindeki etkisini analiz etmek için Mica2 akıllı sistemlerinin ampirik olarak doğrulanmış karakteristiğine dayalı bir eniyileme modeli oluşturulmuştur. [34] çalışmasında, akıllı şebekeyi izlemek için kullanılan KSA yapılarında İGS ve VPB değer atamaları dikkate alarak ikili eniyileme çerçevesi sunulmuştur. [66] çalışmasında, sualtı akustik sensör ağlarında İGS ve VPB atama işlemlerinin ortak değerlendirilmesiyle AÖ maksimizasyonu için bir optimizasyon modeli önerilmiş ve İGS ve VPB değer atamalarını içeren öncelik geçişleri araştırılmıştır. [68] çalışmasında, KSA yapılarındaki her bağlantı için VPB ve İGS değer atama işleminin ortak eniyilemesi araştırılmış ve dokuz İGS ve/veya VPB atama stratejisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.2.5 Yenilik

Yukarıda bahsedilen literatür araştırmaları dikkate alındığında, DKSA yapılarının güvenilirlik değerlendirmesi ve sistem seviyesi eniyilemesi işlemi ile ilgili detaylı araştırma gerçekleştirilmiştir. Ancak, DKSA yapılarının güvenilirlik araştırması, İGS ve VPB değer atama stratejilerinin AÖ eniyilemesi amacı ile belirlenmesi süreci rastgele ve koordineli düğüm etkisizleştirme yöntemleri dikkate alınarak daha önce hiç gerçekleştirilmemiştir. Bununlar birlikte DKSA yapılarının özellikle savunmasız topolojisinin dikkate alınması önemli bir sorundur ve bu çalışmada kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

2. SİSTEM MODELİ

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, paket boyutunun ve iletim gücünün optimizasyonuna yönelik çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. İki farklı optimizasyon konusunun ayrı ayrı modellerde incelendiği çalışmalara [33, 55] yayınları ve iki farklı optimizasyon konusunun tek bir modelde bütünlük kullanılmasıyla incelendiği çalışmalara ise [3, 67] yayınları örnek olarak gösterilebilir. Daha düşük bir iletim gücü seviyesi, bit hata oranını artırır ve enerji maliyetinin yükselmesine sebep olacak yeniden paket iletimlerinin sayısının artmasına sebep olur. Benzer şekilde, haberleşme sistemine verilen en ideal güç seviyesinin üzerindeki güç seviyeleri, performansta önemli bir artışa yol açmaksızın tüketilen enerji miktarında ciddi bir artışa neden olmaktadır [32]. Ayrıca, daha az anlamlı veri bilgisine sahip paket yapısı, daha düşük değerlerde paket hata oranı oluşması sebep olacaktır ancak yük ve paket başına düşen harcanan enerji miktarı oranı daha düşük olacağı için bütünlük haberleşme sisteminin toplamda daha fazla enerji tüketmesine yol açacaktır. Bu nedenle, paket boyutunun ve iletim gücü seviyesinin DKSA üzerindeki ortak etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Öte yandan, DKSA, çalışma sürelerine etki eden diğer faktörlerin yanı sıra haberleşme süreçlerini gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahip olan bağlantı düğümlerin yaşam sürelerinin beklenmedik şekilde diğer düğümlere göre daha kısa olmasından kaynaklı olarak ağ bağlantısının kesilmesi ve bu sebeple iletişimin beklenenden erken son bulması problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu problem bir çok araştırmaya ilham olmuştur. Bu çalışmalar içerisinde önde gelen ve kritik düğümlerin kullanılamaz hale gelmesi durumunda bütünlük haberleşme ağının yaşam süresinin değişimini inceleyen çalışmalar [69, 72] olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmaların her ikisi de disk topoloji modelini ele alarak kritik düğümleri çalışmalarının merkezine yerleştirip haberleşme ağı yaşam süresinin eniyilemesi inceleyip özellikle yeteri kadar üzerinde çalışma yapılmamış doğrusal haberleşme topolojisinin araştırılması için motivasyon sunmuştur.

Gerçekleştirilen çalışmanın ana amacı, DKSA'nın ağ ömrünü en üst düzeye çıkarmak için kritik düğümlerin tanımlanmasıyla birlikte her düğümdeki veri paket boyutu ve iletim gücü seviyesinin eniyilemesinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesini sunmaktır. [67] çalışmasında, farklı stratejiler önerilmiştir ancak bu çalışmada ağ düzeyinde İGS ve VBP eniyilemesi (NetPS), bağlantı düzeyinde İGS ve VBP eniyilemesi (LnkPS) ve sabit en yüksek İGS ve en düşük VPB eniyilemesi (FixPS) stratejileri araştırılmıştır. Düğümlerin örtüşen ağ kapsama alanına sahip olduğu bir DKSA modelini ele alınmıştır. Bu sayede haberleşme ağı veri iletiminde etkin rol oynamayan ve ağın ömrünün daha erken sonlanmasına sebep olan düğümlerin topolojiden çıkarılıp yeni bir topoloji oluşturulmasını mümkün

kılan bir yapı tasarlanmış olur. Kritik düğümlerin belirlenmesi ve ağın yaşam süresi üzerindeki analizi için iki farklı senaryo kullanılmıştır. Bunlardan ilki rastgele düğüm etkisizleştirme yöntemi olup her modelleme başlangıcında merkez düğüm haricinde her hangi bir düğümün haberleşme topolojisinden çıkarılmasını temel almaktadır. İkinci senaryo olan koordineli düğüm etkisizleştirme yönteminde ise, yapılan analizler sonucunda belirlenen sıralı düğüm gruplarının haberleşme topolojisinden çıkarılması ile gerçekleştirilmektedir. Her iki senaryoda da topolojiden çıkarılan düğümlerin ardından oluşan güncel haberleşme mimarisinde el değmemiş düğümlerin veri iletimindeki konumları sabit kalmaktadır. Rastgele düğüm etkisizleştirme senaryosu, öngörülemeyen doğal olaylar nedeniyle ara düğümlerin yaşam süresinin son bulup veri iletimi akışından çıkmasını modellerken, koordineli düğüm etkisizleştirme senaryosu ise akıllı yapılar aracılığı ile hedeflenen haberleşme düğümlerinin siber saldırılar neticesinde haberleşme ağında kullanılamaz hale gelmeleri durumunu modellemektedir.

2.1 Genel Bakış

Sistem modelinin ana unsurları aşağıdaki gibidir:

1. DKSA için AÖ değerlerinin doğru bir şekilde değerlendirmesini yapabilmek için, alt bölümde sunulan deneysel olarak doğrulanmış yol kaybı modelleri benimsenmiştir 2.2.
2. Alt bölümde tanıtılan ve sensör ağ iletişiminde saha koşullarında aktif olarak kullanılan bir sensör düğümü platformunun özelliklerini benimsenmiştir 2.3.
3. Alt bölümde ayrıntılı olarak açıklanan ve yukarıda belirtilen yol kaybı modeline ve sensör düğümü platformuna dayalı ayrıntılı bir enerji yayma modeli oluşturulmuştur 2.4.
4. Ağ seviyesi, bağlantı seviyesi ve topolojiye duyarlı olmayan İGS ve VPB atama stratejilerinin performanslarını karakterize etmek için, alt bölümde açıklanan üç optimizasyon modeli tasarlanmıştır 2.5.
5. Düğüm hatalarının DKSA yapılarının AÖ değerleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, alt bölümde açıklanmış olan iki farklı düğüm hatası modeli (rastgele ve koordineli) önerilmiştir 2.6.
6. Sistem modeli gerçekçi varsayımlara ve makul soyutlamalara dayanmaktadır, bu nedenle, bu çalışmada sunduğumuz performans değerlendirmeleri,

idealleştirilmiş ve gerçekçi çalışma koşulları altında en iyi sistem davranışını ortaya koyacak şekilde tasarlanmıştır.

7. Sistem modeli, sistem davranışını karakterize etmek için oluşturulur, ancak DKSA yapılarının AÖ değerlerini veya güvenilirlik başarımını arttırmak için yeni bir algoritma veya yaklaşım önermek için yaratılmaz. Bu nedenle, potansiyel olarak optimal olmayan çözümlere yol açabilecek herhangi bir sezgisel modelle karşılaştırmalar, optimum sonuçlar hazır olduğunda anlamlı değildir. Dolayısıyla, bu çalışmanın katkıları yeni bir algoritma veya tekniğin oluşturulmasını içermemektedir, bunun yerine, sistem modelinin oluşturulması ve aşağıdaki sistem modeli kullanılarak DKSA yapılarının güvenilirliğinin AÖ açısından optimum çalışma koşulları altında incelenmesine dayanmaktadır.

Sistem mimarisinde, çok sayıda sensör düğümünden ve ağın bir ucunda bulunan bir baz istasyonundan oluşan bir DKSA yapısı kullanılmıştır. Sensör düğümleri bir hat topolojisi boyunca eşit uzaklıkta yerleştirilir, ancak, benimsenen yol kaybı modelinin istatistiksel doğası nedeniyle aralarında yol kaybı değerleri farklı olabilir. Zaman, sabit süreli turlar halinde düzenlenmiştir. Her sensör düğümü, her turda aynı miktarda veri oluşturur ve paketlenmiş verileri doğrudan veya röleler olarak işlev gören diğer sensör düğümleri aracılığıyla baz istasyonu görevi gören merkez düğüme doğru iletir. Amaç olarak, herhangi bir sensör düğümünün batarya enerjisini verimsiz bir şekilde kullanmasını önlemek için sensör düğümlerinin veri akışını ve enerji yayma modellerini optimize ederek DKSA yapılarının AÖ değerini en üst seviyeye çıkarmak hedeflenmiştir.

2.2 Yol Kaybı Modeli

Sistemde kullanılmak üzere yer yüzeyine yakın çevre modelleri referans alınmıştır. Bu sayede kablosuz sensör ağ yapılarının gerçek hayatta kullanım modellemesi gerçeğe en yakın şekilde oluşturulmuştur. Yol kaybı modeli oluşturulurken log-normal gölgeleme modeli referans olarak alınmıştır. Modelin parametreleri, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında elde edilmiştir [32]. Düğüm i ve düğüm j (aralarındaki uzaklığın d_{ij} ile ifade edilen iki düğüm) arasındaki yol kaybı ϕ_{ij} ifadesi ile gösterilen ve dB cinsinden hesaplanan denklem aşağıda verilmiştir.

$$\phi_{ij} = \phi_0 + 10\alpha \log_{10} \left(\frac{d_{ij}}{d_0} \right) + X_{\sigma}, \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde, ϕ_0 , referans olarak alınan mesafesindeki referans yol kaybıdır, d_0 referans olarak alınan mesafe, d_{ij} , i ve j düğümleri arasındaki mesafedir α , yol kaybı üssünü ifade etmektedir. X_σ , $\mathcal{N}(0, \sigma)$ dağılımına sahip bir Gauss rastgele değişkenidir ve toplam gürültü gücü, incelenen üç ortam için P_ω ile gösterilir. Tasarım modelinde kullanılmış olan 3 çevre modeline ait parametre değerleri tablo 2.1 'de verilmiştir. Tablo artan sırada verilen Yayılma Ortamları (YO) sırasıyla daha zor ortamları modellemek için kullanılmaktadır. Örneğin, Yayılma Ortamı 1 (YO1) yayılımın en kolay gerçekleştiği ortamdır. YO3 ise yayılımın en zor gerçekleştiği ortamı modellemektedir.

Çizelge 2.1: Yayılım ortamlarının parametreleri.

	α	σ
Yayılım Ortamı 1	1.75	2.00
Yayılım Ortamı 2	2.00	2.25
Yayılım Ortamı 3	2.25	2.50

2.3 İletim Modeli

Veri iletimi esnasında tüketilen güç değeri P_{tx}^l değişkeni ile gösterilir ve çıkış gücü seviyesine (l) bağlıdır. $P_{tx}^{out,l}$, Chipcon CC2420 alıcı-verici ürünü için dBm cinsinden anten çıkış gücünü ifade etmektedir. Tmote platformu için belgelenmiş güç tüketimi ve karşılık gelen çıkış güç seviyeleri Table 2.2'de verilmiştir [1]. Veri alışı sırasında tüketilen güç P_{rx} ile ifade edilir ve değeri 69 mW'dır.

Çizelge 2.2: Tmote Sky platformu için İGS değerleri (l), dBm cinsinden anten çıkış gücü $P_{tx}^{out,l}$ ve devre güç tüketimi P_{tx}^l (mW)

l	P_{tx}^l	$P_{tx}^{out,l}$	l	P_{tx}^l	$P_{tx}^{out,l}$
1	25.5	-25	5	41.7	-5
2	29.7	-15	6	45.6	-3
3	33.6	-10	7	49.5	-1
4	37.5	-7	8	52.2	0

2.4 Enerji Yayılım Modeli

Bu bölümde enerji kısıtlamalarında kullanılan parametrelerle birlikte enerji yayılım modeli sunulmuştur. Verici veya alıcının bağıl hareketi olmadığı için düğümlerin statik olduğu varsayılmıştır. İletişim kanalının, seyrek veri iletimi ve haberleşme hızının yavaş olmasından kaynaklı olarak dinamik varyasyona eğilimli olduğu gösterilmiştir [75].

i düğümünden j düğümüne l İGS'nde yayılan sinyalin alıcı kanaldaki gücü;

$$P_{rx,ij}^{in,l} = P_{tx}^{out,l} - \phi_{ij}. \quad (2.2)$$

i düğümünden j düğümüne l İGS'nde yayılan sinyalin alıcı kanaldaki dB cinsinden Sinyal Gürültü Oranı (SGO);

$$\chi_{ij}^l = P_{rx,ij}^{in,l} - P_{\omega}. \quad (2.3)$$

η bayt paket boyutuna sahip verinin alıcı birimi tarafından hatasız alınma oranı;

$$\rho_{ij}^{l,s}(\eta) = \left(1 - Q\left(\sqrt{16\chi_{ij}^l}\right)\right)^{8\eta}, \quad (2.4)$$

$Q(\cdot)$, standart normal dağılımın kuyruk dağılım fonksiyonudur. Paket Hata Oranı (PHO) aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$\rho_{ij}^{l,f}(\eta) = 1 - \rho_{ij}^{l,s}(\eta). \quad (2.5)$$

Pratik kablosuz iletişim sistemlerinde, veri alışverişi, tokalaşma yoluyla gerçekleşir (yani, veri paketi alımları, ACK paketleri tarafından onaylanır). Önceden belirlenmiş bir süreden sonra bir ACK paketi alınmazsa (yani, bir zaman aşımı meydana gelirse), anlaşmanın başarısız olduğu varsayılır. l güç seviyesinde η^m bayt verinin ve k güç seviyesinde η^A bayt ACK verisinin iletilmesi ile ortaya çıkan iki yönlü tokalaşma olasılığı, $\beta_{ij}^{lkm,s}$, aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\beta_{ij}^{lkm,s} = \rho_{ij}^{l,s}(\eta^m) \rho_{ji}^{k,s}(\eta_A). \quad (2.6)$$

Başka bir deyişle, başarısız tokalaşma olasılığı $(1 - \beta_{ij}^{lkm,s})$ şeklinde ifade edilir.

η^m boyutunda paketin iletimi esnasında harcanan enerji değeri ($E_{tx}^l(\eta^m)$), l güç seviyesindeki iletim gücü P_{tx}^l , ve paket boyutunu kanal oranına (ζ) bölerek hesaplanan iletim süresi, $T_{tx}(\eta^m)$, değişkenleri kullanılarak şu şekilde hesaplanır:

$$E_{tx}^l(\eta^m) = P_{tx}^l T_{tx}(\eta^m), \quad (2.7)$$

Bir η^m bayt paket iletiminden sonra, iletimi gerçekleştiren düğüm, zaman aralığının sonuna kadar $T_{slot}^m - T_{tx}(\eta^m)$ süresi boyunca tokalaşma işleminin başarılı olup olmadığını anlamak için alım modunda bekler. Bu süre T_{slot}^m ile ifade edilir.

$$T_{slot}^m = 2T_{grd} + T_{tx}(\eta^m) + T_{prp} + T_{tx}(\eta_A), \quad (2.8)$$

T_{prp} yayılma gecikmesini, T_{grd} ise koruma süresini ifade etmektedir.

Bir veri ileten düğümün enerji tüketimi, ACK paketi başarılı bir şekilde alınıp alınmadığına bakılmaksızın aynıdır. Veri iletimini gerçekleştiren düğüm iletimin başarılı olduğunu belirten ACK mesajının bekleme süresini hesaba kattıktan sonra iki yönlü tokalaşma için gereken toplam enerji şu şekilde ifade edilir:

$$E_{tx}^{HS}(\eta^m) = E_{tx}^l(\eta^m) + P_{rx}(T_{slot}^m - T_{tx}(\eta^m)). \quad (2.9)$$

Kablosuz kanalın hataya açık doğası nedeniyle, bir yeniden iletim sürecinin işleyişte olduğunu varsayıyoruz. Ortalama olarak, bir tokalaşma işlemi için yeniden iletim oranı şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda_{ij}^{lkm} = \frac{1}{\beta_{ij}^{lkm,s}}, \quad (2.10)$$

Bu nedenle, yeniden iletimler için enerji dağıtımı dahil olmak üzere bir tokalaşma işlemi için bir veri ileten düğümün ortalama enerji tüketimi;

$$E_{tx,ij}^{lkm} = E_P^m + \lambda_{ij}^{lkm} E_{tx}^{HS,l}(\eta^m), \quad (2.11)$$

E_P^m , veriyi işlemek için gereken enerjidir.

Başarılı bir tokalaşma işlemi için bir veri iletiminin amaçlanan alıcısının (düğüm j) enerji kaybı, veri paketinin alınması ve ACK paketinin iletilmesinden kaynaklanmaktadır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$E_{rx}^{HS,s}(\eta_A) = E_{tx}^k(\eta_A) + P_{rx}(T_{slot}^m - T_{tx}(\eta_A)). \quad (2.12)$$

Veri paketi düğümü tarafından başarılı bir şekilde alındığı sürece, j düğümünün enerji harcaması, düğüm i ACK paketini başarıyla alamadığı durumlarda da aynı kalır. Ancak, j düğümü veri paketini başarılı bir şekilde alamazsa, j düğümün enerji kullanımı aşağıdaki şekilde gerçekleşir:

$$E_{rx}^{HS,f} = P_{rx} T_{slot}^m. \quad (2.13)$$

Bu nedenle, yeniden iletimler hesaba katılarak, tokalaşma işlemi için alıcı düğümde harcanan ortalama enerji şu şekilde hesaplanır:

$$E_{rx,ji}^{lkm} = E_P^m + \lambda_{ij}^{lkm} \left[\beta_{ij}^{lkm,s} E_{rx}^{HS,s}(\eta_A) + \rho_{ij}^{l,s}(\eta^m) \rho_{ji}^{k,f}(\eta_A) E_{rx}^{HS,s}(\eta_A) + \rho_{ij}^{l,f}(\eta^m) E_{rx}^{HS,f} \right]. \quad (2.14)$$

2.5 Eniyileme Modeli

Üç İGS ve VPB atama stratejisini modellemek için bir eniyileme çerçevesi oluşturulmuştur. Bağlantı düzeyinde İGS ve VPB eniyilemesi (LnkPS) stratejisinde, mesaj ve ACK verileri İGS ve VPB atama değerleri tüm bağlantılar için eniyilenmiştir. Ağ düzeyinde İGS ve VPB eniyilemesi (NetPS) stratejisinde, ağdaki tüm bağlantılar için tek bir eniyi veri/ACK İGS ve VPB değer kümesi kullanılır. Sabit en yüksek İGS ve en düşük VPB değer atama (FixPS) stratejisinde, en yüksek İGS ve en düşük VPB değer kümesi, ağ topolojisinden bağımsız olarak kullanılır. Aslında, bu üç strateji, literatürde önerilen İGS ve/veya VPB eniyileme yaklaşımları tarafından kullanılan tasarım fikirlerinin genelleştirilmiş soyutlamaları olarak düşünülebilir. [3, 11, 13, 15, 16, 19, 22, 34, 36, 37, 42, 57, 66, 68–70, 72].

DKSA yaklaşımının, ağ ömrü maksimizasyonu probleminin mimarisini gerçekleştirmek için yönlendirilmiş akış diyagramı ($G(V,A)$) olduğu varsayılır. Düğüm seti V ile gösterilir ve bağlantı seti $A = \{(i,j) : i \in V, j \in V - i\}$ ile gösterilir. Gösterim kolaylığı için, yalnızca sensör düğümleri kümesi olan başka bir W kümesi tanımlanmıştır. η^m bayt veri paketlerinin i düğümünden İGS l değerinde ve j düğümüne İGS k değerinde iletilen verinin miktarı f_{ij}^{lkm} ile ifade edilir. İGS değer kümesi, 2.3 alt bölümünde tanımlanır ve S_L ile gösterilir. VPB seti ise S_M ile ifade edilir.

2.5.1 Genel Eniyileme Modeli

Önce genel bir optimizasyon modeli sunuyoruz. Daha sonra diğer stratejilerin optimizasyon modellerini genel eniyileme modeli üzerine kurulmuştur. 2.5.1 alt başlığı altında, çalışma zamanı tur dilimleri ile ifade edilmiştir. Bu sebeple, AÖ değeri tur sayısı, N_{rnd} , ve tur süresi T_{rnd} ile ifade edilmektedir. Amaç, AÖ değerini turlar cinsinde maksimize etmektir ve bu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\text{Maximize } N_{rnd}. \quad (2.15)$$

Her bir sensör düğümü, her turda aynı miktarda veri üretir, s_i , üretilen bu veri, baz istasyonuna bütünüyle doğrudan ve/veya çoklu atlamada röle düğümleri olarak işlev gören diğer sensör düğümleri aracılığıyla kaynak düğüme iletilir. Denklem (2.16) akış koruma kısıtlamasını göstermektedir.

$$\sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (i,j) \in A}} \eta_D^m f_{ij}^{lkm} - \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (j,i) \in A}} \eta_D^m f_{ji}^{lkm} = \begin{cases} s_i N_{rnd}, \forall i \in W. \\ -s_i N_{rnd} |W|, i = 1, \end{cases} \quad (2.16)$$

$|W|$, W kümesinin boyutunu ve η_D^m , bir η^m bayt veri paketinin yük kısmının boyutunu belirtir. Aslında, tüm veri paketlerinin sabit bir ek yük kısmına sahip olduğu varsayılmıştır, bu nedenle toplam paket boyutu ile yük arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\eta^m = \eta_D^m + \eta_H \quad \forall m \in S_M. \quad (2.17)$$

Bir DKSA yapısının çalışma ömrü boyunca, bir sensör düğümü enerjiyi veri iletim modunda, veri alım modunda, veri doğrulama modunda ve uyku modunda kullanır. Her turda her sensör düğümü, veri doğrulama modunda T_{DA} değişkeni ile ifade edilen değer boyunca çalışır. Bir tokalaşma sürecine dahil olan herhangi bir düğüm, karşılık gelen zaman aralığının tamamı boyunca alım veya iletim modunda kalır. Bu nedenle, veri doğrulama, veri iletimi ve veri alımı için harcanan toplam süreyi ifade eden i düğümünün tüm AÖ boyunca toplam meşgul olduğu süre (T_{busy}^i) şu şekilde ifade edilir:

$$T_{busy}^i = N_{rnd} T_{DA} + \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (i,j) \in A}} T_{slot}^m \lambda_{ij}^{lkm} f_{ij}^{lkm} + \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (j,i) \in A}} T_{slot}^m \lambda_{ji}^{lkm} f_{ji}^{lkm}, \forall i \in W. \quad (2.18)$$

Her bir sensör düğümünün enerji harcama kısıtı, bataryasında depolanan enerji miktarı e_i ile sınırlandırılmıştır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (i,j) \in A}} E_{tx,ij}^{lkm} f_{ij}^{lkm} + \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (j,i) \in A}} E_{rx,ji}^{lkm} f_{ji}^{lkm} + P_{slp} (N_{rnd} T_{rnd} - T_{bsy,i}) + N_{rnd} E_{DA} \leq e_i, \forall i \in W. \quad (2.19)$$

Denklem 2.19'de verilen ilk terim, veri paketi ileticisi olarak hareket ettiği zaman dilimleri için i düğümünün toplam enerji harcamasını ifade eder. İkinci terim, veri

paketi alıcısı olarak hareket ettiği zaman dilimleri için i düğümün toplam enerji harcamasını ifade eder. Üçüncü terim, uyku modunda i düğümünün enerji kaybını belirtir, denklemde kullanılan P_{slp} değişkeni sensörün uyku modundaki güç tüketimini gösterir. Dördüncü terim, veri doğrulama işlemi için düğümlerin harcadığı enerji miktarını temsil eder, denklemde E_{DA} , veri doğrulama işlemi için her turda her düğümün ortalama enerji harcama miktarını temsil eder.

Her düğümün haberleşmenin devamı için ihtiyaç duyduğu bant genişliği ,alınan ve iletilen veri akışları için kullanılan bant genişliğinden ve düğümler arası meydana gelen karışımlardan kaynaklanan veri akışlarının neden olduğu bant genişliği kaybından oluşur. Denklem 2.20 , haberleşme sisteminin ömrü boyunca toplam bant genişliği kapasitesi açısından i düğümünün bant genişliği kullanımına bir üst sınır koyar.

$$\begin{aligned} & \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (i,j) \in A}} \lambda_{ij}^{lkm} f_{ij}^{lkm} T_{slot}^m + \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (j,i) \in A}} \lambda_{ji}^{lkm} f_{ji}^{lkm} T_{slot}^m \\ & + \sum_{\substack{l,k \in S_L \\ m \in S_M \\ (j,n) \in A}} \lambda_{jn}^{lkm} f_{jn}^{lkm} I_{jn}^i T_{slot}^m \leq N_{rnd} T_{rnd}, \forall i \in V. \end{aligned} \quad (2.20)$$

I_{jn}^i , [15] çalışmasından türetilen girişim matrisidir. Denklem 2.21 'deki birinci ve ikinci terimler, sırasıyla i düğümünün veri ileticisi ve veri alıcısı olduğu zaman dilimlerini hesaba katar. Üçüncü terim, diğer verici/alıcı çiftlerinden meydana gelen haberleşme trafiğinin neden olduğu girişimin i düğümünün veri iletmesini ve veri almasını önleyen zaman dilimlerini temsil eder. Etkileşim matrisi aşağıda verilmiştir.

$$I_{jn}^i = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{rx,ji}^{in,l} \geq P_v \text{ or } P_{rx,ni}^{in,k} \geq P_v \\ 0, & \text{o.w.} \end{cases} \quad (2.21)$$

P_v , alıcı ve verici düğümlerin hassasiyet seviyesi dikkate alınarak belirlenen girişim eşik değerini ifade etmektedir.

2.5.2 Ağ Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi (NetPS)

NetPS eniyileme stratejisi, ağdaki tüm bağlantılarda tek bir veri paketi İGS (l), ACK İGS (k) ve VPB değerleri (η^m) atama işlemlerini gerçekleştirmek için tasar-

lanmıştır. Yöntem gereği rastgele bir değer kümesi seçilebilmesine rağmen, haberleşme sisteminin ağ ömrünü maksimize eden en uygun kümenin seçilmesi tercih edilmiştir. NetPS eniyileme stratejisinin amacı genel eniyileme modeli ile aynıdır (Denklem 2.15). Genel eniyileme modelinde kullanılan kısıtların tamamı NetPS eniyileme stratejisi için de geçerlidir (Denklemler (2.16)–(2.21)). Bununla birlikte, ağda yalnızca bir set (l, k, m) kullanıldığından emin olmak için NetPS eniyileme stratejisine iki yeni kısıt daha eklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, a_{lkm} ikili gösterge değişkeni tanımlanmıştır. Denklem (2.22), belirli bir küme için herhangi bir bağlantıda sıfır olmayan herhangi bir f_{ij}^{lkm} akışı varsa (l, k, m) belirtir. Ardından, ikili gösterge değişkeni bu küme için bire ayarlanır ($a_{lkm} = 1$). M sabiti, herhangi bir f_{ij}^{lkm} değişkeninin maksimum değerinden daha büyük olacak şekilde seçilir.

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^{lkm} < M \times a_{lkm}, \forall l, k \in S_L, \forall m \in S_M. \quad (2.22)$$

Denklem (2.23), yalnızca belirli bir küme (l, k, m) için $a_{lkm} = 1$ değerinin atanmasını sağlar, bu sayede ağdaki tüm bağlantılar için özel olarak kullanıldığında haberleşme sisteminin ağ ömrünü eniyiler.

$$\sum_{\substack{l, k \in S_L \\ m \in S_M}} a_{lkm} \leq 1. \quad (2.23)$$

2.5.3 Bağlantı Seviyesi İGS ve VPB Eniyileme Stratejisi (LnkPS)

Her bağlantı için en uygun (l, k, m) değer kümesinin kullanılması, NetPS eniyileme stratejisine kıyasla LnkPS eniyileme stratejisinin haberleşme sisteminde daha yüksek ağ yaşam süresi seviyelerini görmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, LnkPS eniyileme stratejisinde her bağlantı için optimum (l_{ij}, k_{ji}, m_{ij}) değer kümesi denklem (2.24) kullanılarak belirlenir ve bu sayede her bağlantıdaki bayt başına harcanan enerji miktarını en aza indirir.

$$\{l_{ij}, k_{ji}, m_{ij}\} = \arg \min_{l, k, m} \left(\frac{E_{tx,ij}^{lkm} + E_{rx,ji}^{lkm}}{\eta^m} \right), \forall (i, j) \in A. \quad (2.24)$$

Genel optimizasyon modelinin amaç işlevi ve tüm kısıtlamaları, LnkPS eniyileme stratejisi için de geçerlidir (Denklemler (2.15)–(2.21)). Ancak, LnkPS eniyileme

stratejisinde her bağlantı için optimum (l, k, m) değer kümesi denklem (2.24) ile belirlendiği için, $l, k \in S_L, m \in S_M$ toplam değerlerinin kısıt içerisinde kullanılmasına gerek kalmamıştır. Bu nedenle tüm toplam sembolleri LnkPS eniyileme stratejisi için $(i, j) \in A$ olarak kullanılmaktadır. Bunun sonucunda $\lambda_{ij}^{lkm}, f_{ij}^{lkm}, E_{tx,ij}^{lkm}$ ve $E_{rx,ji}^{lkm}$ değişkenleri $\lambda_{ij}, f_{ij}, E_{tx,ij}$ ve $E_{rx,ji}$ olacak şekilde güncellenir. Sonuç olarak eniyileme modeli her bağlantı için yalnızca önceden belirlenmiş optimal (l_{ij}, k_{ji}, m_{ij}) değer kümesini kullanır.

2.5.4 En Yüksek İGS ve En Düşük VPB Atama Stratejisi (FixPS)

FixPs eniyileme stratejisi, ağdaki tüm bağlantılar için sabit (l, k, m) değer kümesi kullanılacak şekilde NetPS eniyileme stratejisiyle aynı temel mantık üzerine kurulmuştur. Bununla birlikte, veri ve ACK paketleri için İGS değerleri (l, k) , kullanılan alıcı-verici birimleri tarafından sağlanan en yüksek güç seviyesi olarak seçilir (TPL-8, bkz. Tablo 2.2) ve VBP değerleri (m) , S_M değer kümesi içerisindeki en düşük VPB ($\eta^1 = 28$ bayt) olarak seçilir. FixPS stratejisi, mümkün olan en düşük ortalama PHO değerini verir, ancak aynı zamanda gereksiz yere yüksek İGS değeri kullanarak düşük yol kaybı bağlantılarında gereksiz enerji israfına sebep olur. Bununla birlikte, FixPS eniyileme stratejisi, NetPS ve LnkPS eniyileme stratejilerine kıyasla verimlilik yerine güvenilirliğin aşırı vurgulandığı durumları analiz etme işlemi için çok kritiktir.

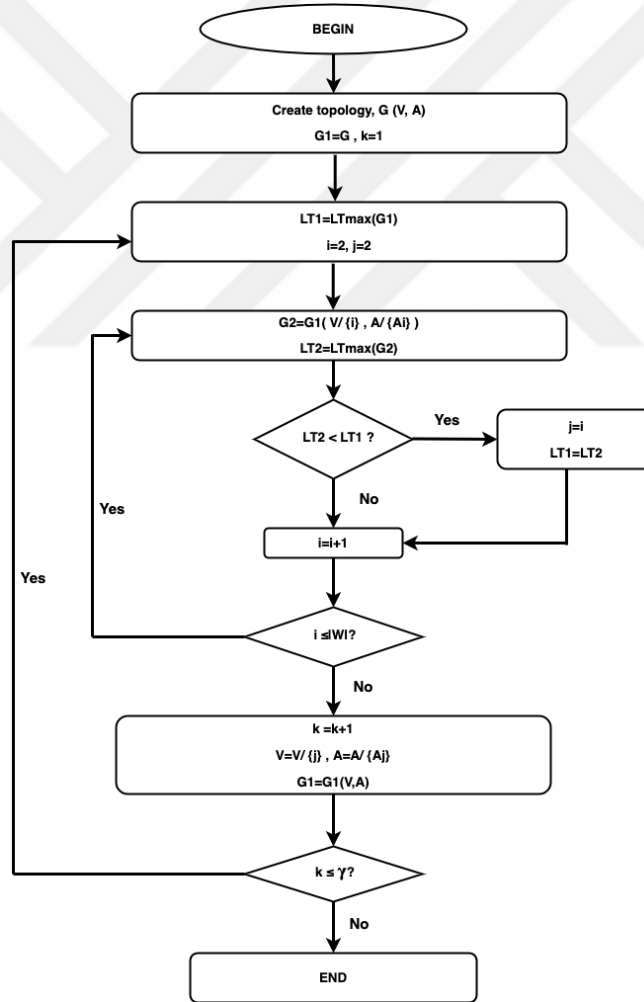
2.6 Basamaklı Düğüm Hataları Modeli

Genel olarak KSA yapılarındaki ve özellikle DKSA yapılarındaki düğüm hatalarının meydana gelmesinde çeşitli etkenler vardır [4, 5, 7, 12, 17, 18, 23, 24, 30, 39–41, 43, 45, 51, 52, 56, 60, 63, 69, 72, 73]. Düşman sistemler tarafından gerçekleştirilen güvenlik saldırıları, literatürde araştırılan faktörlerden biridir. Doğal tehlikeler, ekipman arızaları ve yazılım arızaları da düğüm arızalarına yol açabilir. Bununla birlikte, DKSA yapılarının güvenilirlik analizine ilişkin geniş bir perspektifi kolaylaştıran, temel nedeni herhangi bir belirli faktörle açık bir şekilde sınırlamadan, iki genel basamaklı düğüm hatası/etkisizleştirilmesi modelini kullanarak DKSA yapılarındaki AÖ değerinin azalmasının kapsamını çıkarmak amaç edinilmiştir. İstatistiksel anlamlılık için ikili ortalamana hesaplaması, her iki başarısızlık modeli (rastgele düğüm etkisizleştirme ve koordineli düğüm etkisizleştirme) kullanılarak elde edilen sonuçlar üzerinden yapılmaktadır.

2.6.1 Rastgele Düzüm Etkisizleştirme (RDE) Modeli

RDE modelinde sensör düğümleri topolojiden rastgele çıkarılır. Rastgele düzüm etkisizleştirme modelinde, bir dizi elenen düzüm için rastgele düzüm kaldırmanın etkilerini araştırılmıştır. Etkisizleştirilen düğümlerin toplam sayısı γ ile gösterilmektedir. Düzüm etkisizleştirme işlemlerinden önce ve sonra eniyileme probleminin çözümü ile elde edilen AÖ değerleri karşılaştırılarak, düzüm etkisizleştirme işlemlerinin DKSA yapıları üzerindeki etkisinin boyutu belirlenebilir.

2.6.2 Koordineli Düzüm Etkisizleştirme (KDE) Modeli



Şekil 2.1: Koordineli Düzüm Etkisizleştirme Stratejisi Akış Diagramı.

Rastgele düğüm etkisizleştirme modelinin aksine, KDE modelinde, koordineli arızalar rastgele ve/veya birbirinden bağımsız olarak meydana gelmez. Etkisizleştirilen düğümler, seçilen düğüm kümesinin etkisi tüm benzer boyut kümeleri arasında en yüksek olacak şekilde seçilir. Böyle bir etkisizleştirme mekanizması, sınırlı sayıda, ancak en uygun şekilde seçilmiş düğümlerle haberleşme sisteminin yaşam süresini mümkün olduğunca azaltmak için DKSA yapısına yönelik hedefli bir güvenlik saldırısının sonucu olabilir. Bu tür hataların eşit derecede geçerli başka bir yorumu olarak ise, bu tür bir koordineli düğüm etkisizleştirilmesinin meydana gelme olasılığının, aynı boyuttaki herhangi bir başka rastgele düğüm etkisizleştirme kümesinin meydana gelme olasılığı ile eşit derecede muhtemel olması değerlendirilebilir. Bu nedenle, seçilen düğümlerin kritikliğine bağlı olarak AÖ değerindeki azalma, en olumsuz şartlar altındaki AÖ değer azalmasını verir, bu nedenle haberleşme sisteminin yaşam süresindeki azalmanın boyutu için bir üst sınır verir.

Koordineli düğüm hatası modelinin işleyişini özetleyen akış şeması şekil 2.1’de gösterilmektedir. Algoritma girdi olarak haberleşme ağının topolojisini ($G(V,A)$) almaktadır. Etkisizleştirilecek düğümlerin kümesine eklenecek çıkarılan düğüm sayısı ise γ ile gösterilmektedir. İlk olarak geçici topoloji $G1 = G$ değer ataması ile yatarılmaktadır. Algoritmanın iç döngüsü başlatıldıktan sonra $|W|$ kere kendini tekrar eder. Her döngüde tüm sensör düğümleri etkisizleştirilir ve etkisizleştirilen düğümler kümesi (A_i) dikkate alınarak $G1$ ağ topolojisinden yine geçici olan $G2$ ağ topolojisi yaratılıp $G2$ ağ topolojisinin maksimum yaşam süresi hesaplanır ($LTmax(G2)$). Algoritmanın iç döngüsünün sona ermesi üzerine, topolojiden çıkarıldığında sistemin yaşam süresini en çok azaltan düğüm belirlenir ve düğüm ve onunla ilişkili tüm bağlantılar kaldırılarak $G1$ haberleşme topolojisi güncellenir. Dış döngü, iç döngüyü γ kez sürer ve dış döngünün sona ermesi üzerine, kaldırılması AÖ’nü en çok azaltan tüm γ düğümler belirlenir.

3. ANALİZ

Bu bölümde, üç farklı çevre modeli için üç İGS ve VPB değer atama stratejisinin (NetPS, LnkPS ve FixPS) eniyileme modellerinin çözümleri, iki düğüm hatası modeli ve farklı DAM (düğümler arası mesafe) değerleri aracılığıyla DKSA yapılarının AÖ değerleri sistematik olarak araştırılmıştır. Haberleşme mimarisi ile ilgili algoritmalar MATLAB ortamında oluşturulmuş, eniyileme problemleri ise GAMS ortamında CPLEX çözücü ile çözülmüştür. Eşit mesafeli yerleştirilmiş 50 sensör düğümü ($|W| = 50$) ve doğrusal sensör dağıtımının bir ucunda bulunan tek bir baz istasyonu içeren DKSA dağıtım modeli oluşturulmuştur. Çalışmada sonuç olarak sunulan her AÖ değeri istatistiksel anlam kazanması için 100 rastgele sonucun ortalamasıdır. AÖ değerleri yıl cinsinden verilmiş olup AÖ değeri 0.05 yıl değerinin altında kalan test noktalarında AÖ değeri sıfır değerine yakınsanmıştır. Sıfıra yakınsanan noktaların yakınsamayan noktalar ile karşılaştırılması yapılmamıştır.

Üç farklı çevre koşulunda ve bir dizi DAM değerinde LnkPS, NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinin performanslarını AÖ değerleri açısından değerlendirmek için, ilk olarak şekiller 4.1a, 4.1b ve 4.1c' de sunulan verileri kullanarak herhangi bir düğüm hatası olmaksızın AÖ değerleri incelenmiştir. Çevre koşulları zorlaştıkça, haberleşme kanallarındaki daha yüksek yol kaybı değerlerine karşı koymak için daha yüksek enerji harcanmaktadır ve bu sebeple üç stratejinin de AÖ değerleri azalmaktadır. Örneğin, LnkPS/NetPS/FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerleri, DAM = 10 metre olduğu durumda; çevre modeli 1 için, 3.62/3.35/2.11 yıl, çevre modeli 2 için, 2.32/2.17/1.32 yıl ve çevre modeli 3 için, 1.63/1.51/0.91 yıl olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman, çevre modeli 1'e göre çevre modeli 2'de elde edilen AÖ değerleri üç eniyileme stratejisi için %35.80/35.24/37.30 azaldığı, yine çevre modeli 1'e göre çevre modeli 3'de elde edilen AÖ değerlerinin üç eniyileme stratejisi için %54.85/55.02/56.73 azaldığı gözlemlenmiştir. Düğüm arası mesafenin arttığı durumlarda çevre koşullarından bağımsız olarak üç eniyileme stratejisinde de ağın yaşam süresi değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi mesafe arttıkça veri iletimi için bit başına kullanılan enerjinin artmasıdır. Örneğin, DAM değeri 10 metreden 40 metreye arttırıldığı durumda, LnkPS/NetPS/FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerleri çevre modeli 1, çevre modeli 2 ve çevre modeli 3 için sırasıyla %85.10/85.39/84.62, %86.26/86.02/86.77 ve %92.90/93.02/90.14 oranlarında azalmaktadır.

LnkPS eniyileme stratejinde ortaya çıkan AÖ değerleri, tüm test noktaları için NetPS eniyileme stratejinde ortaya çıkan AÖ değerlerinden daha yüksektir çünkü LnkPS eniyileme stratejisi, her bağlantı için İGS ve VPB değerlerini eniyileyerek atama gerçekleştirir. Yine de, DKSA mimarisinin eşit mesafeli düğüm atama

dizilimine sahip olması nedeniyle LnkPS eniyileme stratejinde ortaya çıkan AÖ değerleri ve NetPS eniyileme stratejinde ortaya çıkan AÖ değerleri birbirlerine oldukça yakındır. LnkPS ve NetPS eniyileme stratejilerinde ortaya çıkan AÖ değerlerindeki yüzdesel farkların üç çevre koşulu için sırasıyla (%5.39–%9.28), (%2.79–%10.42), and (%5.20–%10.32) bantlarında olduğu gözlemlenmiştir.

Hem LnkPS hem de NetPS eniyileme stratejilerinde ortaya çıkan AÖ değerleri, FixPS eniyileme stratejisinde ortaya çıkan AÖ değerinden keşfedilen parametre alanı boyunca önemli ölçüde daha yüksektir bunun sebebi ise FixPS eniyileme stratejisinde topoloji duyarsız İGS ve VPB değer atanmasıdır. Ve bu durum önemli miktarda enerji israfına neden olmaktadır. LnkPS ve FixPS eniyileme stratejilerinde ortaya çıkan AÖ değerlerindeki yüzdesel farkların üç çevre koşulu için sırasıyla (%39.89–%42.19), (%40.00–%45.14) ve (%22.41–%46.18) bantlarında olduğu gözlemlenmiştir.

Rastgele düğüm etkisizleştirme senaryosuna göre düğüm etkisizleşmesinin AÖ üzerinde yarattığı etki, etkisizleştirilen düğüm sayısını (γ) 0 ile 5 (sistemdeki toplam düğüm sayısının %10'u) arasındaki tüm değerler ile üç farklı çevre modeli, dört farklı DAM değeri ve üç eniyileme strateji için haberleşme sistemi ağ ömrü açısından şekil 4.2a ve şekil 4.4c arasında sunulan veriler kullanılarak değerlendirilir. Tüm eniyileme stratejilerinde, düğümler arası mesafeden ve çevre şartlarından bağımsız olarak etkisizleştirilen düğüm sayısı (γ) arttıkça AÖ değeri azalmaktadır. Çünkü bir sensör düğümü haberleşme topolojisinden çıkarıldığı zaman, kalan sensör düğümleri miktarı değişmeyen verilerin iletimini gerçekleştirmek için ekstra enerji harcarlar.

Şekil 4.2a ve şekil 4.4c arasında incelenen parametreler ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiği zaman, LnkPS eniyileme stratejisinin AÖ değeri hem NetPS eniyileme stratejisinin AÖ değerinden hem de FixPS eniyileme stratejisinin AÖ değerinden daha yüksektir. NetPS eniyileme stratejisinin AÖ değerinin her zaman FixPS eniyileme stratejisinin AÖ değerinden daha yüksek veya ona eşit olduğu sonucu da yine aynı grafikten elde edilen sonuçlar kullanılarak doğrulanmıştır. Örneğin, $\gamma \geq 1$ için LnkPS eniyileme stratejisinin AÖ değeri ile NetPS eniyileme stratejisinin AÖ değeri arasındaki fark (% 2.93–% 32.09) aralığındadır. LnkPS eniyileme stratejisinin AÖ değeri ile FixPS eniyileme stratejisinin AÖ değeri arasındaki fark (%21.70–%43.95) aralığındadır.

γ değişkeninin bir fonksiyonu olarak AÖ değerindeki azalma, daha düşük DAM değerleri için nispeten daha düşüktür. Örneğin, çevre modeli 1, DAM = 10 metre ve $\gamma = 5$ değerlerinde elde edilen sonuçlar incelendiği zaman sırasıya LnkPS, NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerlerindeki azalış değerlerinin 3.54 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %2.13 oranında AÖ değerinde azalış),

3.14 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %6.31 oranında AÖ değerinde azalış) ve 2.08 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %1.23 oranında AÖ değerinde azalış) olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, DAM arttıkça ve çevre koşulları zorlaştıkça, AÖ değerindeki azalma oranı artar. Örneğin, çevre modeli 2, DAM = 20 metre ve $\gamma = 5$ değerlerinde elde edilen sonuçlar incelendiği zaman sırasıya LnkPS, NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerlerindeki azalış değerlerinin 0.78 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %12.83 oranında AÖ değerinde azalış), 0.68 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %21.93 oranında AÖ değerinde azalış) ve 0.46 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %11.18 oranında AÖ değerinde azalış) olduğu gözlemlenmiştir. Aşırı zorlu durumların modellendiği test noktalarında, AÖ değerinin sıfıra yakınsağı gözlemlenmiştir. Örneğin, çevre modeli 3, DAM = 40 metre ve $\gamma \geq 1$ değerlerinde elde edilen sonuçlar incelendiği zaman sırasıya LnkPS, NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerleri sıfır olarak kabul edilebilir çünkü bu tür durumlarda tek bir düğümün kaldırılması bile veri aktarımının enerji maliyetini önemli ölçüde artırabilir ve düğümler sınırlı batarya enerjilerini hızla ve oldukça verimsiz bir şekilde kullanır.

KDE modeli içerisinde belirlenen düğüm etkisizleştirilme işleminin haberleşme sisteminin ağ ömrü üzerindeki etkisinin kapsamını incelemek için, şekil 4.5a ve şekil 4.7c arasında sunulan veriler incelenmiştir. Genel olarak haberleşme sisteminin ağ ömrü üzerinde daha olumsuz etkisi olan baz istasyonu görevi gören merkez düğüme yakın olan düğümler, KDE modelinde etkisizleştirilen düğümler arasındadır. KDE modeli kullanıldığı durumda düğüm etkisizleştirilmenin haberleşme sisteminin ağ ömrü üzerindeki etkileri, RDE modeli kullanıldığı durumdan daha olumsuzdur. KDE modeli kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, en iyi şartlara sahip çevre modeli ve en düşük DAM değeri kullanıldığında bile tüm eniyileme stratejileri için düğüm etkisizleştirilmenin AÖ üzerindeki etkisi son derece olumsuzdur. Örneğin, çevre modeli 1, DAM = 10 metre ve $\gamma = 5$ değerlerinde elde edilen sonuçlar incelendiği zaman sırasıya LnkPS, NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinin AÖ değerlerindeki azalış değerlerinin 2.08 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %42.38 oranında AÖ değerinde azalış), 1.78 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %46.86 oranında AÖ değerinde azalış) ve 1.29 yıl ($\gamma = 0$ referans noktasına göre %38.86 oranında AÖ değerinde azalış) olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, çevre modeli 1, DAM = 10 metre ve $\gamma = 5$ değerlerinde elde edilen sonuçlar incelendiği zaman LnkPS eniyileme modeli için hem RDE hem de KDE modelleri ile sırasıyla 3.54 yıl ve 2.08 yıl AÖ değerleri gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, aynı şartlar altında KDE modeli kullanıldığında haberleşme sisteminin AÖ değerinin RDE modeline göre %40 oranında daha düşük olduğunu göstermektedir. Sadece DAM = 10 metre olduğu durumda tüm eniyileme stratejileri, tüm çevre şartları ve tüm γ değerlerinde sistemin AÖ değerleri 0 değerinden farklı sonuç vermiştir.

KDE stratejisinde, DAM = 10 metreden büyük olduğu test noktalarında tüm eniyileme stratejileri içinde bazı çevre modellerinde, ya da γ değerlerinde AÖ değerinin 0 olduğu noktalar vardır. Çevre modeli 2 ve DAM ≥ 30 metre olduğu test noktalarında, haberleşme sisteminin AÖ değeri $\gamma \leq 1$ şartının sağlandığı durumlarda tüm eniyileme stratejisi için 0 değerini alır. Ayrı hiç bir eniyileme stratejisinde AÖ değeri, çevre modeli 3, DAM ≥ 10 metre ve $\gamma > 1$ şartları altında 0 harici bir değer vermemiştir. Elde edilen sonuçların detaylı incelenmesinin ardından, KDE modelinin haberleşme sisteminin AÖ değeri üzerindeki etkisinin, RDE modelinin haberleşme sisteminin AÖ değeri üzerindeki etkisinden çok daha olumsuz olduğu analiz edilmiştir. Bununla birlikte, LnkPS eniyileme stratejisi ile elde edilen AÖ değerleri, NetPS ve FixPS eniyileme stratejileri ile elde edilen AÖ değerlerinden çok daha yüksektir.

4. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışma ile, gerçekleştirilecek tekniz analiz öncesinde literatürde doldurulması hedeflenen boşluğun anlaşılması amacı ile DKSA yapılarının güvenilirliği ile ilgili literatürün kısa bir taraması sunulmuştur. Gerçekleştirilen çalışmalar içerisinde gerçekçi bir DKSA modeli yaratabilecek şekilde mimari tasarımlar ve paket boyutu ile birlikte iletim güç seviyesi değer atama işlemlerini birlikte düşünerek eniyileme çerçevesi belirlenmiştir. İki farklı düğüm etkisizleştirme modeli tasarlayarak DKSA mimarisinin farklı güvenilirlik kriterleri altında başarımlarını değerlendirmesi yapılmıştır. Tüm bu girdiler sayesinde DKSA mimarileri için çok geniş parametrelili kapsamlı bir eniyileme analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın ana sonuçları şu şekilde sıralanmıştır:

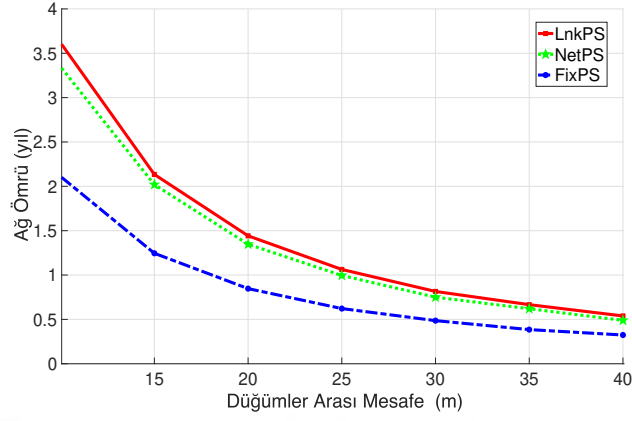
1. Düğüm arızalarını dikkate almadan, her bağlantı için İGS ve VPB değer atama işlemlerini eniyileyen LnkPS eniyileme stratejisi, tek bir İGS değer seti (veri ve ACK paketleri için) ve ağdaki tüm bağlantılar için tek bir VPB değeri kullanan NetPS eniyileme stratejisine göre daha yüksek AÖ değeri verir. Örneğin, LnkPS eniyileme stratejisi ile elde edilen AÖ değerleri, ortalama olarak NetPS eniyileme stratejisi ile elde edilen AÖ değerlerinden %7,30 oranında daha yüksek sonuçlar vermiştir bununla birlikte farkın en yüksek olduğu test noktasında ise %10,42 oranında daha başarılı AÖ değeri elde edilmiştir. Ayrıca, hem LnkPS eniyileme stratejisi hem de NetPS eniyileme stratejisi kullanıldığı zaman elde edilen AÖ değerleri, tüm bağlantılarda en yüksek İGS ve en düşük VPB değerlerinin kümesini kullanan FixPs eniyileme stratejisi kullanıldığı durumda her test noktasında elde edilen AÖ değerlerinden önemli ölçüde daha yüksektir. Örneğin, LnkPS ve NetPS eniyileme stratejileri ile elde edilen AÖ değerleri, ortalama olarak FixPs eniyileme stratejisi ile elde edilen AÖ değerlerinden sırasıyla %41,36 ve %36,68 oranlarında daha yüksek sonuçlar vermiştir bununla birlikte farkın en yüksek olduğu test noktasında ise sırasıyla %46,18 ve %43,23 oranlarında daha başarılı AÖ değeri elde edilmiştir.
2. RDE modelinin sisteme uygulandığı durumlarda DAM değerinin düşük ve çevre şartlarının zor olmadığı test noktalarında, sistem mimarisinde aktif olarak çalışan düğümlerin %10 oranında olan kısmı haberleşme akışından çıkarılsa bile haberleşme sisteminin AÖ değerinde ciddi bir azalış meydana gelmez. Örneğin, DAM = 10 metre, çevre modeli 1 ve $\gamma = 5$ değerlerinin kullanıldığı test noktasında, LnkPS, NetPS ve FixPs eniyileme stratejileri için elde edilen sonuçlar incelendiğinde DAM = 10 metre, çevre modeli 1 ve $\gamma = 0$ değerlerinin kullanıldığı test noktasına göre AÖ değerindeki azalış

oranının sırasıyla, %2.13, %6.31 ve %1.23 oranında olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, DAM değerinin arttığı ve çevre şartlarının zorlaştığı test noktalarında etkisiz hale getirilen düğüm sayısı arttıkça tüm stratejilerde elde edilen AÖ değeri ciddi anlamda azalmaktadır. Örneğin, DAM = 40 metre, çevre modeli 3 ve $\gamma \geq 1$ değerlerinin kullanıldığı test noktalarında, tüm eniyileme stratejileri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde AÖ değerleri 0 olarak sonuç vermiştir. Ayrıca, LnkPS eniyileme stratejisi ile elde edilen AÖ değerleri tüm test noktalarında, NetPS ve FixPs eniyileme stratejileri ile elde edilen AÖ değerlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Örneğin, LnkPS eniyileme stratejisi kullanıldığı zaman AÖ değerleri ortalama olarak NetPS ve FixPS eniyileme stratejilerinden sırasıyla %11.28 ve %37.32 oranlarında daha yüksek sonuçlar vermiştir.

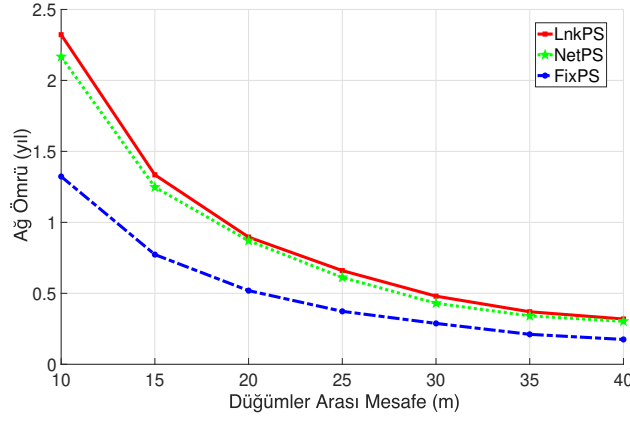
3. Tüm eniyileme stratejileri, düğümler arası mesafe değerleri ve çevre koşulları için, koordineli düğüm etkisizleştirme modeli uygulandığı zaman elde edilen AÖ değerleri rastgele düğüm etkisizleştirme modeli uygulandığı zaman elde edilen AÖ değerlerinden daha düşüktür. Aslında, sadece en düşük DAM değerinin uygulandığı test noktalarında tüm çevre koşulları ve tüm eniyileme stratejilerinde AÖ değerleri 0'dan farklıdır. Ve düğüm hatalarından kaynaklanan AÖ değer azalış oranı yüksektir. Örneğin, LnkPS eniyileme stratejisinde DAM = 10 metre ve $\gamma = 5$ değerlerinin kullanıldığı test noktalarında, çevre modeli 1, çevre modeli 2 ve çevre modeli 3 için elde edilen sonuçlar incelendiğinde AÖ değerindeki azalış oranının sırasıyla, %42.38, %65.72 ve %90.26 oranında olduğu gözlemlenmiştir. Dahası test işlemi için kullandığımız senaryoların yarısından fazlasında haberleşme sisteminin AÖ değerleri 0 olarak elde edilmiştir. Örneğin, $\gamma \geq 1$ durumunda kullanılan 180 test noktasından 91'inde haberleşme sisteminin AÖ değeri 0 olarak elde edilmiştir. Bu tür zorlu koşullar altında bile LnkPS eniyileme stratejisinin AÖ açısından performansı, hem NetPS eniyileme stratejisinden hem de FixPS eniyileme stratejisinden daha yüksektir. Örneğin, tüm test noktalarında elde edilen sonuçların ortalaması alındığı takdirde, LnkPS eniyileme stratesi ile elde edilen AÖ değerlerinin NetPS eniyileme stratesi ve FixPS eniyileme stratesi ile elde edilen AÖ değerlerinden sırasıyla %15.00 ve %38.08 oranında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.
4. Sonuçlarımız, tüm yayılma ortamları, düğümler arası mesafeler ve iki düğüm etkisizleştirme stratejisi altında, DKSA dağıtımları için en iyi AÖ değerini elde etmek için ağdaki tüm bağlantılar için sabit bir İGS ve VPB değer kümesi kullanmak yerine (NetPS ve FixPS eniyileme stratejileri) her bağlantı için İGS ve VPB değerlerini eniyilemenin (LnkPS eniyileme stratejisi) gerekli olduğunu kuvvetle önerilmektedir.

5. Haberleşme ağının esnekliğini ve güvenilirliğini artırmak için güçlü bağlanabilirliği (yani tüm düğümlerin yeterli sayıda doğrudan erişilebilen komşu düğümlere sahip olması gerekir) kolaylaştırmak için DKSA mimarisinde kullanılan düğümlerin stratejik bir şekilde konuşlandırılması gereklidir. Böyle bir yaklaşım, kaçınılmaz olarak, DKSA mimarisinin maliyetini artırır (yani, dağıtılacak sensör düğümlerinin sayısı, düğüm arızalarını dikkate almadan bağlantı kurmak için minimum düğüm sayısına kıyasla artar) ancak, haberleşme ağının bağlantısının kaybı, özellikle kritik altyapı izleme gibi belirli DKSA uygulama senaryoları için kaçınılması gereken bir risktir.

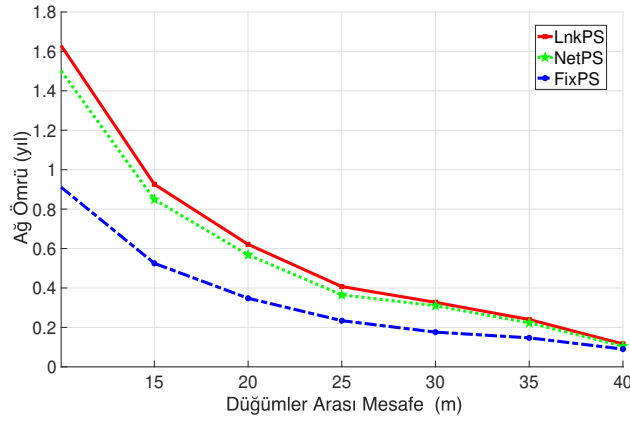




(a) Çevre modeli 1

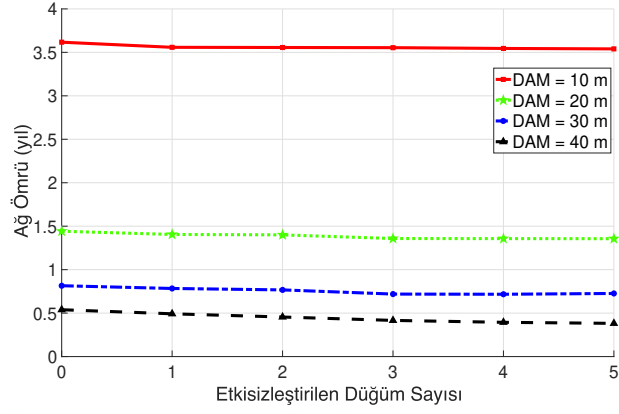


(b) Çevre modeli 2

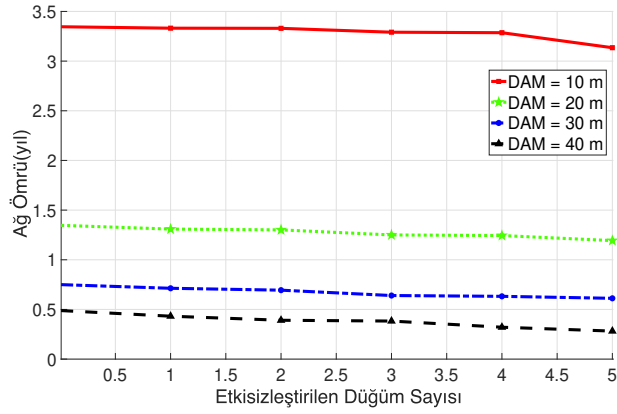


(c) Çevre modeli 3

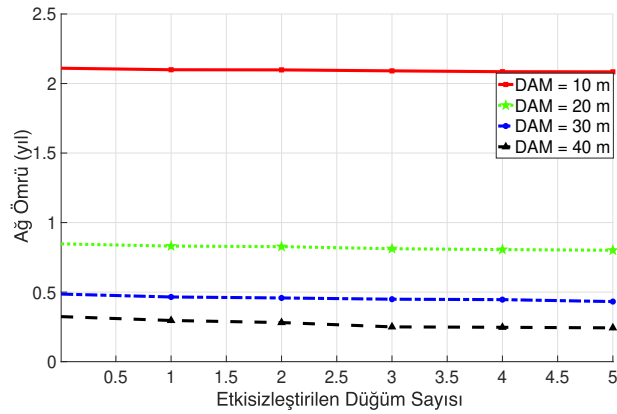
Şekil 4.1: 3 farklı Çevre modeli test ortamında NetPS, LnkPS ve FixPS stratejileri için AÖ ve DAM karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi

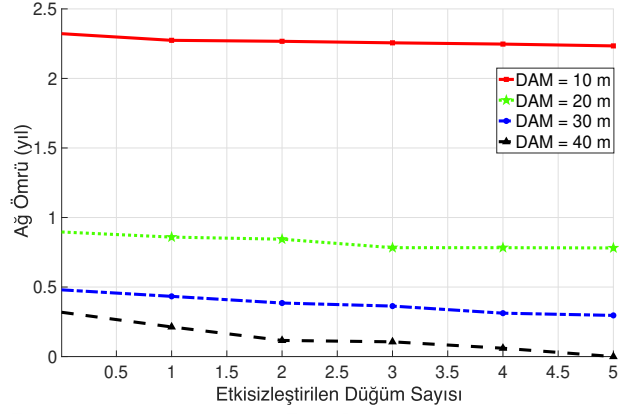


(b) NetPS eniyileme stratejisi

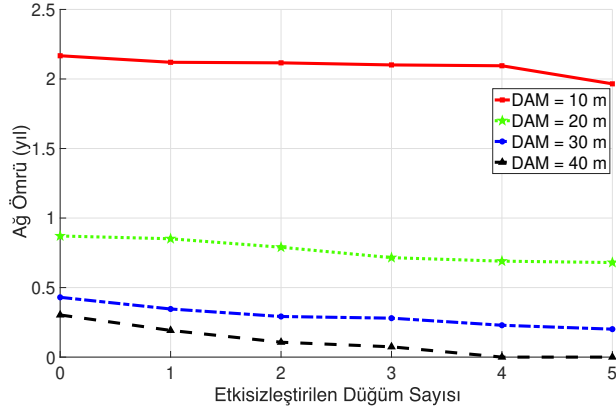


(c) FixPS eniyileme stratejisi

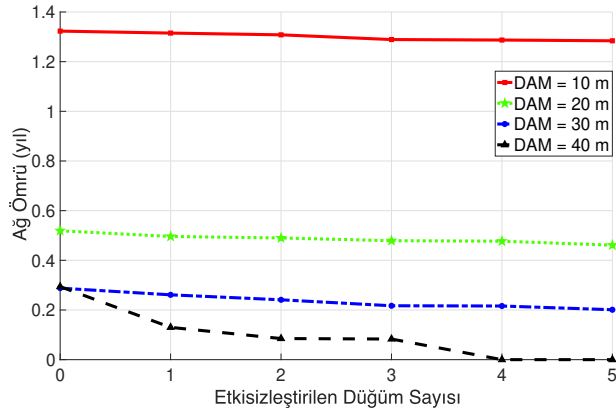
Şekil 4.2: Çevre modeli 1 test ortamında eniyileme stratejileri için RDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi

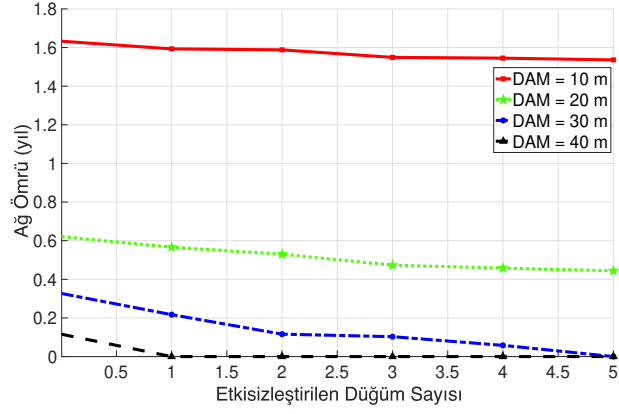


(b) NetPS eniyileme stratejisi

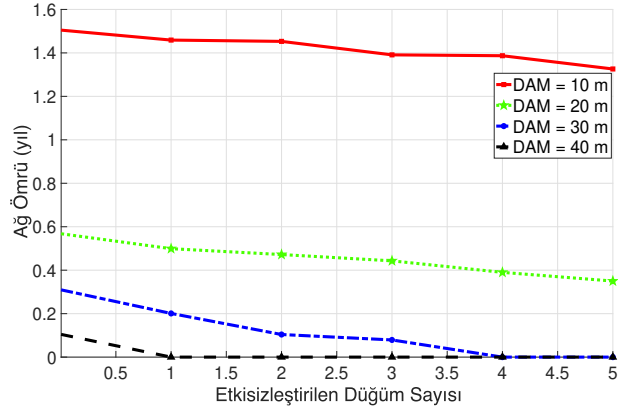


(c) FixPS eniyileme stratejisi

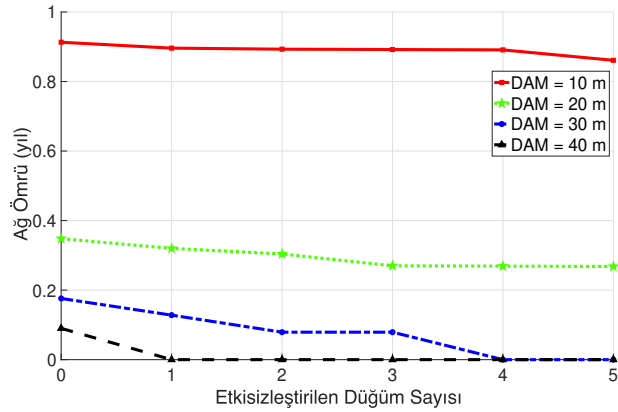
Şekil 4.3: Çevre modeli 2 test ortamında eniyileme stratejileri için RDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi

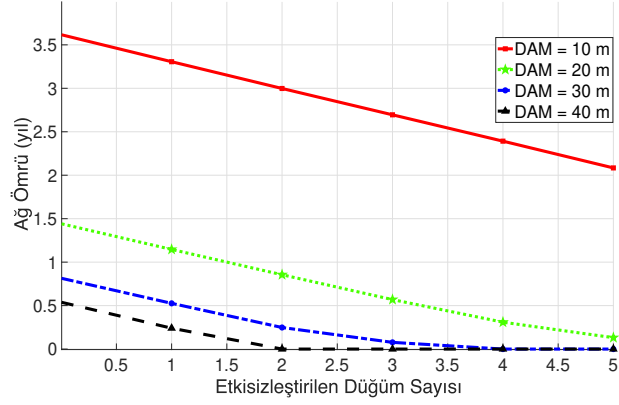


(b) NetPS eniyileme stratejisi

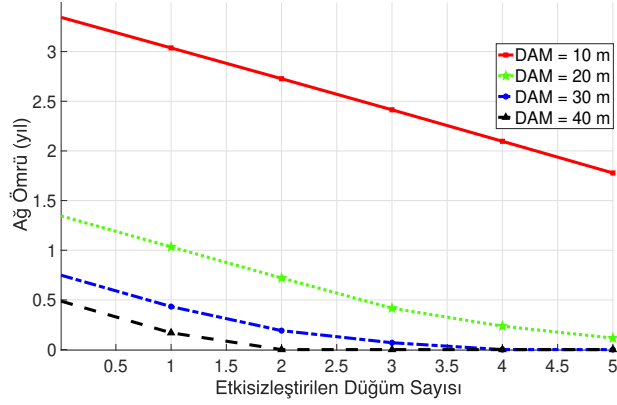


(c) FixPS eniyileme stratejisi

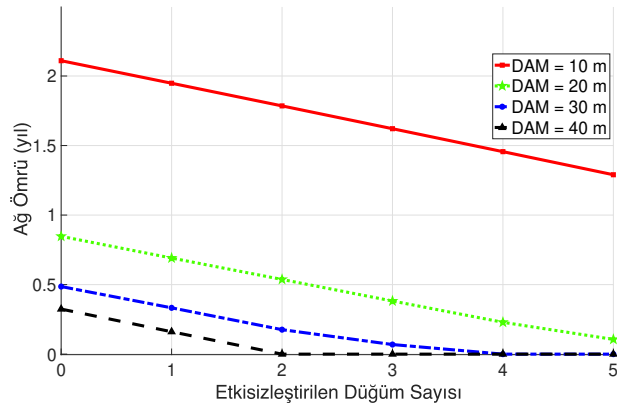
Şekil 4.4: Çevre modeli 3 test ortamında eniyileme stratejileri için RDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi

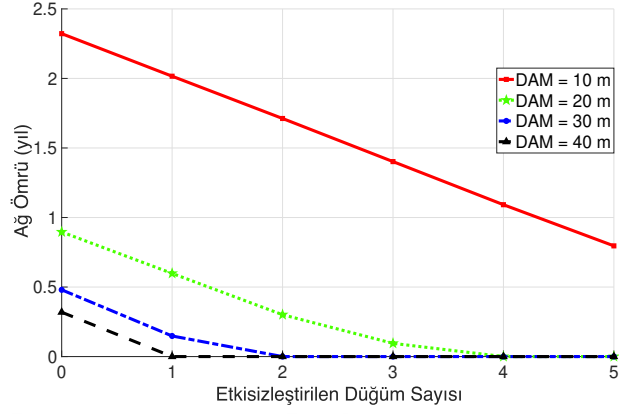


(b) NetPS eniyileme stratejisi

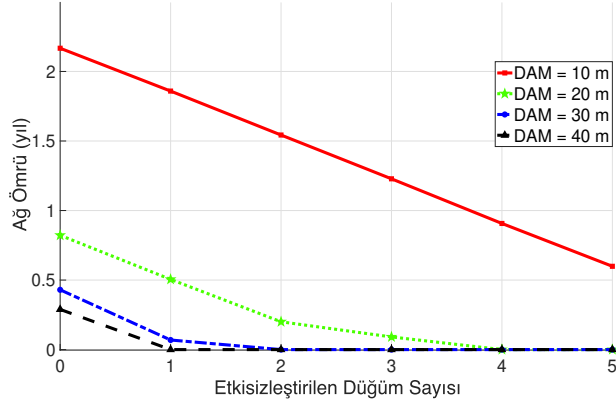


(c) FixPS eniyileme stratejisi

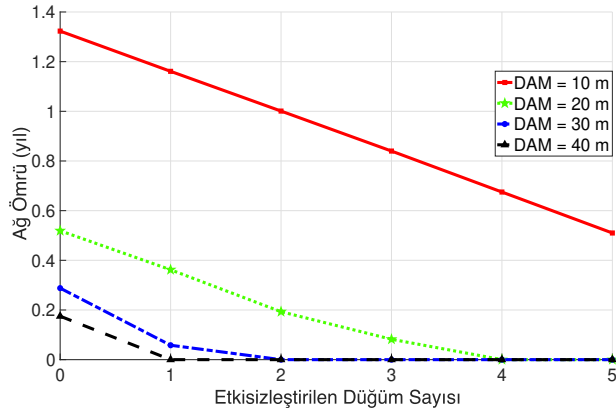
Şekil 4.5: Çevre modeli 1 test ortamında eniyileme stratejileri için KDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi

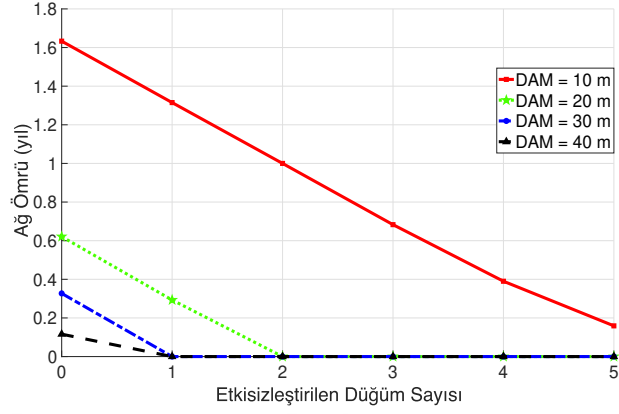


(b) NetPS eniyileme stratejisi

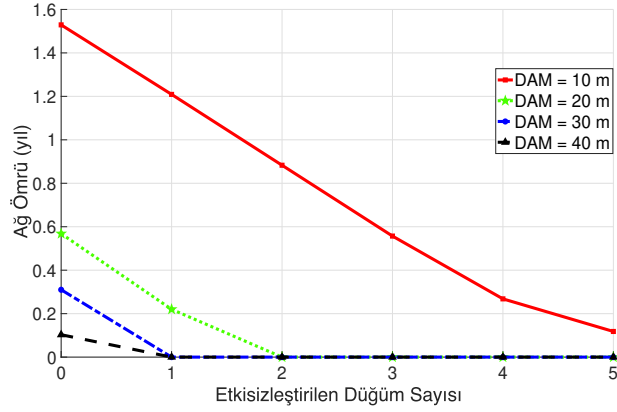


(c) FixPS eniyileme stratejisi

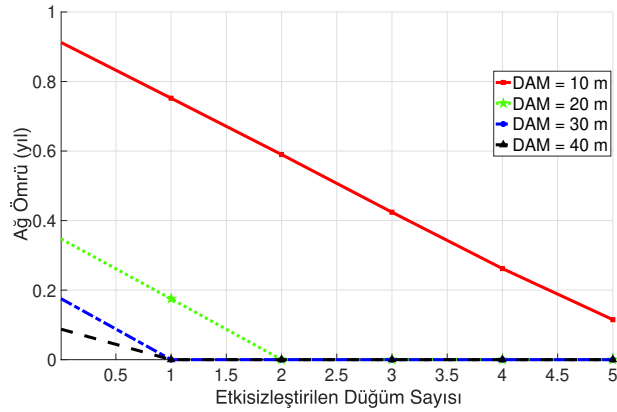
Şekil 4.6: Çevre modeli 2 test ortamında eniyileme stratejileri için KDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.



(a) LnkPS eniyileme stratejisi



(b) NetPS eniyileme stratejisi



(c) FixPS eniyileme stratejisi

Şekil 4.7: Çevre modeli 3 test ortamında eniyileme stratejileri için KDE modeli ile AÖ ve γ karşılaştırması.

Kaynakça

- [1] Tmote Sky Datasheet. <https://usermanual.wiki/Sentilla/TMOTESKY/html>, 2020. Accessed: 2020-05-15.
- [2] AALSALEM, M. Y., KHAN, W. Z., GHARIBI, W., KHAN, M. K., AND ARSHAD, Q. Wireless sensor networks in oil and gas industry: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *J. Netw. Comput. Appl.* 113 (Jul. 2018), 87–97.
- [3] AKBAS, A., YILDIZ, H. U., TAVLI, B., AND ULUDAG, S. Joint optimization of transmission power level and packet size for WSN lifetime maximization. *IEEE Sensors J.* 16, 12 (Jun. 2016), 5084–5094.
- [4] AKKAYA, K., SENEL, F., THIMMAPURAM, A., AND ULUDAG, S. Distributed recovery from network partitioning in movable sensor/actor networks via controlled mobility. *IEEE Trans. Comput.* 59, 2 (Feb. 2010), 258–271.
- [5] AKRAM, V. K., DAGDEVIREN, O., AND TAVLI, B. Distributed k-connectivity restoration for fault tolerant wireless sensor and actuator networks: Algorithm design and experimental evaluations. *IEEE Trans. Rel.* (2020), 1–14.
- [6] ALI, S., ASHRAF, A., QAISAR, S. B., KAMRAN AFRIDI, M., SAEED, H., RASHID, S., FELEMBAN, E. A., AND SHEIKH, A. A. SimpliMote: A wireless sensor network monitoring platform for oil and gas pipelines. *IEEE Syst. J.* 12, 1 (Mar. 2018), 778–789.
- [7] ASHRAF, U. PROSE-proactive resilience in internet of things: Targeted attacks and countermeasures. *IEEE Sensors J.* 18, 24 (Dec. 2018), 10049–10057.
- [8] AZMAN, A. S. A., LEE, M. Y., SUBRAMANIAM, S. K., AND FEROUZ, F. S. Performance evaluation of grid wireless sensor network with different packet size for pipeline in downstream of oil and gas industry. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 765 (Mar. 2020), 1–9.

- [9] BIEZMA, M., ANDRÁS, M., AGUDO, D., AND BRIZ, E. Most fatal oil & gas pipeline accidents through history: A lessons learned approach. *Eng. Fail. Anal.* 110 (Mar. 2020), 104446:1–104446:14.
- [10] BIN, S., AND SUN, G. Optimal energy resources allocation method of wireless sensor networks for intelligent railway systems. *Sensors* 20, 2 (2020), 482.
- [11] CAYIRPUNAR, O., TAVLI, B., KADIOGLU-URTIS, E., AND ULUDAG, S. Optimal mobility patterns of multiple base stations for wireless sensor network lifetime maximization. *IEEE Sensors Journal* 17, 21 (2017), 7177–7188.
- [12] CHANG, S.-Y., KUMAR, S. L. S., HU, Y.-C., AND PARK, Y. Power-positive networking: Wireless-charging-based networking to protect energy against battery DoS attacks. *ACM Trans. Sens. Netw.* 15, 3 (Aug. 2019), 27:11–27:25.
- [13] CHENG, Z., PERILLO, M., AND HEINZELMAN, W. B. General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies. *IEEE Trans. Mobile Comput.* 7, 4 (Apr. 2008), 484–497.
- [14] CORRELL, J. T. Igloo white. *Air Force Mag.* 87, 11 (Nov. 2004), 56–61.
- [15] COTUK, H., TAVLI, B., BICAKCI, K., AND AKGUN, M. B. The impact of bandwidth constraints on the energy consumption of wireless sensor networks. In *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC)* (2014), pp. 2787–2792.
- [16] CUI, H., ZHANG, B., YAN, Y., AND LI, C. Optimal packet size analysis for network coding-enabled two-hop error-prone wireless networks. *IEEE Commun. Lett.* 23, 5 (May 2019), 904–908.
- [17] DAGDEVIREN, O., AKRAM, V. K., AND TAVLI, B. Design and evaluation of algorithms for energy efficient and complete determination of critical nodes for wireless sensor network reliability. *IEEE Trans. Rel.* 68, 1 (Mar. 2019), 280–290.
- [18] DHUNNA, G. S., AND AL-ANBAGI, I. A low power wsns attack detection and isolation mechanism for critical smart grid applications. *IEEE Sensors J.* 19, 13 (Jul. 2019), 5315–5324.
- [19] ELWEKEIL, M., ABDALZAHER, M. S., AND SEDDIK, K. Prolonging smart grid network lifetime through optimising number of sensor nodes and packet length. *IET Commun.* 13, 16 (Oct. 2019), 2478–2484.

- [20] FEI, Z., LI, B., YANG, S., XING, C., CHEN, H., AND HANZO, L. A survey of multi-objective optimization in wireless sensor networks: Metrics, algorithms, and open problems. *IEEE Commun. Surveys Tuts.* 19, 1 (First Quarter 2017), 550–586.
- [21] FLAUZAC, O., HERARD, J., AND NOLOT, F. Synchronization solution to optimize power consumption in linear sensor network. In *Proc. Int. Conf. Fog Mobile Edge Comput. (FMEC)* (2020), pp. 295–300.
- [22] FRESCHI, V., AND LATTANZI, E. A study on the impact of packet length on communication in low power wireless sensor networks under interference. *IEEE Internet Things J.* 6, 2 (Jan. 2019), 3820–3830.
- [23] GALLAIS, A., HEDLI, T., LOSCRI, V., AND MITTON, N. Denial-of-sleep attacks against IoT networks. In *Proc. Int. Conf. Control Decision Informat. Tech. (CoDIT)* (2019), pp. 1025–1030.
- [24] GELENBE, E., AND KADIOGLU, Y. M. Energy life-time of wireless nodes with network attacks and mitigation. In *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC Workshops)* (2018), pp. 1–6.
- [25] HOSSAIN, A., RADHIKA, T., CHAKRABARTI, S., AND BISWAS, P. K. An approach to increase the lifetime of a linear array of wireless sensor nodes. *Int. J. Wireless Inf. Netw.* 15, 2 (May 2008), 72–81.
- [26] HUSSEIN, A., ELNAKIB, A., AND KISHK, S. Linear wireless sensor networks energy minimization using optimal placement strategies of nodes. *Wireless Pers. Commun.* 114 (Oct. 2020), 2841–2854.
- [27] JAWHAR, I., AND MOHAMED, N. A hierarchical and topological classification of linear sensor networks. In *Proc. Wireless Telecommun. Symp. (WTS)* (2009), pp. 1–8.
- [28] JAWHAR, I., MOHAMED, N., AND SHUAIB, K. A framework for pipeline infrastructure monitoring using wireless sensor network. In *Proc. Ann. Wireless Telecommun. Symp. (WTS)* (2007), pp. 1–7.
- [29] KARA, A., AL IMRAN, M. A., AND KARADAG, K. Linear wireless sensor networks for cathodic protection monitoring of pipelines. In *Proc. Int. Conf. Mechat. Robot. Syst. Eng. (MoRSE)* (2019), pp. 233–236.
- [30] KHAN, W. Z., AALSALEM, M. Y., KHAN, M. K., HOSSAIN, M. S., AND ATIQUZZAMAN, M. A reliable internet of things based architecture for oil and gas industry. In *Proc. Int. Conf. Adv. Commun. Tech. (ICACT)* (2017), pp. 705–710.

- [31] KIM, H.-S., PAK, J., CULLER, D. E., AND BAHK, S. PC-RPL: Joint control of routing topology and transmission power in real low-power and lossy networks. *ACM Trans. Sens. Netw.* 16, 2 (Mar. 2020), 14:1–14:31.
- [32] KURT, S., AND TAVLI, B. Path loss modeling for wireless sensor networks: A review of models and comparative evaluations. *IEEE Antennas Propag. Mag.* 59, 1 (Feb. 2017), 18–37.
- [33] KURT, S., YILDIZ, H. U., YIGIT, M., TAVLI, B., AND GUNGOR, V. C. Packet size optimization in wireless sensor networks for smart grid applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 64, 3 (2016), 2392–2401.
- [34] KURT, S., YILDIZ, H. U., YIGIT, M., TAVLI, B., AND GUNGOR, V. C. Packet size optimization in wireless sensor networks for smart grid applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 64, 3 (Mar. 2017), 2392–2401.
- [35] LATTANZI, E., CAPELLACCI, P., AND FRESCHI, V. Experimental evaluation of the impact of packet length on wireless sensor networks subject to interference. *Comput. Netw.* 167 (Feb. 2020), 106986:1–106986:12.
- [36] LIN, S., MIAO, F., ZHANG, J., ZHOU, G., GU, L., HE, T., STANKOVIC, J. A., SON, S., AND PAPPAS, G. J. ATPC: Adaptive transmission power control for wireless sensor networks. *ACM Trans. Sens. Netw.* 12, 1 (Mar. 2016), 6:1–6:31.
- [37] M.A.DÁAZ-IBARRA, D.U.CAMPOS-DELGADO, C.A.GUTIÁ©RREZ, AND J.M.LUNA-RIVERA. Distributed power control in mobile wireless sensor networks. *Ad Hoc Netw.* 85 (Mar. 2019), 110–119.
- [38] MO, Y., XING, L., AND JIANG, J. Modeling and analyzing linear wireless sensor networks with backbone support. *IEEE Trans Syst., Man, Cybern. Syst.* (2018), 1–13.
- [39] MOHAMED, N., AL-JAROODI, J., AND JAWHAR, I. Modeling the performance of faulty linear wireless sensor networks. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 10, 7 (Jul. 2014), 835473:1–835473:12.
- [40] MOHAMED, N., AL-JAROODI, J., JAWHAR, I., AND EID, A. Reliability analysis of linear wireless sensor networks. In *Proc. IEEE Int. Symp. Netw. Comput. Appl. (NCA)* (2013), pp. 11–16.
- [41] MOHAMED, N., AL-JAROODI, J., JAWHAR, I., AND LAZAROVA-MOLNAR, S. Failure impact on coverage in linear wireless sensor networks. In *Proc. Int. Symp. Perf. Eval. Comput. Telecomm. Syst. (SPECTS)* (2013), pp. 188–195.

- [42] MU, D., GE, Y., SHA, M., PAUL, S., RAVICHANDRA, N., AND CHOWDHURY, S. Robust optimal selection of radio type and transmission power for internet of things. *ACM Trans. Sens. Netw.* 15, 4 (Jul. 2019), 39:1–39:25.
- [43] NAWAL, R., AND KAUR, R. Abnormal leakage of energy in battery-based IoT-devices. In *Proc. Int. Conf. Secur. Informat. Netw. (SIN)* (2017), pp. 165–170.
- [44] NEMADE, B., AND SHAH, D. Iot based water parameter testing in linear topology. In *2020 10th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (2020), IEEE, pp. 546–551.
- [45] NGUYEN, V., LIN, P., AND HWANG, R. Energy depletion attacks in low power wireless networks. *IEEE Access* 7 (Apr. 2019), 51915–51932.
- [46] NOBAR, S. K., MANSOURKIAIE, F., AND AHMED, M. H. Packet dropping minimization in energy harvesting-based wireless sensor network with linear topology. *IEEE Access* 8 (2020), 38682–38691.
- [47] NOEL, A. B., ABDAOUI, A., ELFOULY, T., AHMED, M. H., BADAWY, A., AND SHEHATA, M. S. Structural health monitoring using wireless sensor networks: A comprehensive survey. *IEEE Commun. Surveys Tuts.* 19, 3 (Third Quarter 2017), 1403–1423.
- [48] NOORI, M., AND ARDAKANI, M. Characterizing the traffic distribution in linear wireless sensor networks. *IEEE Comm. Lett.* 12, 8 (Aug. 2008), 554–556.
- [49] PAL, A. Transmit power reduction ? proportional power savings: Applicability of transmit power control in large-scale wireless sensor networks. *IEEE Internet Things Mag.* 3, 1 (Mar. 2020), 20–24.
- [50] PAL, A., AND NASIPURI, A. Joint power control and routing for rechargeable wireless sensor networks. *IEEE Access* 7 (Aug. 2019), 123992–124007.
- [51] SHAKHOV, V. On a new type of attack in wireless sensor networks: Depletion of battery. In *Proc. Int. Forum Strat. Tech. (IFOST)* (2016), pp. 491–494.
- [52] SHANMUGHAM, S. R., AND PARAMASIVAM, S. Survey on power analysis attacks and its impact on intelligent sensor networks. *IET Wireless Sensor Syst.* 8, 6 (Nov. 2018), 295–304.
- [53] SHELTAMI, T., BALA, A., AND SHAKSHUKI, E. Wireless sensor networks for leak detection in pipelines: a survey. *J Ambient Intell. Human Comput.* 7 (Mar. 2016), 347–356.

- [54] STOIANOV, I., NACHMAN, L., MADDEN, S., AND TOKMOULINE, T. PI-PENET: A wireless sensor network for pipeline monitoring. In *Proc. Int. Symp. Informat. Process. Sensor Netw. (IPSN)* (2007), pp. 264–273.
- [55] TAVLI, B., YANIKOMEROGLU, H., AND YILDIZ, H. U. Transmission power control for link-level handshaking in wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal* 16, 2 (2016), 561–576.
- [56] TOMMASO, A., ADA, F., ELIA, L., MARCO, M., ENZA, P., ALESSANDRO, P., AND VALERIO, V. Reliability and availability evaluation of linear lorawan sensor network architectures for pipeline monitoring. In *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* (2020), IEEE, pp. 1–6.
- [57] TONG, F., HE, S., AND PAN, J. Modeling and analysis for data collection in duty-cycled linear sensor networks with pipelined-forwarding feature. *IEEE Internet Things J.* 6, 6 (Dec. 2019), 9489–9502.
- [58] VARSHNEY, S., KUMAR, C., AND SWAROOP, A. Linear sensor networks: Applications, issues and major research trends. In *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun. Automat. (ICCCA)* (2015), pp. 446–451.
- [59] VARSHNEY, S., RAJPUT, P. K., SINGH, A., AND VARSHNEY, G. Routing techniques used for monitoring the linear structures using linear wireless sensor networks: An overview. In *Proc. Int. Conf. Comput. Commun. Intell. Syst. (ICCCIS)* (2019), pp. 126–130.
- [60] VASSERMAN, E. Y., AND HOPPER, N. Vampire attacks: Draining life from wireless ad hoc sensor networks. *IEEE Trans. Mobile Comput.* 12, 2 (Feb. 2013), 318–332.
- [61] WANG, N., FU, Y., ZHAO, J., AND CHEN, L. Node importance measure in linear wireless sensor networks. *Adv. Mech. Eng.* 8, 12 (Dec. 2016), 1–7.
- [62] XIANG, S., AND YANG, J. Reliability evaluation and reliability-based optimal design for wireless sensor networks. *IEEE Syst. J.* (2019), 1–12.
- [63] XIANG, Y., WANG, Y., SU, Y., SUN, W., HUANG, Y., AND LIU, J. Reliability correlated optimal planning of distribution network with distributed generation. *Electric Power Systems Research* 186 (2020), 106391.
- [64] YETGIN, H., CHEUNG, K. T. K., EL-HAJJAR, M., AND HANZO, L. H. A survey of network lifetime maximization techniques in wireless sensor networks. *IEEE Commun. Surveys Tuts.* 19, 2 (Second Quarter 2017), 828–854.

- [65] YIGIT, M., KURT, S., YILDIZ, H. U., TAVLI, B., AND GUNGOR, V. C. A survey on packet size optimization for terrestrial, underwater, underground, and body area sensor networks. *Int. J. Commun. Syst.* 31, 11 (May 2018), e3572:1–e3572:28.
- [66] YILDIZ, H. U., GUNGOR, V. C., AND TAVLI, B. Packet size optimization for lifetime maximization in underwater acoustic sensor networks. *IEEE Trans. Ind. Informat.* 15, 2 (Feb. 2019), 719–729.
- [67] YILDIZ, H. U., KURT, S., AND TAVLI, B. Comparative analysis of transmission power level and packet size optimization strategies for wsns. *IEEE Systems Journal* 13, 3 (2018), 2264–2274.
- [68] YILDIZ, H. U., KURT, S., AND TAVLI, B. Comparative analysis of transmission power level and packet size optimization strategies for WSNs. *IEEE Syst. J.* 13, 3 (Sep. 2019), 2264–2274.
- [69] YILDIZ, H. U., TAVLI, B., KAHJOGH, B. O., AND DOGDU, E. The impact of incapacitation of multiple critical sensor nodes on wireless sensor network lifetime. *IEEE Wireless Commun. Lett.* 6, 3 (Jun. 2017), 306–309.
- [70] YILDIZ, H. U., TAVLI, B., AND YANIKOMEROGLU, H. Transmission power control for link level handshaking in wireless sensor networks. *IEEE Sensors J.* 16, 1 (Jan. 2016), 561–576.
- [71] YOON, S., YE, W., HEIDEMANN, J., LITTLEFIELD, B., AND SHAHABI, C. SWATS: Wireless sensor networks for steamflood and waterflood pipeline monitoring. *IEEE Netw.* 25, 1 (Jan.-Feb. 2011), 50–56.
- [72] YUKSEL, A., UZUN, E., AND TAVLI, B. The impact of elimination of the most critical node on wireless sensor network lifetime. In *Proc. IEEE Sensors Appl. Symp. (SAS)* (2015), pp. 1–5.
- [73] ZHANG, Z., MEHMOOD, A., SHU, L., HUO, Z., ZHANG, Y., AND MUKHERJEE, M. A survey on fault diagnosis in wireless sensor networks. *IEEE Access* 6 (Mar. 2018), 11349–11364.
- [74] ZOGOVIĆ, N. Energy efficiency versus reliability tradeoff improvement in low-power wireless communications. *IEEE Syst. J.* (2020), 1–12.
- [75] ZUNIGA, M., AND KRISHNAMACHARI, B. Analyzing the transitional region in low power wireless links. In *Proc. IEEE Commun. Soc. Conf. Sens. Ad Hoc Commun. Netw. (SECON)* (2004), pp. 517–526.

Kaynaklar

- [76] Navneet Dalal and Bill Triggs. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, volume 1, pages 886–893. IEEE, 2005.
- [77] Serge Belongie, Jitendra Malik, and Jan Puzicha. Shape context: A new descriptor for shape matching and object recognition. In *NIPS*, volume 2, page 3, 2000.
- [78] Li-Jia Li, Hao Su, Li Fei-Fei, and Eric P Xing. Object bank: A high-level image representation for scene classification & semantic feature sparsification. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1378–1386, 2010.
- [79] David H Hubel and Torsten N Wiesel. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat’s visual cortex. *The Journal of physiology*, 160(1):106–154, 1962.

