

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İHA AĞI İÇİN YENİ BİR KÜMELEME MEKANİZMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harun Emre KIRAN**

**EKİM 2019**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında  
Harun Emre KIRAN Tarafından Hazırlanan**

**İHA AĞI İÇİN YENİ BİR KÜMELEME MEKANİZMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK**

**Üye : Doç. Dr. Güzin ULUTAŞ**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Tez çalışması kapsamında İHA ağının diğer ağlara göre farklılıkları ele alınarak incelenmiştir. İHA'nın son zamanlardaki gelişmeleri ele alınmıştır ve bununla birlikte İHA ağının gereksinimleri ve sorunları anlatılmıştır. Daha sonra İHA ağında enerjinin ve diğer ağlara göre hızlı hareketliliğinin önemi vurgulanmıştır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak İHA ağı için yeni bir kümeleme mekanizması önerilmiştir. En sonunda önerilen kümeleme mekanizmanın deneysel sonuçları elde edilip birkaç çalışmaya göre başarımları tartışılmıştır.

Tez çalışmamda sürekli bana yardım etmeyi esirgemeyen, her türlü zorluklara çıkış yolu gösteren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sürekli motivasyonumu artırıp bu çalışmamda destek olan ve ayrıca çalışma azmiyle beni kendisine hayran bırakan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ'e;

Bu tez süreci boyunca bana sürekli manevi destek veren babam Mustafa KIRAN, annem Aysel KIRAN'a ve kardeşlerime;

Sürekli benim çalışma azmimi artıran ve ayrıca her gün her saat bana destek veren eşim Hümeysra KIRAN'a;

Sonsuz teşekkürümü borç bilirim.

Harun Emre KIRAN

Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İHA Ağı için Yeni Bir Kümeleme Mekanizması” başlıklı bu çalışmayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ’ün sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, tez sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

15/10/2019



Harun Emre KIRAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XII
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	5
2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar .....	5
2.2. İHA (İnsansız Hava Araçları) .....	6
2.3. İHA Sürüsü .....	7
2.4. İHA Sürüsünün İletişim Mimari Yapısı.....	8
2.5. Tasarsız Ağlar .....	12
2.5.1. Uçan Tasarsız Ağlar.....	12
2.6. İHA Sürülerinin Sınıflandırılması.....	14
2.7. İHA Sürüsü İçin Lokalizasyon Çeşitleri .....	15
2.7.1. GPS (Global Positioning System).....	16
2.7.2. RSSI (Received Signal Strength Indication).....	17
2.8. İletişimde İşbirliği Biçimleri.....	18
2.9. Kümeleme Protokolleri.....	19
2.10. İHA Yönlendirme Protokolleri .....	21
2.11. Rastgele Geçiş Noktası Hareketlilik Modeli (Random Waypoint Mobility).....	22
3. LİTERATÜR TARAMASI .....	24
3.1. Genel Çalışmalar.....	24
3.2. Enerji Verimliliği Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	27
3.2.1. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) Algoritması .....	29
3.2.2. DGWS (Distributed Gateway Selection) Algoritması.....	31
3.2.3. LID (Lowest-ID) Algoritması.....	33

3.2.4.	CONID (K-hop Connectivity ID) Algoritması .....	34
4.	YAPILAN ÇALIŞMA .....	36
4.1.	Sanal Merkez Eksenin Ayarlanması ve Merkez Küme Başı Seçimi .....	37
4.1.1.	Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 1.Aşama Algoritması.....	38
4.2.	Alt Küme Başları Seçimi .....	42
4.2.1.	Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 2.Aşama Algoritması.....	43
4.3.	Bölmeleme Ayarlaması.....	49
4.3.1.	Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 3. Aşama Algoritması.....	50
5.	YAPILAN ÇALIŞMANIN PERFORMANS SONUÇLARI .....	53
5.1.	Önerilen Kümeleme Mekanizmasının Performans Testleri İçin Kullanılan Parametreler .....	53
5.2.	Önerilen Mekanizmanın İHA Ağına Uygulanması .....	54
5.3.	Önerilen Kümeleme Mekanizmasındaki Eşik Değerlerin Performans Karşılaştırılması .....	56
5.3.1.	Farklı $\beta$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması .....	57
5.3.2.	Farklı $\Omega$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması .....	58
5.3.3.	Farklı $\alpha$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması .....	60
5.3.4.	Farklı $h$ Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması.....	61
5.4.	Başka Mekanizmalara Göre Performans Karşılaştırması .....	62
5.4.1.	Harcanan Enerji.....	64
5.4.2.	Düşen Paket Miktarları .....	65
5.4.3.	Ortalama Sürekli Küme Başı olarak Kalma Süreleri.....	66
6.	SONUÇ .....	69
7.	KAYNAKLAR .....	70

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

## İHA AĞI İÇİN YENİ BİR KÜMELEME MEKANİZMASI

Harun Emre KIRAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ  
2019, 76 Sayfa

Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA) hayatımızın önemli bir parçası olmaya başlamıştır. Hem askeri hem de sivil olarak birçok çalışmada önümüze çıkmaktadır. Bununla birlikte, bazı bölgelerde tek bir İHA'nın yeterli olmadığından veya büyük ölçekli İHA'ların temini için yüksek bütçe gerektirdiğinden İHA sürüsü modeli ortaya çıkmıştır. İHA sürüsü hem ekonomiklik hem de esnekliğiyle birçok avantajı olmasına rağmen birçok dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlara İHA'ların hızlı hareketliliği, enerji kısıtı, güvenlik gibi sorunlar örnek verilebilir.

Bu tez çalışmasında, İHA ağındaki İHA'ların enerji verimliliği ve trafik yoğunluğunun dengeli olması için yeni bir kümeleme mekanizması önerilmiştir. İlk olarak İHA'lar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra İHA ağının önemi açıklanmıştır. Bu ağların genel özellikleri belirtilip daha sonra zorlukları anlatılmıştır. Daha sonra bazı önemli mekanizmalar tanıtılarak avantaj ve dezavantajları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Son olarak, önerilen kümeleme mekanizması tanıtılıp elde edilen performans test sonuçları tartışılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında İHA ağının bazı önemli mekanizmalara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız hava araçları, Küme başı seçimi, Kablosuz algılayıcı ağlar, Topoloji kararlılığı, Enerji verimliliği



Master Thesis

SUMMARY

A NEW CLUSTERING MECHANISM FOR UAV NETWORK

Harun Emre KIRAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Computer Engineering Graduate Program  
Supervisor: Asst. Prof. Sedat GÖRMÜŞ  
2019, 76 Pages

Nowadays, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have started to be seen in our lives. Many of them are used in both military and civilian applications. However, the UAV swarm model has emerged because in some places a single UAV is not sufficient or requires high budget for the supply of large-scale UAVs. Although the drone has many advantages with both its economy and flexibility, it has many disadvantages and challenges. These are examples of rapid mobility of the UAVs, energy constraints and security issues.

In this thesis, a new clustering mechanism has been proposed for balanced energy efficiency and traffic density of UAVs in UAV network. First, general information about UAVs is given. Then the importance of UAV network is explained. Besides, some important mechanisms are introduced and their advantages and disadvantages are explained in detail. Then some important routing protocols have been proposed. The advantages and disadvantages of these protocols are described in detail. Finally, a new clustering mechanism was introduced and then the performance test results were discussed. When the test results are examined, it is observed that the UAV network gives better results than some important mechanisms.

**Key Words:** Unmanned aerial vehicles, Cluster-selection, Wireless sensor network, Topology stability, Energy efficiency

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İnsansız hava araçlarının bazı sivil kullanım alanları .....	2
Şekil 2. İnsansız hava araçları ağının örnek bir modeli [19].....	3
Şekil 3. Kablosuz algılayıcı düğümün donanım yapısı .....	5
Şekil 4. Tekli İHA (a, b) ve İHA Sürüsü (c) .....	8
Şekil 5. KAA Protokol Yığılını .....	9
Şekil 6. a. İHA ağının yıldız topolojisi olarak şekillenmiş hali b. İHA ağının örgü topolojisi olarak şekillenmiş hali.....	10
Şekil 7. Çoklu İHA'lara dayalı arazi izleme için bütünsel mimari .....	11
Şekil 8. Hareketli, Araç ve Uçan Tasarsız Ağlar.....	13
Şekil 9. GPS teknolojisi.....	17
Şekil 10. RSSI lokalizasyon genel bakışı .....	18
Şekil 11. İletişimde mevcut olan 3 tip işbirliği biçimleri: a. Artımlı, b. Yayılım, c. Olasılıksal yayılım.....	19
Şekil 12. Kümelenmiş KAA için genel sistem modeli.....	20
Şekil 13. Radyo enerji yayılım modeli [97] .....	27
Şekil 14. LEACH Kümeleme .....	30
Şekil 15. Ağ bölmeleme metodu .....	31
Şekil 16. Lowest-ID algoritmanın düğümler arası örnek uygulaması.....	34
Şekil 17. CONID algoritmanın düğümler arası örnek uygulaması .....	35
Şekil 18. Önerilen kümeleme mekanizması .....	37
Şekil 19. Sanal merkez eksenin ayarlanması ve merkez küme başı seçimi .....	39
Şekil 20. Alt küme başının merkez küme başına yolladığı bilgi paketi .....	40
Şekil 21. Yeni merkez küme başı seçimi için aktif merkez küme başı tarafından yayın yapılan paketin içeriği .....	42
Şekil 22. Aday düğümün yeni merkez küme başı olarak yayın yaptığı paketin içeriği .....	42
Şekil 23. Alt küme başlarının seçimi.....	46
Şekil 24. Bulunduğu alt bölgesinde eski alt küme başının bu bölgenin sınırları içinde olan düğümün yeni alt küme başı olduğunu yayınlamak için ilan eden paketin içeriği ...	47
Şekil 25. 1 numaralı düğümün alt bölgesini değiştirmesi .....	49
Şekil 26. Önerilen mekanizmanın bölmeleme ayarlaması .....	51
Şekil 27. Düğüm ve merkez eksenin simgesel gösterimi .....	54

Şekil 28. 1000 tur sonrası İHA ağı .....	55
Şekil 29. 2000 tur sonrası İHA ağı .....	55
Şekil 30. 3000 tur sonrası İHA ağı .....	56
Şekil 31. Farklı $\beta$ eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafiği Varyans Değeri d. Küme Başı olarak Kalma Süresi .....	58
Şekil 32. Farklı $\Omega$ eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafiği Varyans Değeri d. Küme Başı olarak Kalma Süresi .....	59
Şekil 33. Farklı $\alpha$ eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafiği Varyans Değeri d. Küme Başı olarak Kalma Süresi .....	61
Şekil 34. Farklı $h$ değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafiği Varyans Değeri d. Küme Başı olarak Kalma Süresi .....	62
Şekil 35. a. Homojen Paket Paylaşımı b. Heterojen Paket Paylaşımı-1 c. Heterojen Paket Paylaşımı-2 .....	63

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İki düğümün farklı mesafelere göre bağlantı bulabilme olasılıkları (Düğüm menzili=1000 m, Düğümün Maksimum Hızı:30 m/saniye, $t=15$ saniye olarak alınmıştır. Uzaklık metre cinsinden verilmiştir. ).....	45
Tablo 2. Simülasyonda kullanılan parametreler .....	53
Tablo 3. Harcanan enerji .....	64
Tablo 4. Ortalama düşen paket sayıları .....	66
Tablo 5. Ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri .....	67
Tablo 6. Önerilen yöntemin iki farklı paket paylaşımına göre ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri .....	68

## KISALTMALAR DİZİNİ

IOT	Internet of Things
KAA	Kablosuz Algılayıcı Ağlar
VANET	Vehicular Ad-hoc Network
MANET	Mobile Ad-hoc Network
FANET	Flying Ad-hoc Network
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
DGWS	Distributed Gateway Selection
DARPA	The Defense Advanced Research Projects Agency
PEGASIS	Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems
PANEL	Position-based Aggregator Node Election
CCM	Chain-Cluster based Mixed
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
LTE	Long Term Evolution
5G	5 Generation
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
GPS	Global Positioning System
TOA	Time of Arrival
TDOA	Time Difference of Arrival
RSSI	Received Signal Strength Indication
AOA	Angle of Arrival
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
MOCA	Multihop Overlapping Clustering Algorithm
WSN	Wireless Sensor Network
EEHC	Energy Efficient Heterogeneous Clustered
DWEHC	Distributed Weight-based Energy-efficient Hierarchical Clustering
HEED	Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering
ULSN	UAV-based LSNs
LSN	Linear Sensor Networks
MATLAB	Matrix Laborator
LID	Lowest-ID

MCDS	Minimal Connected Dominating Set
AODV	Ad-hoc On Demand Distance Vector
DSDV	Destination-Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
OLSR	Optimized Link State Routing
AOMDV	AdHoc On Demand Multiple Path Distance Vector
HWMP	Hybrid Wireless Mesh Protocol



## 1. GİRİŞ

Uzaktan oto pilot yöntemi ile yönetilen hava araçları İnsansız Hava Araçları (İHA) olarak adlandırılır. İHA kavramı ilk olarak Curtiss-Sperry'nin torpidosu ile 20. yüzyılda (1917) ortaya çıkmıştır [1]. Ancak o günün teknolojisinin yetersizliğinden dolayı bu torpidonun yapımı ile başlatılan program yürürlükten kaldırılmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında Amerikan ordusu Reginald Denny isimli savaş uçağı geliştiricisi ile anlaşarak ilk uzaktan kumandalı İHA'yı 1935 senesinde üretmiştir. 1941'de ABD Ordusu Hava Birlikleri'ne hedef uçakları tedarik etmeye başladı. Savaş süresince onlara 3.000'den fazla hedef uçağı tedarik etti [2]. 1955 yılına gelindiğinde keşif için tasarlanmış bir İHA'nın ilk uçuşu Northrop Radioplane SD-1 Falconer/Observer tarafından gerçekleştirildi. Daha sonra İngiliz ve ABD ordusu tarafından sahaya sürülmüştür [3]. Bu anlatılan gelişmelerle birlikte bazı kaynaklara da bakıldığında [1, 2, 4–6] İHA'lar 20. yüzyıl içerisinde büyük bir çoğunluğu askeri alanda birçok gelişme kaydetmiştir. Daha sonra bu gelişmeler 21. yüzyıldan sonra kendini sivil çalışmaların eklenmesiyle İHA'ya olan ilgiyi daha da artırmıştır ve drone olarak da bilinen [7] bu araçlar gelişerek günümüze kadar gelmiştir.

Yakın geçmişte İHA teknolojisi birçok sivil alanda kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1'deki örneklerde gösterildiği gibi trafik denetiminde [8], tarım uygulamalarında [9], ürün teslimatında [10], doğal afet bölgesini izlemede [11], arama ve kurtarmada [12], yangın algılamada [13], nesnelerin interneti, baz istasyonları gibi araçlarda röle görevinde [14], sınır denetiminde [15], görsel şovlarda [16] ve bunun gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

İHA'ların kullandığı uygulama alanlarında ciddi bir ekonomik getirinin olacağı öngörülmektedir. Bu ekonomik getirinin sadece ABD'de 2015-2025 arasında 82 milyar dolarlık bir etki oluşturacağı düşünülmektedir [17]. Bu sayı İHA'yı üreten diğer devletler de düşünüldüğünde daha da artacaktır.

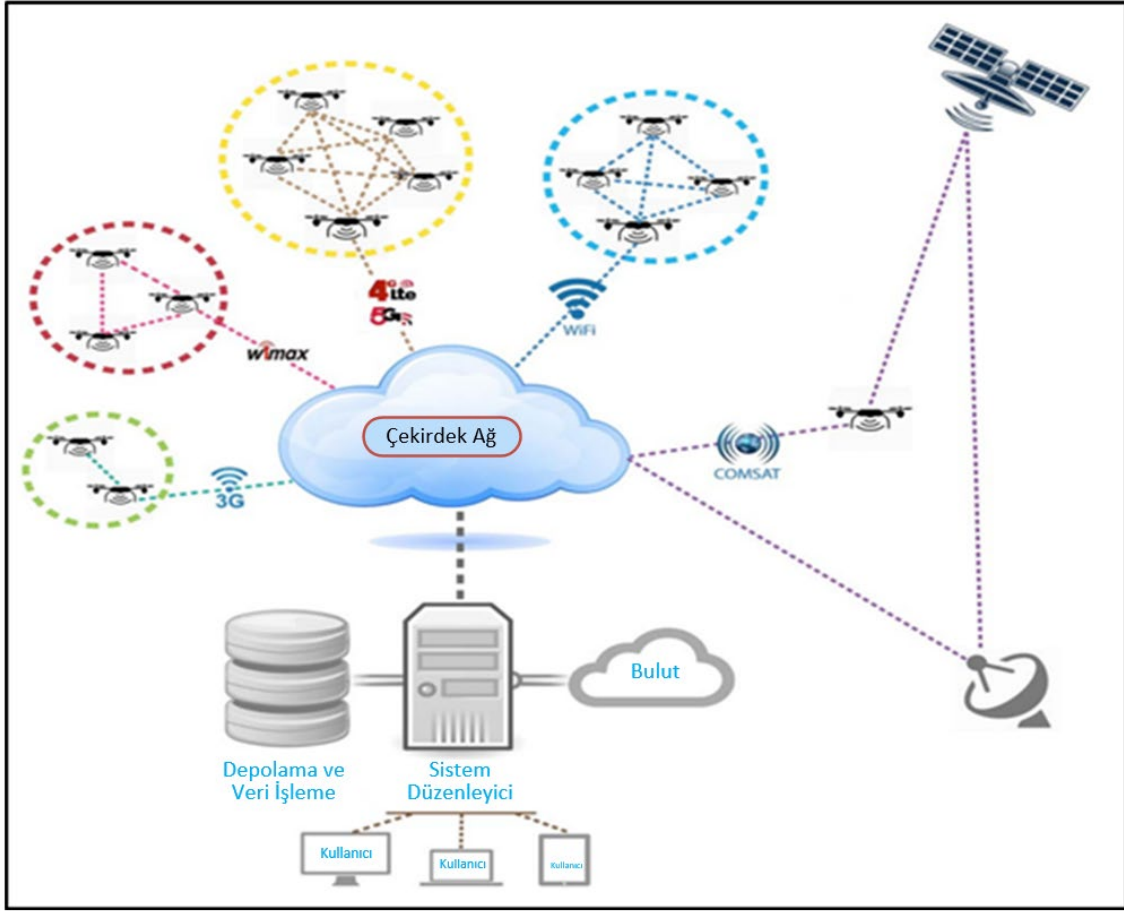
Seyir süreleri ve hareket yarıçaplarına bağlı olarak, İHA'lar aşağıdaki dört tipte sınıflandırılabilir [18]. Birincisi, yüksek irtifa ve uzun ömürlü İHA'lar yüksek irtifa keşiflerinde, savaş anındaki saldırılarda kullanılır. İkincisi, orta menzilli insansız hava araçları yaklaşık menzili 700 ile 1000 km arasındadır. Üçüncüsü, düşük maliyetli ve kısa menzilli insansız hava araçların menzili 350 km'den az ve kalkış ağırlığı 50 kilogramdan az olan araçlardır. Sonuncusu ise drone olarak da bilinen mini insansız hava araçlarının hızları

10 ile 30 km/s arasında değişirken havada kalma süresi ise yaklaşık 30 dakikaya kadar çıkmaktadır.



Şekil 1. İnsansız hava araçlarının bazı sivil kullanım alanları





Şekil 2. İnsansız hava araçları ağının örnek bir modeli [19]

Konvansiyonel İHA'lar birçok askeri görevi başarıyla yerine getirebilmektedir. Ancak bu araçların temini çok masraflı olabileceği için mini ya da düşük menzilli İHA'lar bu araçların yerine kullanılmaktadır. Ancak tek başına bu araçlar, uzun ömürlü İHA'ların gerçekleştirdiği birçok görevi yerine getirememektedir. Bu yüzden birden fazla mini İHA'larının her birine farklı yetenekler verilerek ve ardından bu İHA'ları, İHA sürüsü (Şekil 2) adı da verilen bir ağa bağlayarak daha az masraflı bir sistem oluşturulabilir. Böylelikle birden çok mini İHA'dan oluşan bu sistem, uzun ömürlü İHA'lara neredeyse benzer yeteneğe sahip olabilir. Ancak bu durum bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Mini İHA ağlardan oluşan çözümlerin havada kalma süresinin az olması, düğümler arası haberleşmede paketlerin yüksek oranda hedefe ulaşamaması, güvenlik zafiyetinin fazla olması gibi sorunlarından bahsedilebilir. Özellikle İHA sürüsünde bir araç görevini ifa ederken enerjisi bittiği zaman yapmış olduğu görevi yarıda kalabilir. Ayrıca, düğümler arası veri trafiğinin yoğun olduğu bölgede bulunan bir düğüm, hedefe veri yolladığında hedef düğüm bu veriyi

almakta zorlanacaktır. Bu duruma düğümlerin hızlı hareketliliği de katılırsa düğümler arası haberleşme yüksek oranda kesintiye uğrayacaktır. Bu yüzden veri, ağ trafiği daha az yoğun bölge üzerinden oluşturulacak rota yardımıyla hedefe yollanmalıdır.

Bu tez çalışmasında, hem enerji verimliliğinin ve hem de paket trafiğinin dengede tutulmasını hedefleyen dinamik kümeleme mekanizması önerilmiştir. Ardından, önerilen mekanizmanın performansı test edilmiştir. Mekanizmanın performansı başka çalışmaların performansları ile karşılaştırılarak başarıyı ölçülmüştür. Böylelikle önerilen mekanizmanın hedefe ulaştığı gözlemlenmiştir.

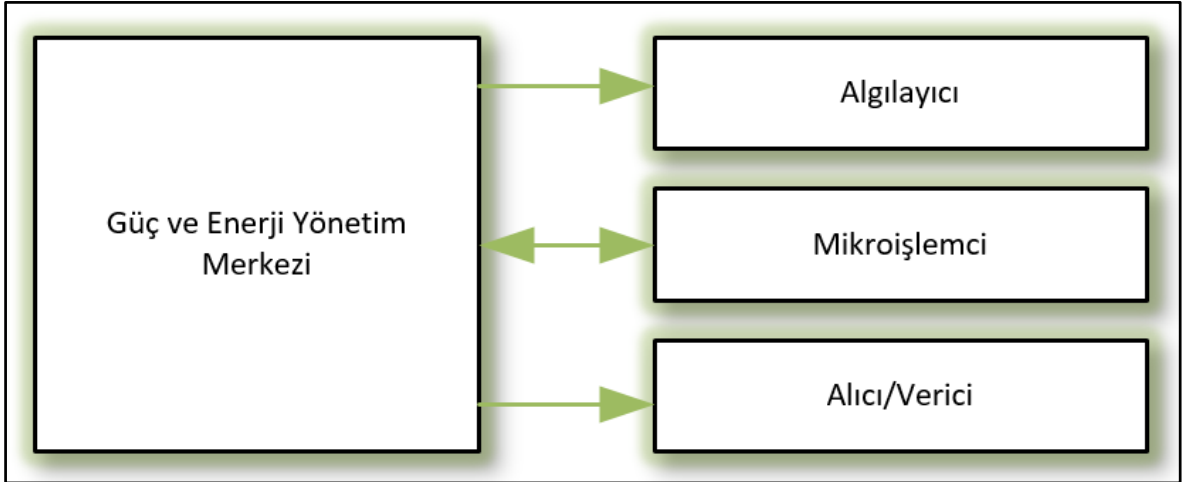


## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) mekânsal olarak dağılmış özerk algılayıcılardan oluşmuş ağlardır. Bu ağlar fiziksel ya da çevresel koşulları izlerler. İzlenen bu koşullar düğümler arası işbirliği ile bir kontrol merkezine iletilir. Bu ağlar ilk olarak askeri uygulamalar için geliştirilmişlerdir [20]. Son 20 yıl içinde ise sivil alanda da kendilerine uygulama alanları bulmuşlardır.

1980 başlarında DARPA'nın dağıtık algılayıcı ağ programı kapsamında hem düşük maliyetli hem de az enerji harcayan algılayıcı düğümlerin çevreden edindikleri verileri gözlemlemesi ve daha sonra bu gözlemlenen verilerin merkeze aktarılması amaçlanmıştır [21]. Ancak o günün şartlarında bazı dezavantajlar mevcuttu. Bu dezavantajların en önemlilerinden birincisi o dönem algılayıcı donanımlarının büyük olması, ikincisi ise yine o dönemde kullanılan kablosuz haberleşme yöntemlerinin yetersiz performans göstermesiydi [22]. 2000'lere yaklaşıldığında algılayıcı donanımlarının küçülmesi ile KAA'lar daha popüler hale gelmeye başlamıştır. Bu gelişmelerden sonra KAA'lar için enerji verimliliği ve güvenlik konusunda birçok araştırmalar yapılmıştır.



Şekil 3. Kablosuz algılayıcı düğümün donanım yapısı

Yaklaşık 40 sene geçmişi olan KAA uygulamalarına örnek olarak; askeri bölge denetimi [15], afet bölgesi izleme [11], trafik akışı izleme [8] gibi örnekler verilebilir [21].

Algılayıcı düğümlerin donanım yapısında genel olarak 4 ana bileşen bulunmaktadır. Bu ana bileşenler şunlardır; algılayıcı, mikroişlemci, alıcı/verici ve güç ve enerji yönetim merkezi. Şekil 3'e bakıldığında, mikroişlemci ile güç merkezinin birbiriyle haberleştiği oklarla gösterilmiştir. Yani bu bileşenler enerjilerini genel olarak enerjisi kısıtlı bataryalardan edinmektedir ve bu yüzden harcanan enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Böylece mikroişlemci ile güç merkezi enerji verimliliği için sürekli birbirleriyle haberleşme halindedirler.

Algılayıcı düğümler, genellikle düzenli bir konuma sahip olmayıp farklı konumlara yerleştirilebilir. Böylece düğümler arası haberleşme için topoloji oluşumu çok önemlidir. Bunun yanı sıra düğümlerin bazıları direk kontrol merkezi ile haberleşemeyebilir. Bundan dolayı bu düğümler, ara düğümler vasıtasıyla dolaylı olarak kontrol merkezi ile haberleşebilirler.

KAA'ların haberleşmesi için birçok topoloji çeşitleri bulunmaktadır. Bunlardan etkili olanlarından biri ise örgü (mesh) topolojisidir. Bu topoloji ağın bütünlüğünü daha da artırabilir. Bununla birlikte, yapılan birçok çalışmada KAA'ların enerji kısıtlılığından dolayı enerji verimli topoloji mekanizmaları önerilmiştir. LEACH [23], PEGASIS [24], PANEL [25], SLGC [26], CCM [27] gibi yaygın olarak bilinen algoritmalarından birkaçıdır. Bu ve daha fazla algoritma [28]'deki makalede karşılaştırılarak anlatılmıştır.

## 2.2. İHA (İnsansız Hava Araçları)

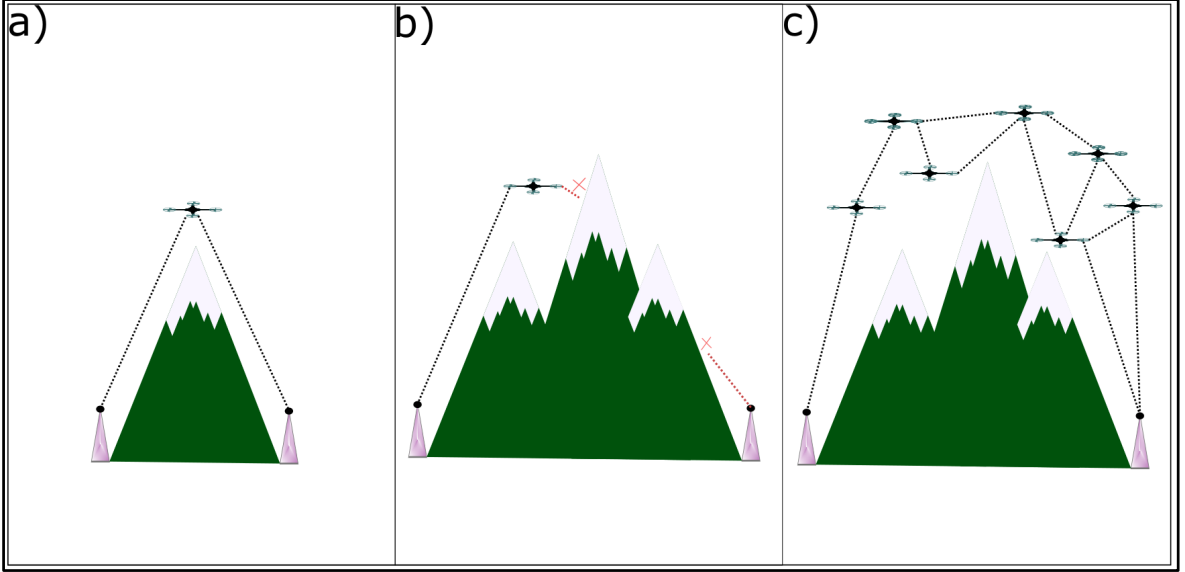
İHA'lar, içerisinde pilot bulunmayan ve uzaktan kontrol edilen araçlardır. Bu araçlar kullanım itibari ile esnektirler. Ulaşımın kısıtlı olduğu bölgelere profesyonel bir pilota gereksinim duymadan erişilmesini sağlarlar. Dolayısıyla, İHA'lar hem askeriyede hem de sivil havacılıkta sıkça tercih edilmektedirler. Son dönemde otonom uçuş, hedef tespiti ve sürü uçuş gibi alanlarda yoğun bir araştırma faaliyeti yürütülmektedir. Düşük enerjili haberleşme teknikleri mikro ve mini İHA'lara olan ilginin artmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Zira düşük güçle çalışan ve hafif olan bu modern haberleşme donanımları, mini İHA'ların faydalı yük taşıma kapasitesine önemli katkılar sunmaktadır. Hatta İHA tarafından taşınan uçan baz istasyonları, 5G kablosuz haberleşme omurgası için kaçınılmaz bir bileşen olarak düşünülmektedir [29].

İHA'lar ağırlıklarına, menzillerine, görev sürelerine, maksimum irtifasına, kanat açıklıklarına, motor tiplerine ve seyir süresi ve hareket yarıçaplarına göre birçok farklı grupta sınıflandırılırlar [3].

İHA'lar seyir süresi ve hareket yarıçapına göre 4 alt sınıfa ayrılmıştır. Bunlar ise yüksek irtifa ve uzun ömürlü İHA'lar, orta menzilli İHA'lar, düşük maliyetli ve kısa menzilli İHA'lar ve mini İHA'lardır. Yüksek irtifa ve uzun ömürlü İHA'lar diğer İHA'lara göre daha fazla havada kalma süresine ve daha uzun menzile sahiptirler. Ancak temini ve üretimi çok maliyetli olabilir. Bu yüzden, düşük maliyeti ve kolay temin edilebilmeleri nedeniyle mini İHA'lar birçok uygulama için tercih edilmektedir. Ancak mini İHA'lar yüksek irtifa ve uzun ömürlü İHA'ların bütün özelliklerine sahip değildirler. Bu yüzden birden fazla İHA kullanılarak bir İHA sürüsü oluşturulur.

### 2.3. İHA Sürüsü

Tekli İHA'lar sürekli olarak kontrol merkezi ile haberleşme halindedir. Bu İHA'lar kontrol merkezinin iletişim menzili içinde hareket edebilmektedirler. Bu durum ise İHA'yı kısıtlamaktadır. Örnek vermek gerekirse bazı durumlarda bir İHA ortasında engel bulunan iki kontrol merkezinin haberleşmesini sağlayabilir (Şekil 4.a). Ancak ortasındaki engel daha büyük olursa ve zorlu şartlar durumunda bu kontrol merkezleri tek İHA ile haberleşmede yetersiz olacaktırlar (Şekil 4.b). Bu yüzden, İHA'nın iletişim menzilinini daha iyi ve girişim (interference) bozulmasına karşı daha da dayanıklı olması gerekebilir. Böylece bu araca yeni bileşenlerin eklenmesi gerekir. Ancak bu bileşenlerin eklenmesi için büyük İHA'ya sahip olunması gerekmektedir. Bu aracın temini büyük masraf gerektirir, herhangi bir arıza durumunda ise düşebilir ve insan yaşamı için tehlike oluşturabilir [30]. Bunun için daha az masraflı bir aracın olması çok önemlidir. Günümüzde ise algılayıcıların küçülmesiyle ve kablosuz ağlarında gelişmesiyle küçük boyutlu İHA'lar kullanılmaya başlanmıştır. Bu araçlar ancak büyük İHA'nın yeteneklerini sağlayamayacağından bazı görevlerde yetersiz kalmaktadır. Bu durumda, İHA sürüsü olarak da bilinen ve birden fazla küçük İHA'dan oluşan ağ oluşturularak, ancak büyük İHA'larla gerçekleştirilebilecek karmaşık görevler yerine getirilebilir (Şekil 4.c) [31].



Şekil 4. Tekli İHA (a, b) ve İHA Sürüsü (c)

Çoklu İHA'ların önceki anlatılan avantajlarına ek olarak aşağıdaki avantajları verilebilir [30]:

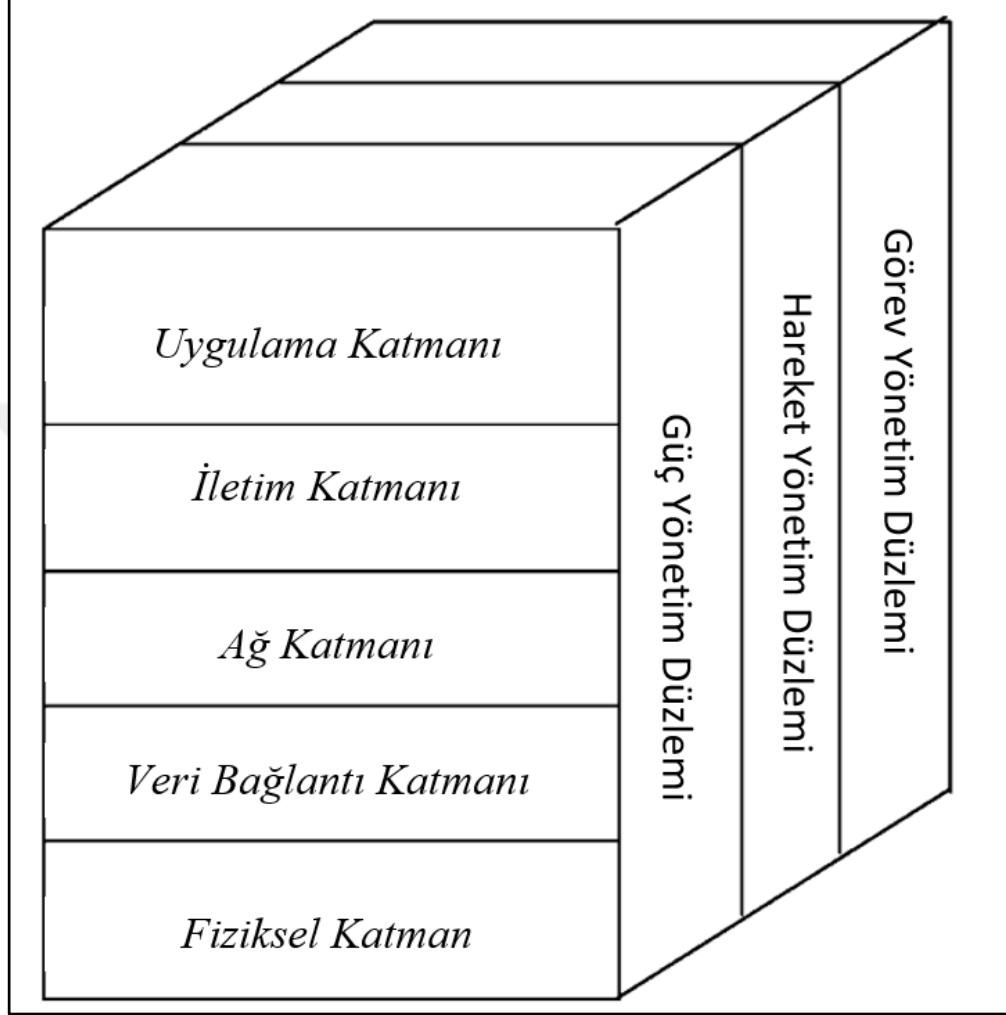
- İHA'lar bireysel görevleri paralel hale getirerek görev süresini en aza indirebilir.
- Bir ya da birden fazla İHA'nın arızalanması durumunda ağdaki başka bir İHA yarım kalan görevi hemen devralabilir.
- Ağda bulunan her bir İHA'ya farklı görevler verilebilir.
- Doğal afet sonucu tahrip olan veya engebeli alanlarda İHA sürüleri, baz istasyonu görevini üstlenebilir.
- Büyük İHA'lara göre bakımı daha kolaydır.

Kısaca daha az maliyetli, küçük veya büyük boyutlu İHA'ların çoğu görevlerini üstlenebilen İHA uygulamaları yapılabilir.

#### 2.4. İHA Sürüsünün İletişim Mimari Yapısı

KAA'ların protokol mimarisi, düğümlerin bataryaya bağlı ve geleneksel cihazlara oranla daha az hesaplama yeteneğine sahip olmalarına göre şekillenmiştir. Bu protokol yığınlarından bir tanesi ise Şekil 5'te gösterilmiştir [20]. Bu protokol yığını modeli güç yönetimi ile yönlendirme protokolü arasında etkileşime izin verir. Veri katmanıyla ağ protokolü arasında bilgi paylaşımını mümkün kılar. Kablosuz ortamda ise kararlı bir

haberleşme yöntemi geliştirmeye müsait bir yapı oluşturur. Zira katmanlar arasındaki iş birliği verimli bir veri aktarımı için vazgeçilmezdir.

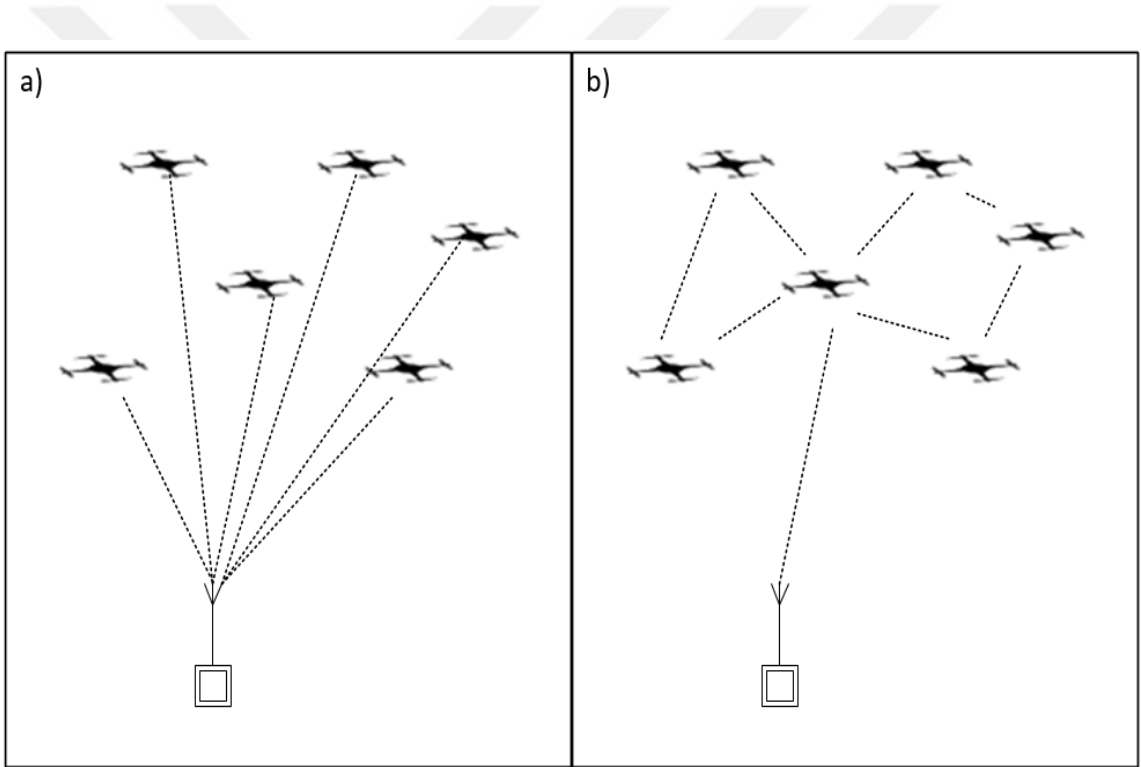


Şekil 5. KAA Protokol Yığıcı

Geleneksel olarak KAA'lar sabit düğümlerden oluşan topolojilere sahiptirler. Günümüzde ise birçok uygulama hareketli düğümlere gereksinim duymaktadır. Ancak bu hareketli düğümler bazı durumlarda yetersiz olmaktadır. Bu duruma afet bölgesindeki erişim sorunu örnek olarak verilebilir. Afet bölgelerinde çoğu ya da bütün baz istasyonları zarar görebilmektedir. Bu bölgelere büyük olasılıkla erişim sağlanamamaktadır. Bu bölgelere erişim sağlanması için mobil baz istasyonlarına ihtiyaç duyulur. Ancak afet bölgesine karadan ulaşım sağlanamadığı durumlar da olmaktadır. Böylelikle İHA'lar havadan bu bölgelere girerek baz istasyonu görevi üstlenebilir [32]. Bu ve buna benzer birçok çalışma

sayesinde [8–14] İHA'lara olan gereksinimin artmıştır. Böylelikle İHA ağı KAA'ların en önemli uygulamalarından biri haline gelmiştir [32].

İHA sürüsünün hızlı hareketliliğinden dolayı düğümler arası bağlantılar hızlı bir şekilde kopmaktadır. Eğer tüm İHA'lar sadece kontrol merkeziyle bağlantılı olursa yani yıldız topolojisi ile haberleşmesi durumunda (Şekil 6.a) düğümler arası haberleşmede yüksek gecikme süresi meydana gelebilir. Bu yüzden yüksek bant genişliği gereksinimine gerek duyulabilir [33]. Bununla birlikte, İHA'ların faaliyet alanı, kontrol merkezinin iletişim menziline daha fazla uzaklaşmadığı için sınırlıdır [34]. Kontrol merkezi ile direk haberleşme yerine örgü topolojisiyle haberleşmesi durumunda ise (Şekil 6.b) ağ daha esnek, daha güvenilir ve daha iyi performans gösterebilecektir [33].



Şekil 6. a. İHA ağının yıldız topolojisi olarak şekillenmiş hali b. İHA ağının örgü topolojisi olarak şekillenmiş hali

İHA ağının bütünsel iletişim mimarisi birçok farklı uygulamaya göre şekillenebilir. Ancak bu mimarilere bakıldığında genel olarak her birinde:

- Mobil veya sabit baz istasyonları,
- Yer kontrol sistemi,
- Kablosuz algılayıcılar,



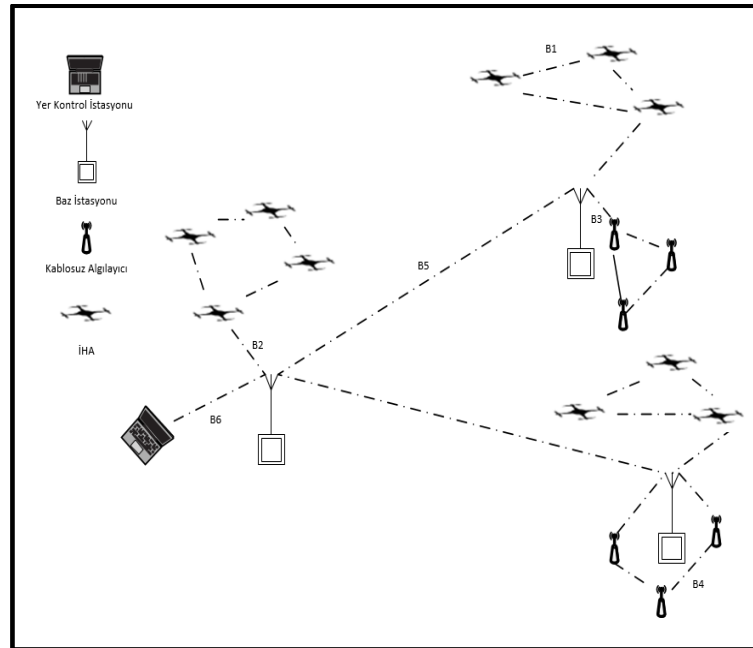
- İnsansız hava araçları

bulunmaktadır.

Şekil 7’de bir arazi izleme sisteminin bütünsel mimarisi gösterilmiştir [35]. Bu mimaride 6 farklı bağlantı kurulmuştur. Bu bağlantılar ise şunlardır:

- B1 bağlantısı, genellikle IEEE 802.11'e dayanan İHA arasındaki iletişim bağlantısıdır.
- B2 bağlantısı, baz istasyonu ile bir İHA arasındaki iletişime karşılık gelir.
- B3 bağlantısı, KAA'ya sahip düğüm ile baz istasyonu arasındaki iletişimi temsil eder. Bu bağlantı LTE veya 5G olabilir.
- B4 bağlantısı, iki KAA'nın düğümleri arasındaki bağlantıya karşılık gelir. Genel olarak, IEEE 802.15.4 standardına dayanmaktadır.
- B5 bağlantısı, iki baz istasyonu arasındaki iletişim bağlantısıdır. Burada baz istasyonları sayesinde KAA ile İHA'ları yer kontrol merkezine bağlamak için röle görevi görmektedirler.
- B6 bağlantısı, baz istasyonu ile yer kontrol merkezi arasındaki bağlantıya karşılık gelmektedir.

Yukarıda gösterilen mimari İHA sürüsü için sadece bir tanesidir. Bu ve buna benzer birçok mimari de bulunmaktadır [39, 40].



Şekil 7. Çoklu İHA'lara dayalı arazi izleme için bütünsel mimari

## 2.5. Tasarsız Ağlar

Kablosuz ağlar; kullanıcıların, sunuculardan bilgiyi herhangi bir fiziksel kablo bağlantısı olmadan almalarını sağlayan önemli bir teknolojidir [38]. Bu ağlar altyapılı ve tasarsız olmak üzere ikiye ayrılır.

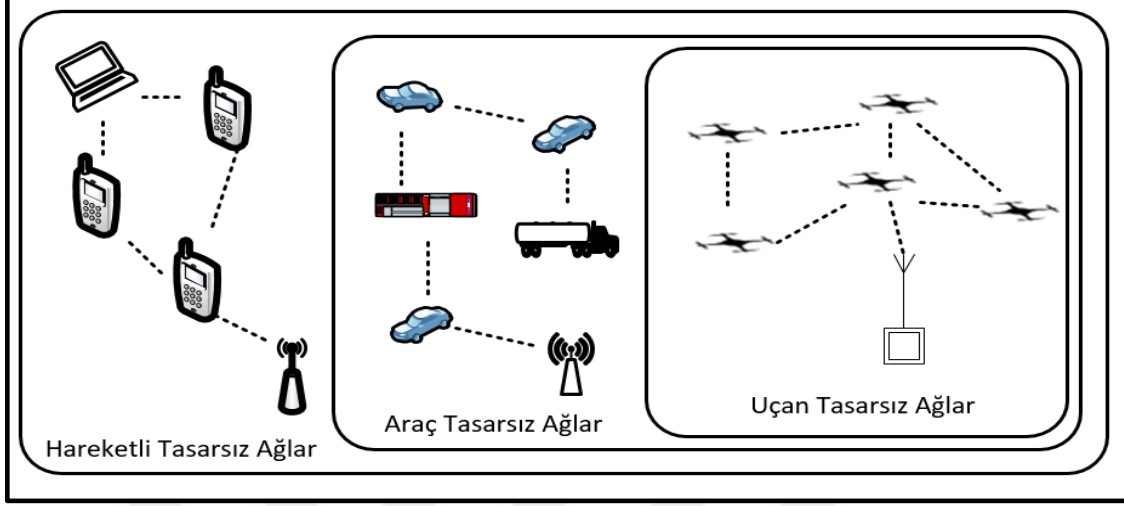
Altyapısız ağlar olarak da bilinen [39] tasarsız ağlar, yönlendirici, erişim noktası gibi herhangi bir alt yapının olmadığı ağlardır [40]. Bu ağlarda merkezi sunucu bulunmamaktadır. Haberleşme dağıtık olarak gerçekleştirilir. Tasarsız ağlarda bulunan düğümler hızlı ve dinamik bir şekilde yerleşip ardından bu düğümler görevlerini ifa etmek üzere geçici olarak kurulurlar [41]. Bu durumda, yönlendirme işlemini ağda konumlandırılmış her bir düğüm üstlenmelidir. Kaynak düğüm, hedef düğüm ile direk olarak iletişim kuramadığında, iki düğüm arasında kalan ara düğümler bilgiyi yönlendirme işlevi görürler. Böylece herhangi bir alt yapıya gereksinim duymadan bilgi hedef düğüme ulaşmış olur. Bu ağlara altyapısı olmayan bölgelerde sıkça ihtiyaç duyulmaktadır.

### 2.5.1. Uçan Tasarsız Ağlar

Tasarsız ağlar, statik ve hareketli olmak üzere iki alt sınıfa ayrılabilir [42]. Statik tasarsız ağlarda, düğümler sabit olarak birbirleriyle haberleşirler. Hareketli tasarsız ağlarda (MANET) ise düğümler hareket halindeyken birbirleriyle haberleşirler. Bu tasarsız ağa sahip bütün düğümler için geliştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. Ancak araçlara eklenen bu düğümler bazı özel durumlarından dolayı hareketli tasarsız ağlar için yapılan çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, araçlar için araç tasarsız ağlar (VANET) kavramı ortaya konulmuştur [43].

Hareketli tasarsız ağlar ve araç tasarsız ağlar alanlarında yapılan çalışmaların çoğu, İHA ağlarının benzersiz özelliklerini ele almamaktadır [33]. İHA ağlarının yönlendirme talepleri hareketli tasarsız ağlarla araç tasarsız ağların ihtiyaçlarının ötesindedir. Bu ağların yüksek hızına, dinamik topolojisine, ara bağlantılarına, güç kısıtlamalarına ve sürekli değişen bağlantı kalitesine uyum sağlayacak protokoller gerekir [33]. Dolayısıyla İHA ağları için özel algoritmaların üretilmesi lazımdır [30]. Böylece İHA ağları hareketli tasarsız ağların ve hatta araç tasarsız ağların bir alt sınıfı olarak görülebilir (Şekil 8). Bununla birlikte, altyapı tabanlı iletişim mimarisinin getirdiği kısıtlamalardan kaçınmak için, İHA'lar arasındaki tasarsız ağ iletişimi tercih edilmelidir [7]. Böylece her uçan İHA'nın bir yönlendirici görevi görebileceği uçan tasarsız ağlar (FANETs) olarak adlandırılan yeni bir

değerler dizisi oluşturuldu [44]. Günümüzde uçan tasarsız ağlara özel yönlendirme mekanizmaları mevcuttur. Bu alandaki çalışmalar hala devam etmektedir.



Şekil 8. Hareketli, Araç ve Uçan Tasarsız Ağlar

Uçan tasarsız ağların, hareketli ve araç tasarsız ağlara göre farkları şunlardır [45]:

- Uçan tasarsız ağlardaki düğümlerin hareketlilik derecesi, hareketli tasarsız ağlar ve araç tasarsız ağların düğümlerinin hareket derecesinden çok daha yüksektir. Böylece uçan tasarsız ağlar, bağlantıların çok sık kopmaması için hızlı bir şekilde tekrardan organize olmaları gerekmektedir.
- Uçan tasarsız ağlar 3 boyutlu ortamda hareket ederler. Anten yönelimi ve dolayısıyla bağlantı kalitesi, hareketlilik ile geniş ölçüde dalgalandığından 3 boyutlu alanda cihazların yüksek hareketliliği de dikkate alınmalıdır [46].
- Hareketli ve araç tasarsız ağlar, uçtan uca bağlantılar kurmayı amaçlamaktadırlar. Uçan tasarsız ağlar ise İHA'ların koordinasyonu ve işbirliği için eşler arası bağlantılara ihtiyaç duyar. Aynı zamanda çevreden veri toplar ve KAA'larda olduğu gibi kumanda kontrol merkezine iletilir [47]. Sonuç olarak, FANET eşler arası iletişimi desteklemeli ve aynı anda yayın trafiğini birleştirmelidir.
- Uçan tasarsız ağların düğümleri arasındaki mesafeler, hareketli ve araç tasarsız ağlarınkine göre çok daha uzundur [48]. Yani İHA'lar arası mesafeler daha çok önemsenmelidir ve hareketli tasarsız ağlar ile araç tasarsız ağlara göre iletişim aralığı daha uzun olmalıdır. Tabii ki bu durum sadece algoritma tabanlı değil radyo bağlantıları, donanım devreleri ve fiziksel katman için de çok büyük bir önem teşkil

etmektedir. Eğer İHA'ların iletişim menzili daha uzun olursa İHA ağı daha geniş bir bölgede verimli bir haberleşme sağlayabilir.

- İHA'ların düşük bellek tamponundan dolayı İHA ağının bazı bölgelerinde veri trafiği yoğunluğu yaşanabilir. Bununla birlikte hedef İHA kaynak İHA'lardan aldığı verilerle bellek tamponunu doldurursa daha sonraki gelecek veriler düşecektir. Böylelikle kaynak düğümlerden gelen bazı veriler hedef İHA'ya ulaşamayacaktır. Başlarda uçan tasarsız ağların uygulamaları mevcut hareketli tasarsız ağlardaki yönlendirme algoritmalarını kullanmaktaydı. Ancak bu yönlendirme algoritmalarının çoğu, link kalitesindeki hızlı değişiklikler ve çok yüksek düğüm hareketliliği gibi İHA'ya özgü sorunlar nedeniyle uçan tasarsız ağlar için ideal değildir [49].
- İHA'lar için yer lokalizasyonu çok büyük bir önem teşkil etmektedir [50].
- Mobil ve araç tasarsız ağlarda iletişim, yol kenarlarındaki altyapı ile desteklenmektedir. Ancak uçan tasarsız ağlar için bu durum geçerli değildir.

Nesnelerin internetinde İHA ağını etkili bir şekilde kullanmak için, [51] ve [52]'de belirtildiği gibi İHA'ların uygun dağıtımı, hareketliliği ve enerjiyi verimli kullanımı gibi çeşitli teknik zorlukların ele alınması gerekir.

## 2.6. İHA Sürülerinin Sınıflandırılması

İHA sürüleri görevleri bakımından farklı işlevlere sahip olabilirler. Bu işlevler üç farklı yaklaşıma göre sınıflandırılabilir [33]:

- Kararlı yönlendirme (Deterministic Routing) yönteminde İHA'ların gelecekteki hareketleri ve bağlantıları tamamen bilinmektedir.
- Stokastik yönlendirme (Stochastic Routing) yönteminde ise İHA'ların ilerde yapacakları görevler ve gidecekleri yönler bilinmez. Aksine duruma göre hareket ederler. Bu yönlendirme yöntemi ise dört alt başlıkta incelenmektedir:
  - Salgın yönlendirme (Epidemic Routing) bağlantısı kesilmiş hareketli düğüm ağlarında kullanılır. Bu yönlendirmede düğümler paketleri çoğaltarak sürekli yayın yapar. Yayın kapasitesi kısıtlı olan İHA ağlarında bu iletişim dar boğaza sebebiyet vermektedir. Bu yaklaşımın kullanılması için algılayıcılarda geniş bir bellek tamponuna ihtiyaç duyulmaktadır.

- Tahmin (Estimation based Routing) tabanlı yaklaşımda kaynak düğüm, mesajlarını rastgele komşularına iletmek yerine hedefe ulaşma ihtimali yüksek olan yönlendirici ara düğümlere iletir.
- Düğüm hareket kontrolü tabanlı (Node Movement Control based) yaklaşımda düğümler ya pasif olarak başka bir düğümlle yeniden bağlanma fırsatını bekleyebilir ya da ileriye dönük olarak başka bir düğüm arayabilir. Düğümün bağlantı kurmasını beklediği anlarda bazı uygulamalar için uzun iletim gecikmesi meydana gelebilir.
- Kodlama tabanlı (Coding based) yaklaşımda ise ağ kodlaması bilgi teorisinden yararlanır. Sistemin verimini artırmak için yönlendirmelerde kullanılabilir.
- Son olarak sosyal ağ tabanlı (Social Networks based) yöntemde düğümlerin hareketlerinin tamamen rastgele olmadığı aksine düğümlerin daha muhtemel olan yerlere hareket etmesi yüksek olasılıkla bilinmektedir.

## 2.7. İHA Sürüsü İçin Lokalizasyon Çeşitleri

Geleneksel tasarsız ağlarda kullanılan lokalizasyon teknikleri hareketli tasarsız ağlarda kullanılan yöntemlerle genel özellikleri açısından benzerlik gösterir. Ancak, bu durum İHA'lar ve uçaklar için geçerli olmamaktadır [50]. Zira araç ve telefon gibi cihazlar çoğunlukla düzlemsel olarak hareket etmekteyken İHA'lar dikey olarak da hareket etmektedir. Ek olarak, İHA'lar yüksek bir hareketliliğe sahiptir. Her bir İHA havada hareket ederken kontrol merkezi ile sürekli bağlantılı olmalıdır. Böylece İHA sürüsü için geliştirilen lokalizasyon teknikleri bu durum dikkate alınarak düzenlenmelidir. Konum tahmini hatası KAA'larda meydana gelirse, yalnızca görev başarımını etkiler. Ancak İHA ağları için lokalizasyon hatası İHA'nın donanımına zarar verebilir. Ayrıca İHA'ların sürü biçimlenimini negatif etkileyebilir.

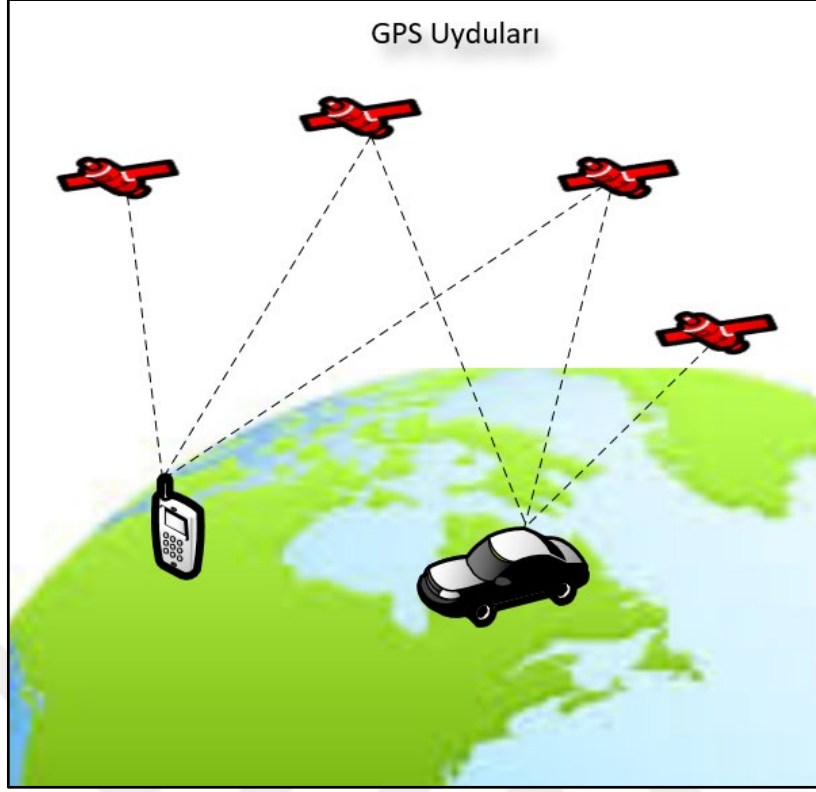
Lokalizasyon teknikleri iki farklı tip olarak sınıflandırılabilir [53]. Bunlardan birincisi merkeziyetçi yaklaşımken diğeri ise dağıtık yaklaşımdır. Merkeziyetçi yaklaşımda her bir düğümlde yüksek bant genişliği ve enerji sarfiyatı meydana gelmektedir. Ancak İHA ağları için merkezi lokalizasyon yüksek maliyetten dolayı mümkün olmamaktadır. Bunun yerine İHA ağı için merkezi olmayan yaklaşım en idealidir.

Merkezi olmayan yaklaşımda iki farklı teknik bulunmaktadır:

- Menzil tabanlı lokalizasyon tekniğinde, düğümler arasındaki mesafe ve açı tahmin edilir. Düğüm konumları genellikle trilaterasyon adı verilen yöntemle bulunur. Bu seri tabanlı tekniklere GPS (Global Positioning System), RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival), AOA (Angle of Arrival) ve buna benzer birçok lokalizasyon teknikleri örnek verilebilir. Genel olarak, daha kesin menzil tabanlı lokalizasyon teknikleri daha karmaşık olmaktadır [54]. Karmaşıklığın nasıl azaltılacağı, bu alandaki önemli konularından biridir.
- Görece konum tabanlı yaklaşımda düğümler, komşu düğümlerden edindiği sinyal gücüne göre kendi lokalizasyon değerlerini hesaplamaktadırlar. GPS gibi donanım gerektiren sisteme göre daha az enerji harcamaktadır. Ancak lokalizasyonu çok büyük önem arz eden İHA'lar için bu tekniğin kullanılması daha az doğruluğa sebep olacağından yetersiz olacaktır [55].

### 2.7.1. GPS (Global Positioning System)

En çok bilinen lokalizasyon sistemidir. İlk zamanlarda askeri amaçlı kullanılırken daha sonrasında ise sivil olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik en az 24 adet uydunun barındırıldığı bir tekniktir [56]. Bunun yanı sıra GPS, dünyanın her yerinde ve hatta farklı hava koşullarında bile çalışabilen herhangi bir ek kurulum ya da ücret ödeme gerekmeyen sistemdir. Dünya'da GPS'e benzer Rusya'da geliştirilen GLONASS (Global Navigation Satellite System), Hindistan'da geliştirilen IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System), Çin'de geliştirilen BDS (BeiDou Navigation Satellite System), Avrupa Uzay Ajansı'nın geliştirdiği Galileo gibi sistemler de bulunmaktadır. Ancak GPS lokalizasyon sistemi diğerlerinden daha önce çıktığı için birçok kişi tarafından bilinmektedir.

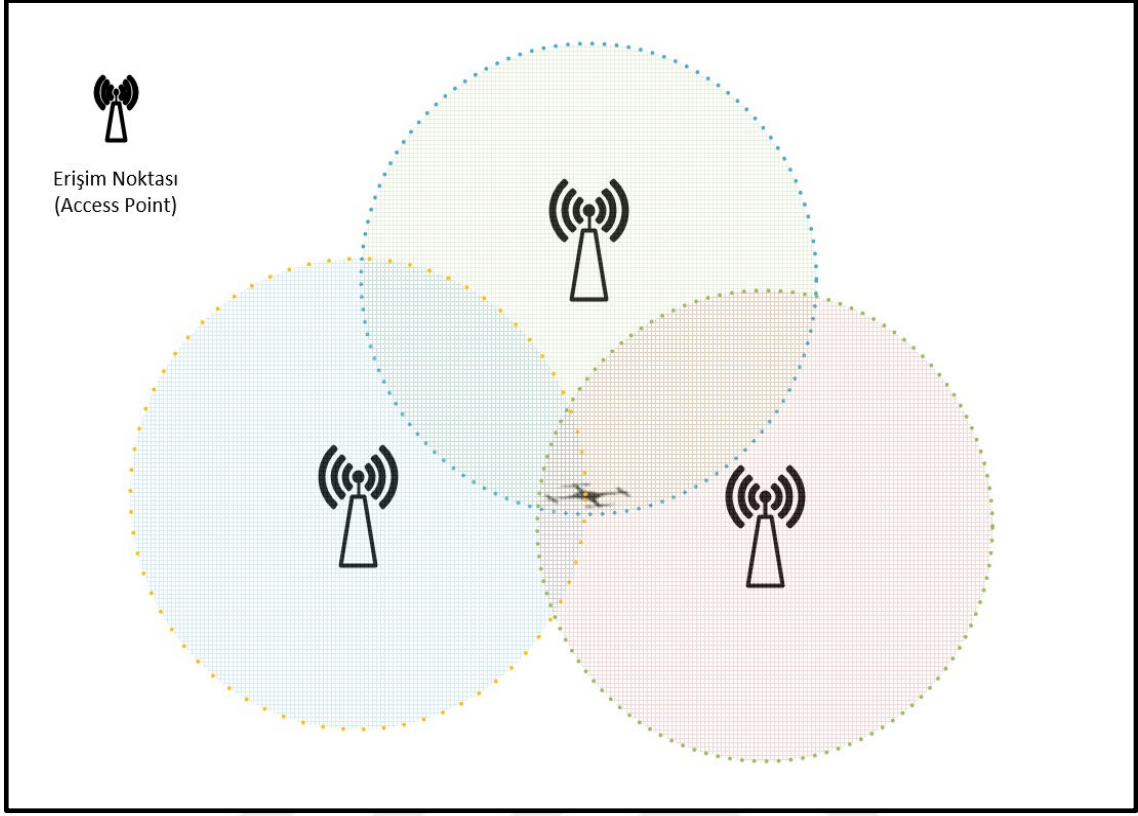


Şekil 9. GPS teknolojisi

İHA'lar için yaygın olarak kullanılan lokalizasyon sistemlerinden biri ise GPS sistemidir. Bu sistem ile cihazlar uydulardan gelen konum bilgilerini çok rahat bir şekilde elde edebilmektedir. Ancak bu sistem için İHA'lara ek donanım gerekmektedir. Bununla birlikte, açık alanda rahat bir şekilde GPS sisteminden gelen konum bilgileri elde edilirken yüksek binaların ve kapalı alanların bulunduğu yerlerde ise bu sistemden gelen konum bilgilerinin doğruluk oranı azalmaktadır. Eğer İHA ağı açık alanda kullanılacaksa GPS sistemi tercih edilebilir. Ancak kapalı ortamlarda GPS sistemi tercih edilmemelidir. Yerine RSSI gibi sistemler tercih edilebilir.

### 2.7.2. RSSI (Received Signal Strength Indication)

RSSI (Received Signal Strength Indication), alıcıdaki sinyal gücünü ölçen tekniktir [57]. Yol kaybı ile yol zayıflaması, konum doğruluğunu artırmak için hesaplanır. Ölçülen alıcı ile verici arasında sinyal gücü mesafeye dönüştürülür (Şekil 10).



Şekil 10. RSSI lokalizasyon genel bakışı

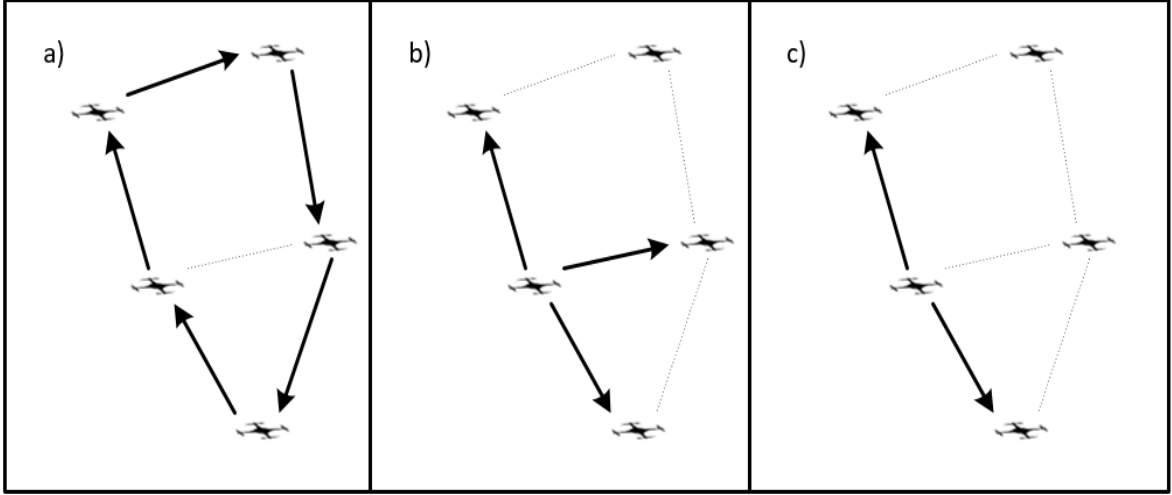
GPS sistemi, kapalı alanlarda ya da GPS sinyallerinin çok fazla bozulduğu yerlerde verimli çalışmamaktadır. Bunun yerine İHA ağı için RSSI tekniği kullanılabilir. Ancak çok yaygın olarak kullanılan GPS kadar RSSI ve buna benzer teknikler İHA ağı için yeterli konumlandırma kararlılığı sağlamayabilir.

## 2.8. İletişimde İşbirliği Biçimleri

Dağıtık haberleşme uygulamaların etkinliği, düğümler arası izin verilen işbirliği biçimlerine göre değişir. [58]'deki yazarlar bu işbirliği biçimlerini Şekil 11'de gösterilen örnekteki gibi üç farklı bölümde incelemiştir. Bu biçimlerden biri olan artımlı işbirliği biçiminde, bilgi paylaşımı kendine daha yakın olan komşu düğüm ile yapılmaktadır. Bu işbirliği biçiminde düğümler arası işbirliği modeli gerektirir. Bununla beraber, bu biçim en az miktarda enerji harcama eğilimindedir [58, 59]. Yayılım tipli işbirliği ile olasılıksal işbirliği biçimlerinde ise düğümler kendi komşuları olan tüm düğümlerle iletişim halindedirler [60–62]. Bu işbirliği biçimleri, artımlı işbirliği biçimine göre daha fazla veriye erişebilmektedir. Bunun yanı sıra düğümler, komşu düğümlerin bilgilerine daha fazla



erişebilmektedir. Yayılım ve olasılıksal işbirliği biçimleri ile düğümler arasında alt küme yaklaşımı kullanılarak trafik yoğunluğu en aza indirilebilir. Bu yaklaşımda ise hangi düğüm, hangi düğümün alt kümesi olacağı rastgele olarak ya da belli hesaplamalarla optimize edilerek seçilebilir.



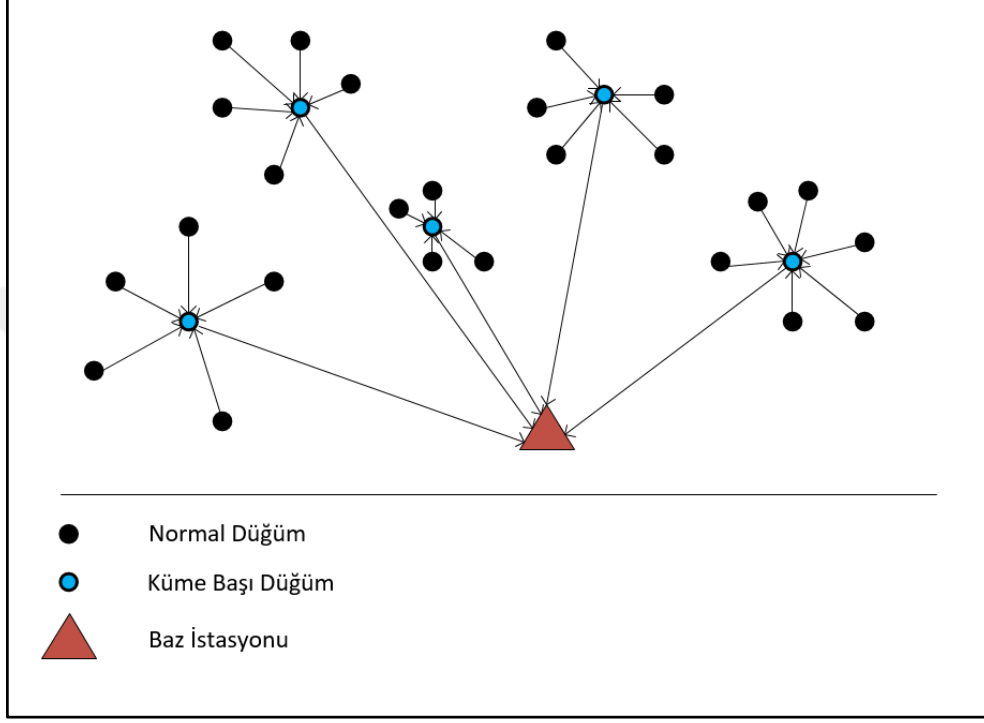
Şekil 11. İletişimde mevcut olan 3 tip işbirliği biçimleri: a. Artımlı, b. Yayılım, c. Olasılıksal yayılım

Kaynak düğümden gelen bilgilerin gecikmesi İHA için çok kritik bir durumdur. Çünkü İHA'lar hızlı hareketliliğe sahiptir. Bilgilerin gecikmesi hızlı hareketlilik gerektiren uygulamalarda daha fazla görülmektedir [33]. Bu durum ise dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Bunun yanı sıra İHA için işbirliği biçimlerinin seçiminde enerji verimliliği de göz önünde bulundurulmalıdır.

## 2.9. Kümeleme Protokolleri

Günümüzde KAA'lar ulaşılması zor bölgelere erişim uygulamaları ve benzeri birçok uygulama için kullanılabilir. Uygulamanın kapsama alanına düğümler düzensiz olarak yerleştirilmiştir. Düzensiz olarak yerleştirilen bu algılayıcıların bulunduğu bazı noktalarda enerji gereksinimi sağlanamadığından batarya tercih edilebilir. Bazen bu algılayıcılar hasar dahi görmektedirler. Bu yüzden bu alanlara daha fazla algılayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle büyük miktarda düğüm içeren bir ağda, mimari ve yönetim stratejileri önem arz etmektedir [64]. Bu önemli stratejilerden biri ise ağın hiyerarşik olarak kümelere ayrılarak yönetilmesidir. Burada düğümler ikiye ayrılır: küme başı düğümler ve normal (küme başı

olmayan) düğümler. Küme başı düğüm, sahip olduğu kümedeki normal ya da alt küme başı düğümlerden bilgileri alarak ya daha üst küme başı düğüme ya da direk olarak merkeze iletir. Böylelikle bilgiler hiyerarşik biçimde hedefe giderek ağdaki paketleri azaltır ve enerji tasarrufu sağlar [65].



Şekil 12. Kümelenmiş KAA için genel sistem modeli

KAA için düğümleri hiyerarşik bir şekilde kümelere ayıran birçok kümeleme algoritmaları vardır. Bu algoritmalarından en çok bilineni ve ilk kümeleme algoritmalarından biri olan LEACH algoritmasıdır [23]. Daha sonra bu algoritmaya benzeyen birçok algoritma önerilmiştir [66, 67]. Ayrıca PEGASIS [68], EEHC [69], MOCA [70], DWEHC [71], HEED [72] gibi algoritmalar KAA için üretilen algoritmalarından birkaçıdır.

İHA ağı KAA'ların özel bir ağı olarak kabul edilir [30]. Ancak KAA için üretilen algoritmaların büyük çoğunluğu genel sorunlara çözüm amaçlı sunulmuştur. Bu yüzden bu algoritmaların İHA ağına uygulanması zordur. Böylece İHA ağına özel birçok algoritma önerilmiştir. URP [73], ULSN [74], UAV-WSN [75], Distributed Gateway Selection [76], BEE AD HOC [77] gibi algoritmalar İHA ağına özel üretilen algoritmalarından sadece birkaçıdır.

## 2.10. İHA Yönlendirme Protokolleri

İHA ağları, hareketli ve araç tasarsız ağlara göre belirgin bir şekilde benzerliği nedeniyle araştırmacılar ilk bu tasarsız ağlar için kullanılan protokolleri İHA ağlarına uyarlama yolunu seçmişlerdir. Ancak İHA ağı için diğer tasarsız ağlara göre çok farklı gereksinimlere ihtiyaç vardır. Hareketlilik düzenleri, düğüm lokalizasyonu, düğümler arası bağlantının çok sık kopması, enerji kısıtlılığı gibi zorluklar İHA ağlarını diğer tasarsız kablosuz ağlardan farklı kılmaktadır. İHA ağlarının bu gereksinimlerine cevap verme adına var olan hareketli tasarsız ağ protokollerine eklentiler yapılmış olsa dahi İHA ağları için tasarlanmış özgün yönlendirme mekanizmalarına ihtiyaç vardır [30].

İHA ağı protokolleri 5 ana başlıkta incelenebilir:

- Statik protokollerde görev başlamadan önce ilk başta yönlendirme tabloları hesaplanır. Daha sonra bu yönlendirme tabloları düğümlere yüklendikten sonra görev başlatılır. Yönlendirme ise statik olarak bu hesaplanan tablolara göre şekillenir. Yani tablolar görev içinde kendiliğinden güncellenmez. Bu durum dinamik ve sürekli değişen İHA ağı için uygulanamaz.
- Proaktif yönlendirme protokollerinde belirli bir bölgede bulunan düğümün diğer düğümlerden aldığı yönlendirme bilgilerini depolar. Bu tablolar, konumu değişen düğümlere göre belli zaman aralıklarıyla güncellenir. Bu protokollerin en önemli avantajı sürekli düğümlerden yönlendirme bilgileri geldiğinden tablolar güncel kalır. Ancak bu avantajın yanında dezavantajlar da bulunmaktadır. Düğümler arası sürekli yönlendirme bilgilerinin paylaşılması ağ için büyük bir trafik yoğunluğu oluşturacaktır. Bu yüzden bant genişliği kısıtlı olan İHA'lar için bu protokoller uygun değildir. Bununla beraber topoloji değişikliğine yavaş tepki vermesi bir başka eksiklik [30].
- Reaktif (On-Demand) yönlendirme protokolleri, proaktif yönlendirmenin tam tersi olarak bütün yönlendirme bilgileri değil sadece istek sonucu (kaynak düğüm veri ürettiğinde) yönlendirme bilgileri iletilir ve depolanır. Bu yüzden, bu protokollerde fazla bant genişliğine gereksinim yoktur. Ancak proaktif yönlendirme protokollerine göre daha yavaş rota bulma aşaması bulunmaktadır. Bu da ağ için yüksek gecikmelere sebebiyet verebilir. Bu yönlendirme protokolleri iki alt sınıfa bölünebilir: kaynak yönlendirme, adım-adım yönlendirme. Kaynak yönlendirmede, her veri paketi tüm kaynak bilgilerinin hedefe kadar taşır. Böylece ara düğümler bu bilgilere göre verileri

iletir. Bağlanırlığı korumak için herhangi bir periyodik işaretleme mesajı (beacon message) gerekmez. Ancak ağ büyüklüğünün arttığı durumda ağın yapılandırılmasında büyük sorunlar oluşacaktır. Çünkü kaynak ile hedef düğüm arasındaki bilgiyi taşıyan düğümler yönlendirme bilgilerini bilmesi gerekir. Bu bilgiler ise paket başlığında (header) saklanacağından paketin büyük olması demektir. Bu yüzden yönlendirme bilgileri iyi ölçeklenemeyecektir. Bununla birlikte, rota arızası da artacaktır. Adım-adım yönlendirme yaklaşımında ise her veri paketi yalnızca hedef adresi ve bununla beraber bir sonraki gideceği düğümün adresini taşımaktadır. Burada ara düğümler ise verileri iletmek için yönlendirme tablosunu korumak zorundadır. Bunun avantajı ise düğümleri dinamik olarak değişen ağda uyarlanabilir olmasıdır. Ancak dezavantajı ise her bir ara düğümün her bir aktif yol için yönlendirme bilgisini güncellemesi ve her düğümün işaretleme mesajlarını kullanması gerekmektedir.

- Melez yönlendirme protokollerinde ise hem reaktif yönlendirme protokolü hem de proaktif yönlendirme protokolü bulunmaktadır. Burada reaktif yönlendirmedeki protokollerin yönlendirme aşamasındaki büyük gecikmeler azaltılabilir. Bununla beraber proaktif yönlendirme protokolleri, mesaj yükünü azaltabilir. Melez yönlendirme protokolleri büyük ağlar için özellikle uygundur. Bu ağlar yapılanma aşamasında ilk olarak bölgelere ayrılır. Daha sonra bu bölgelerin içinde proaktif yönlendirme kullanılırken bölgeler arasında ise reaktif yönlendirme kullanılmaktadır. Bu yönlendirme stratejisi ayrıca ağın özelliklerine göre ayarlanır. Dolayısıyla bu yöntem hareketli tasarsız ağlar için uygundur. Ancak İHA ağlarının dinamik bağlantı davranışları rota edinmeyi ve korumayı zorlaştırır.
- İHA ağları 3 boyutlu ortamda hareket etmektedir. Ancak KAA için önerilen algoritmalar 2 boyutlu ortamlara göre inşa edilmiştir. Bu yüzden İHA ağlarının bu durumu göz önünde bulundurulmalıdır. KAA için üretilen bazı algoritmalar 3 boyutlu ortam dikkate alınarak tekrardan tasarlanmıştır. En yakın düğüme veri teslim etmeye çalışan açgözlü yönlendirme (greedy forwarding) bu çalışmalardan biridir.

### **2.11. Rastgele Geçiş Noktası Hareketlilik Modeli (Random Waypoint Mobility)**

Rastgele geçiş noktası hareketlilik modeli, belirli bir konuma yerleştirilmiş düğümün yönünün ve hızının rastgele seçildiği bir modeldir. Bu model periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Bu model ilk olarak Johnson ve Maltz tarafından kullanılmıştır [78]. Bu

model genellikle hareketli düğümlere önerilen yöntemleri test etmek amaçlı kullanılır. Hareketli tasarsız ağlar ve İHA ağları için yaygın olarak kullanılan modellerden biridir. Kullanılmasının belli başlı amacı ise bu modelin kullanım kolaylığıdır. Bu modelin sınırları olmadığından sonsuz uzayda hareket ederler.

Eğer ağdaki düğümlerin grup halinde hareket etmesi gereken bir senaryo modellenmek isteniyorsa bu model tercih edilemez. Aksi durumda tercih edilebilir. Rastgele yürüyüş modeli ile rastgele yön modeli, rastgele geçiş noktası hareket modelinin başka benzer biçimleri olarak kabul edilir.



### 3. LİTERATÜR TARAMASI

#### 3.1. Genel Çalışmalar

Bu bölümde yapılacak olan literatür taramasındaki amaç, İHA ağı ile uçan tasarsız ağların üst başlığı olan hareketli tasarsız ağlar için son zamanlarda önerilen yönlendirme algoritmaları tarayıp bu çalışmaların hangi aşamada olduğuna bakmaktır. Bununla birlikte, bazı yazarlar önceden hareketli tasarsız ağlar için üretilen algoritmaları uçan tasarsız ağlar için de test etmişlerdir. Ayrıca KAA için üretilen bazı mekanizmaları İHA ağı için uygunluk durumuna bakılmıştır [7], [79], [88]–[94], [80]–[87]. Bu literatürler IEEEExplore, ScienceDirect, Scopus, Google Scholar ve buna benzer birçok çevrimiçi veri tabanlarında taranmıştır. Yapılan bu taramalar sonucunda uçan tasarsız ağlar için birçok farklı çalışmalar olmasına rağmen hızlı hareketliliğinden ve diğer özel durumlar hesaba katılmadığından İHA ağına uygulanması söz konusu değildir.

Arı kolonisi çalışma prensibinden esinlenerek yapılan arı algoritması (bee algorithm), [79]'daki çalışmada Leonov tarafından tanıtılmıştır. Burada arıların görevleri dağıtılmıştır. Ancak bu tekniğin dezavantajı, düğümler arası haberleşmede çok fazla gecikmelerin olduğudur. Bu yüzden, uçan tasarsız ağlar gecikmeye hassas olduklarından dolayı bu ağlara uygulanması zordur. Bunun yanı sıra bir başka keşifsel algoritma olan karınca koloni algoritması ise Maistrenko ve arkadaşları tarafından İHA ağına uygulanmıştır [80]. Ancak bu algoritma da düğümler arası gecikmelere sebebiyet vermektedir. Bunun yanı sıra, işletim yükünün oldukça yüksek olması da İHA ağına uygulanamayacağını göstermiştir. Ayrıca keşifsel algoritmalar hareketli tasarsız ağlar için de uygulanmıştır [88–90]. Bu çalışmalarda çözüm önerileri sunulmasına rağmen yine düğümler arası haberleşmedeki gecikmeler göz önünde bulundurulmamıştır.

[7]'deki yazarlar, yönlü ve dinamik açı ayarlama iletimi ile sağlam, güvenilir ve tahmine dayalı yeni bir yönlendirme mekanizması önermişlerdir. Daha sonra bu çalışma, bazı çalışmalarla karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmada batarya değerleri hesaba katılmamıştır. Bununla beraber İHA'lar 3 boyutlu ortamda bulunmalarına rağmen bu çalışmada daha iyi bir menzil sağlamak için yönsüz antenler yerine yönlü antenler kullanılmıştır.

[95]'deki yazarlar, her bölgede sabit sayıda İHA'dan oluşan küme yaklaşımı mekanizma önermişlerdir. İlk başta komşu düğümler arasında düğüm bilgisi mesajları paylaşılır. Daha sonra bu bilgi mesajları, bölge kimliklerine göre farklı kümeler halinde gruplandırılır. Kümede bulunan her düğüm, komşularıyla olan gecikme değerlerine, sinyal/gürültü oranına ve mesafeleri içeren bir bağlantı kalite tablosuna sahiptir. Bu bağlantı kalite tablosu ile bağlantı kalitesine sahip en iyi düğüm, küme başı olarak seçilir.

[84]'deki yazarlar, düğümler arası bağlantının kesilmesi ve buna benzer bazı olumsuz durumları ortadan kaldırmak için enerji verimliliği yüksek ve hareketliliğe duyarlı kısa adı EC-MRPL olan yeni bir yönlendirme mekanizması önermişlerdir. Enerji verimliliğine ve bağlantı güvenilirliğine önem verilerek ve kaynak kısıtlamalarından haberdar olan hareketli algılama ve değiştirme stratejisini katarak ağ performansı önemli ölçüde artırılmıştır. Bu çalışmada, İHA'nın birçok özel konusuna çözüm bulunmaktadır. Ancak İHA ağının diğer sorunu olan heterojen paket trafiği hesaba katılmamıştır.

[85]'teki yazarlar yüksek hareketliliğe duyarlı kısa adı mRPL olan proaktif bir mekanizma önermişlerdir. Bu protokol, düğümlerin hızlı hareketliliğine karşı katkı sağlamasına rağmen bazı önemli sorunlar dikkate alınmamıştır. Bunlardan biri ise enerji tüketiminin göz önünde bulundurulmamasıdır. Bununla beraber İHA'ların bant genişliği kısıtlı olmasına rağmen ağdaki yoğun veri trafiği aşırı yüke sahiptir.

Du ve arkadaşları enerji tüketimini azaltmak için Bağlı Baskın Küme (CDS-Connected Dominating Set) yaklaşımı verimli Sanal Omurga Ağı (Virtual Backbone Network-VBN) oluşturmuşlardır. [86]. Ancak bu çalışma, uçan tasarsız ağların hızlı hareketliliğinden dolayı VBN'nin yapımı ve bakımı konusunda oldukça büyük sorunlar çıkarabilir. Qi ve arkadaşları bu soruna çözüm olarak uçan tasarsız ağlar için CDP (Connected Dominating Partition) tabanlı VBN algoritmasını önermişlerdir [87]. Yazarlar bu algoritma ile zamanla değişen bir topolojiyle VBN bağlantısını etkin bir şekilde koruyabileceğini iddia etmektedirler.

Kaur ve Singh, en yüksek enerji seviyesine sahip bir düğümün küme başı olarak seçildiği, kuvvet tabanlı, enerji verimli bir yöntem önermişlerdir [88]. Hareketli tasarsız ağlar (MANET) için önerilen bu algoritmanın amacı küme başlarının seçimini düğümlerin enerji ve sinyal seviyelerine göre ayarlamaktır. Yazarlar algoritmanın performansını test etmek için başka bir çalışma ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucu algoritmanın daha iyi enerji tasarrufu sağladığını, paket gönderim oranının daha iyi, gecikme süresi ve düşen paket sayılarının daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak bölgelerdeki trafik yoğunluğu dikkate alınmadığından İHA ağında yüksek oranda paket kayıpları olabilir.

Ni ve arkadaşları, düğümlerin hız tahminini kullanan hareket tahmin tabanlı kümeleme algoritması önermişlerdir [89]. Hareketli tasarsız ağlar için üretilen bu algoritmada, her düğüm 'hello' paketlerini birbirlerine yollayarak komşu düğümlerin ortalama bağıl hızlarını tahmin eder. En düşük bağıl hıza sahip olan düğüm küme başı olarak seçilirken diğer düğümler ise küme başının üyeleri olurlar. Bazı çalışmalarla karşılaştırılan bu algoritmanın daha uzun süre bağlantıda kaldığı ve daha kısa birleşme süresine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Aadil ve arkadaşları [90]'daki çalışmada en az paket kaybı oranına sahip olmak ve enerji-bilinçli yönlendirmeyi elde etmek için K-Means yoğunluk kümeleme yöntemini kullanmışlardır. Daha sonra yazarlar bu çalışmayı, iki kümeleme yaklaşımını yapay zekâ algoritması ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, bu çalışmanın küme sayısı ve küme ömrü açısından diğer iki yaklaşımla rekabet ettiği, küme oluşturma süresi ve enerji tüketiminde ise daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak yazarlar bu çalışmaya çok yüksek düğüm hareketliliğini hesaba katmadıklarını belirtmişlerdir.

OLSR(Optimized Link State Routing Protocol) protokolü, hareketli tasarsız ağlar için optimize edilmiş bir IP yönlendirme protokolüdür. [91]'deki yazarlar bu protokolü, İHA ağları için test etmişlerdir. Bu testte İHA ağları için farklı hareketlilik modelleri kullanılmıştır. Bununla beraber farklı hızlarla testler yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları OLSR protokolünün, hızlı hareketliliğe sahip İHA ağına uygulanmaması gerektiğini göstermiştir.

[92]'deki çalışmada Shi ve Luo, uçan tasarsız ağlar için batarya değerlerine dayanan küme tabanlı yönlendirme mekanizması önermişlerdir. Daha sonra yazarlar bu mekanizmayı iki ayrı çalışma ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonuçları bu çalışmanın, diğer çalışmalara göre daha başarılı teslimat oranına sahip ve düğümler arası ortalama gecikme süresinin daha az olduğunu göstermiştir. Ancak İHA ağının önemli diğer sorunları hesaba katılmadığından uygulanması zordur.

Kimi yazarlar İHA ağı için adından söz ettirmiş bazı çalışmalarını ele almışlardır. Ayrıca yazarlar, bu çalışmalarını birbirleriyle karşılaştırmışlardır. [93]'deki çalışma ise bunlardan bir tanesidir. Bu çalışmada AODV, DSDV, DSR, OLSR ve HWMP yönlendirme protokolleri paket teslim oranına, gecikme süresine ve iş üretim oranlarına göre karşılaştırılmıştır. Ancak burada enerji verimliliği dikkate alınmamıştır. Bir başka yönlendirme protokollerin karşılaştırılması [94] numaralı çalışmada yapılmıştır. Tarım uygulamaları için

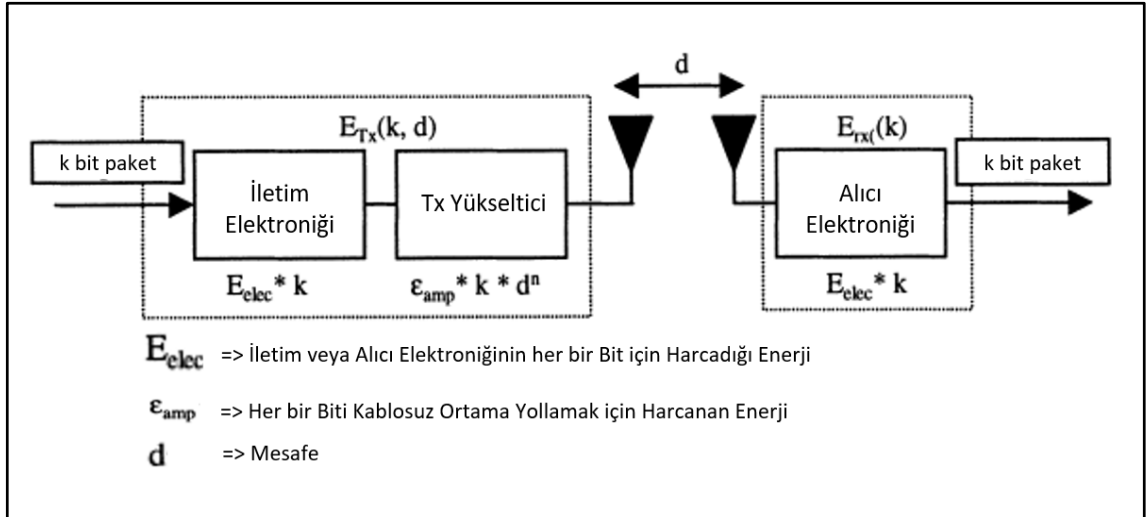


gerçekleştirilen bu çalışmada RFS ile LSRS yönlendirme algoritmaları, harcanan enerjiye, yapabildikleri göreve ve iletilen paketlere göre karşılaştırılmıştır.

İHA ağı için birçok yönlendirme mekanizmaları önerilmiştir. Ancak çalışmaların çoğunda uçan tasarsız ağlar için özel konular göz önünde bulundurulmamıştır. Bu sorunlar araştırma makaleleri yayınlayan bazı yazarlar tarafından ele alınmıştır. Bu yazarlardan biri olan Singh'ın araştırma makalesinde [96] uçan tasarsız ağlar için genel zorluklar anlatılmıştır. Bununla birlikte, başka bir araştırma makalesinde [33] yazarlar uçan tasarsız ağlar hakkında genel zorluklardan bahsetmişlerdir. Bunun yanı sıra İHA ağının enerji verimliliği ile ilgili etkileri ve İHA'ların yüksek hareketliliği tartışılmıştır.

### 3.2. Enerji Verimliliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kablosuz iletişim teknolojisi ile mikro elektronik mekanik sistemlerde 21. yüzyılda meydana gelen gelişimler sayesinde küçük, daha az enerji harcayan akıllı algılayıcı düğümler ortaya çıkmıştır. Ancak bu düğümler çoğunlukla enerjilerini bataryalardan elde ederler. Bu yüzden bu düğümler kısıtlı enerjiye sahiptirler. KAA'lardaki en yüksek enerji sarfiyatı, düğümler arası veri paylaşımı sırasında ortaya çıkar. Bu sebeple gerek sabit gerek hareketli olsun KAA'ya sahip düğümlerin enerji verimliliği için birçok protokol önerilmiştir.



Şekil 13. Radyo enerji yayılım modeli [97]

Enerji verimliliğini sağlamak için iki düğüm arasındaki mesafenin ve kaynak ile hedef arasındaki ara düğümlerin uygun seçilmesi gerekir. Bir düğüm bilgiyi, hedef düğüme

yollarken daha az enerji harcaması için en kısa yoldan bilgiyi yollamakla beraber düğümler arası mesafenin de az olması gerekmektedir. Çünkü Denklem (1)'deki eşitliklerde gösterildiği gibi ( $d$ ) mesafesinin artmasıyla bilgiyi gönderen düğümün harcadığı enerji üstel olarak artmaktadır [98]. Bunun yanı sıra önerilen bu modelde düğümler arası mesafe belli bir eşik değerinden ( $d_0$ ) fazla ise çoklu yol modeli kullanılmaktadır. Yani burada enerji kaybı katsayısı 2'den fazla olmaktadır. Aksi halde ise açık yol modeli olarak da adlandırılan modelin enerji katsayısı 2'dir. Denklem (1)'de görüldüğü gibi çoklu yol için 4 katsayısı verilmiştir. Bu modelde İHA'lar için çoklu yol mesafesinin eşik değeri göz ardı edilebilir. Çünkü İHA'lar çoğu durumda havada olduklarından dolayı birbirlerini rahatlıkla görebilmektedirler. Ancak dağlık veya engebeli alanların olduğu yerlerde çoklu yol modeli kullanılması gerekebilir.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \quad (1)$$

$$= \begin{cases} lE_{elec} + l \epsilon_{fs} d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l \epsilon_{mp} d^4, & d \geq d_0 \end{cases}$$

Çoğu İHA düğümlerinde algılayıcılar, işlemci, bellek, alıcı-verici antenleri, güç kaynağı ve İHA'ların uçuşu için gerekli donanımlar bulunmaktadır. Bu bileşenlerin ağırlıkları bataryanın enerjisini etkilemektedir. Bununla birlikte, İHA'lar için enerji gereksinimleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [99]:

- İHA'lar belirli roller için tasarlandığından, bu rollerin ve performanslarının her ikisi de güç gereksinimlerine ihtiyaç duymaktadır.
- Bir İHA'nın güç gereksinimi yalnızca görev başarısına dayanmamaktadır. Ayrıca aracın kalkıştan inişine kadar tüm bileşenlerin ağırlığını da taşıması gerekir. Böylece İHA'ya ek ağırlık ise ekstra bir güç gerektirir.
- Ayrıca İHA'nın uçacağı alanda güçlü rüzgârlar veya diğer hava koşulları gibi beklenmedik durumlar meydana gelebilir. Bu durum ise İHA'ların uçuş yollarını etkileyebilir ve daha fazla güç tüketimine sebep olabilir.
- İHA'nın kanatlarındaki buzlanma veya aşırı sıcak, İHA'ya ayrıca ekstra güç gerektirecektir.
- Bazı ülkelerde İHA sistemlerinin güç tüketimini dolaylı olarak etkileyebilecek havacılık güvenliği düzenlemeleri vardır.
- İHA'ya kontrol merkezi tarafından sağlanan seyahat mesafesi önemlidir.

- İHA'nın dayanıklılığı, görev süresini ayrıca belirler.
- Maksimum uçuş yüksekliği, maksimum kalkış ağırlığı ve maksimum hız da İHA'nın gücünü etkilemektedir.

Yukarıda verilen bilgilerde görüldüğü gibi İHA için güç gereksinimi çok önemliken bu İHA'ların bataryalarındaki enerji yetersizliği ise ayrıca önemli bir sorundur. İHA'lara havadan güç takviyesi sağlamak imkânsıza yakın olduğundan enerji verimliliği üzerine çalışmalar yapılmalıdır. İHA'lar için en iyi rotaların bulunmasını sağlayan ve İHA'lar arası haberleşmeyi optimize eden protokoller önererek İHA'ların havada kalma süreleri artırılabilir. Hatta hafif bileşenler kullanılarak ve katmanlar arası uygun ayarlamalar yapılarak bu süre daha da artırılabilir.

Tipik mini İHA'lar ortalama 5200 mAH kapasiteye sahiptir. Bağlı olduğu cihazları ise 11 volt ile beslemektedir. Böylece bu cihazlar, yaklaşık olarak 12,5 Amper akım çeker. Bu da ortalama 25 dakikalık bir uçuş süresi demektir. İHA ağındaki tüm düğümler sürekli olarak komşu düğümlerle veri paylaşımı içindedirler. [33]'teki yazarlar, yapmış oldukları hesaplamalarla haberleşme donanımlarının İHA'nın enerji sarfiyatının %16'sını harcadığını görmüşlerdir. Ayrıca buna GPS ile diğer algılayıcılar da eklenince İHA'nın enerji sarfiyatının %20'yi aştığını belirtmişlerdir.

### 3.2.1. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) Algoritması

Heinzelman [23] ve arkadaşları, KAA'ların güç tüketimini azaltmak için LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy) olarak adlandırılan ilk ve en popüler hiyerarşik kümeleme algoritmasını önermiştir. Bu algoritmanın çalışması iki aşamadan meydana gelir. İlk aşama olan kurulum aşamasında, kümeler düzenlenir ve küme başları seçilir. Küme başı seçimi

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1-P*(r \bmod \frac{1}{P})}, & \text{Eğer } n \in G \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $G$  değeri, düğümler kümesini temsil ederken  $P$  değeri ise ağda bulunan tüm düğümlerden seçilmesi beklenen küme başı sayısı ile olan orandır. Bir düğüm bir defa küme başı seçilirse, bu düğüm  $1/P$  turu kadar tekrar küme başı olarak seçilmeyecektir. Kararlı hal aşamasında ise seçilen bu küme başları, edindikleri veri

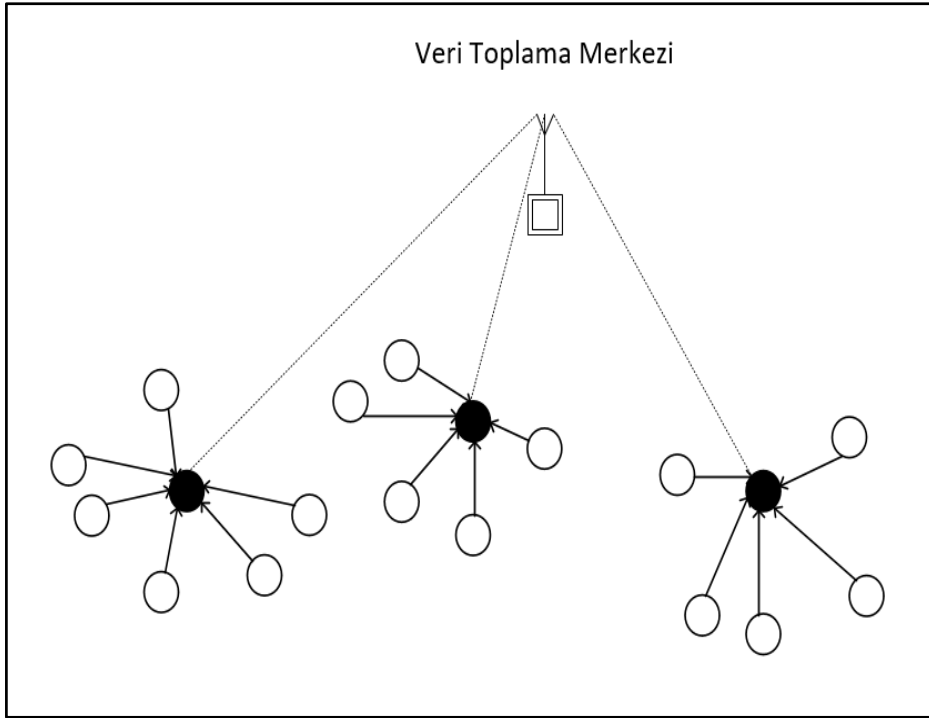
sıkıştırarak baz istasyonlarına yollar. Bu aşama, ek yükü en aza indirme görevine sahip olduğu için diğerine göre daha uzun sürmektedir. Ayrıca küme başı olmayan her düğüm kendisine en yakın küme başına bağlanır.

LEACH algoritmasının avantajları şunlardır:

- Enerji dağıtımını geleneksel iletişim protokollerine göre daha iyi yapmaktadır. Bunun yanı sıra ağın yapılanma kolaylığını daha iyi sağlar ve ağın ömrünü artırır.
- Normal düğümler baz istasyonlarına direk bilgi yollamak yerine kendisine daha yakın olan küme başını seçip bilgiyi bu küme başı aracılığıyla yolladığı durumda daha az enerji harcarlar.
- Her bir düğümün  $1/P$  tur içinde küme başı olması sağlanarak ağ içinde dengeli bir enerji tüketimi gerçekleştirilir.

LEACH algoritmasının dezavantajları ise şunlardır:

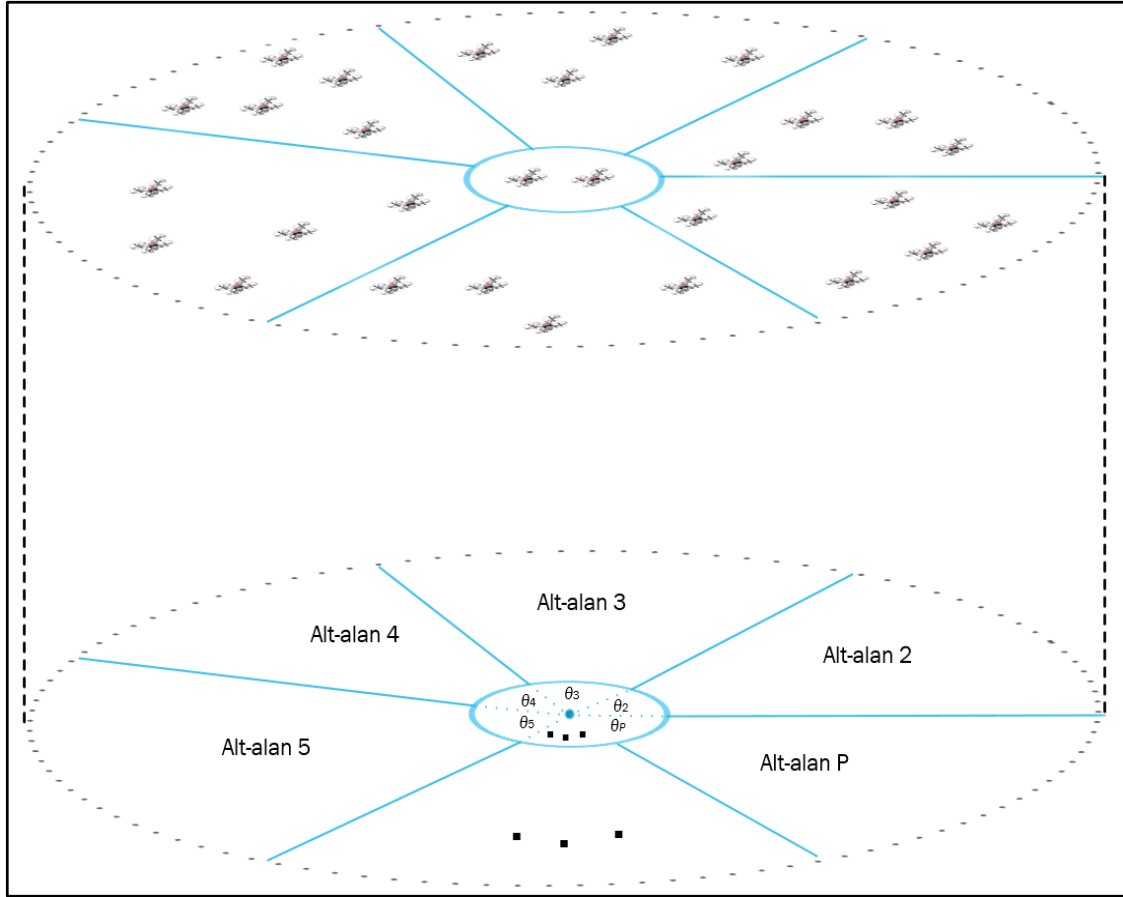
- Küme başı aldığı bilgileri direk baz istasyonuna yollar yani tek bir sıçrama noktası vardır. Bu sebepten büyük alanda bulunan ağlar için bütün düğümler baz istasyonuna bağlantılı olamayacağından tercih edilemez.
- Ayrıca dinamik kümelenemeden dolayı ek kontrol trafiği yüküne sebep olabilir.



Şekil 14. LEACH Kümeleme

### 3.2.2. DGWS (Distributed Gateway Selection) Algoritması

DGWS algoritması, İHA ağı için özel olarak önerilen iki sekmeli komşuluğa sahip algoritmadır [76]. Bu algoritma İHA'nın asimetrik bilgi olgusunun etkisiyle ağı birkaç alt alana bölerek topoloji kontrolü sağlamayı amaçlamıştır. Bu algoritma sayesinde hızlı hareketliliğe sahip İHA ağı hızlı bir şekilde uyarlanabilir. Ayrıca İHA'lar için sistemin kararlılığı düşünülmüştür. Bu algoritmanın en önemli özelliklerinden birisi ise her küme başı seçimi ağdaki bütün düğümlerin katılması yerine bölgesel olarak yapılmasıdır. Böylelikle küme başı seçiminin ek yükü azaltılarak daha hızlı olması sağlanmıştır.



Şekil 15. Ağ bölmeleme metodu

Düğüm bilgilerinin tutarlılığını artırmak için Şekil 15’de gösterildiği gibi bölge sayısı 3 veya daha fazla durumlarda merkez bölge ortada ve etrafında da alt bölgelerin olmasıyla bir ağ sistemi oluşur. Az sayıda düğümlerin mevcudiyetinde ise merkez bölge olmadan ağ sistemi oluşur. Bu bölmeleme metodu ile bölgeler arası herhangi bir çakışmanın olmaması

amaçlanmıştır. Ayrıca bu bölgeler için ayarlama parametreleri mevcuttur. Bu parametrelerde merkez bölgenin yarıçapı ve alt bölgelerdeki iki sınır arasındaki açısal değerleri bulunur.

Her düğümün kararlılık ( $S$ ) değeri bulunmaktadır. Bu değerler her turda sürekli güncellenmektedir. Bu değer düğümün bulunduğu alt bölgedeki komşu düğümlerle olan etkileşimine ve bu alt bölgede içindeki bulunduğu konumuna göre etkilenir. Buradaki amaç bir alt bölgede bulunan düğümleri en iyi temsil edecek küme başı düğümü seçmektir. Bu değer, en çok komşu düğümlerden etkilenir. Eğer komşu düğümlerin sayısı artarsa kararlılık değeri de artacaktır. Ancak bu artışlar aynı olmayacaktır. Çünkü burada düğümlerin komşu İHA'lara olan yakınlık durumu da önemlidir. Bununla beraber komşu İHA'ların gittiği yönü ve hızı da çok önemlidir. Burada yazarın hedefi ise ağ, alt bölgelere bölündükten sonra bu bölgeleri dengelemektir. Burada yazar her alt bölgedeki küme başlarının sahip olduğu kararlılık değerlerini dengede tutarak kararlı bir ağ oluşmasını amaçlamıştır.

DGWS algoritmasında, yazar algoritmayı iki süreçte değerlendirmiştir:

- İlk süreçte her bölge için yeni küme başı seçimi yapılmaktadır. Burada küme başı seçimi  $S$  kararlılık değerine göre hesaplanır. Eğer normal bir düğümün kararlılık değeri kendi alt bölgesinde bulunduğu mevcut küme başı düğümün kararlılık değerinden fazla ise küme başı aday olarak seçilir ve rastgele bir süre bekler. Eğer o bölge için başka küme başı aday yoksa bu düğüm küme başı olduğuna dair yayın yapar. Eğer bir bölgedeki küme başı aday sayısı 2 ya da 2'den fazlaysa her birine verilen rastgele bekleme süresi ilk biten düğüm kendi bölgesinin küme başı olduğuna dair yayın yapar. Bu süreçte kullanılan  $S$  kararlılık değeri, Denklem (3)'te gösterilen eşitlikle hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $B$  ile  $L$  olmak üzere iki önemli değer mevcuttur.  $B$  değeri, bir düğümün kendi sınırları içindeki etki faktörünü belirtir.  $L$  değeri ise iki düğüm arasındaki  $t$  zaman dilimi içindeki bağlantı bulabilme olasılığıdır. Bu değer [100]'deki çalışmadan elde edilmektedir.

$$S_i = B_i \sum_{j \in I_k} L_{ij} \quad (3)$$

- İkinci süreçte ise merkez bölgenin yarıçapı ile alt bölgenin açısal değerleri hesaplanmaktadır. Bu görevi üstlenen merkez küme başı, kendi ve alt küme başlarının kararlılık değerlerinden varyans değeri elde eder. Eğer bu varyans değeri belirtilen bir eşik değerinin üstündeyse yeni yarıçap ve açısal değerler hesaplanır.

Bu algoritmadaki aşamalar sırayla tekrarlanarak İHA ağının kararlı bir topoloji oluşturması hedeflenmiştir.

DGWS algoritmanın avantajları şunlardır:

- Sadece küme başları kontrol merkeziyle irtibatta bulunur ve böylece enerji tasarrufu sağlanır.
- İki sekme ötesindeki komşu düğümlerin konum bilgisine sahiptir.
- Veri trafiğini dengeli bir şekilde ayarladığından dolayı düşük bant genişliğine sahip uçan tasarsız ağların bazı bölgelerinde oluşacak dar boğazı önlemektedir.

Dezavantajları ise şunlardır:

- Batarya değerleri hesaba alınmamıştır. Bu yüzden düğümlerin batarya değerlerinde dengesizlikler olabilir.
- Algoritmadaki fazla hesaplama yoğunluğu uçan tasarsız ağların kısıtlı hesaplama kabiliyetinden dolayı gecikmelere sebebiyet verebilir.

### 3.2.3. LID (Lowest-ID) Algoritması

Lowest-ID algoritması, [101]'deki çalışmada tanıtılan kümeleme tabanlı algoritmadır. Bu algoritmada her düğüme eşsiz kimlik numaraları verilir. Görev esnasında ise bu düğümler periyodik olarak kendi kimlik bilgilerini komşu düğümlere yayınlamaya başlarlar. Elde edilen bu düğüm listelerine göre minimum kimlik numarasına sahip olan düğüm, kendisini küme başı olarak ilan eder. Diğer düğümler ise normal düğüm olarak bu küme başlarına katılırlar. Eğer bir düğüm iki küme başı düğümlerinin kapsamı içinde olursa bu düğüm, bu küme başlarının ara geçiş noktası olur.

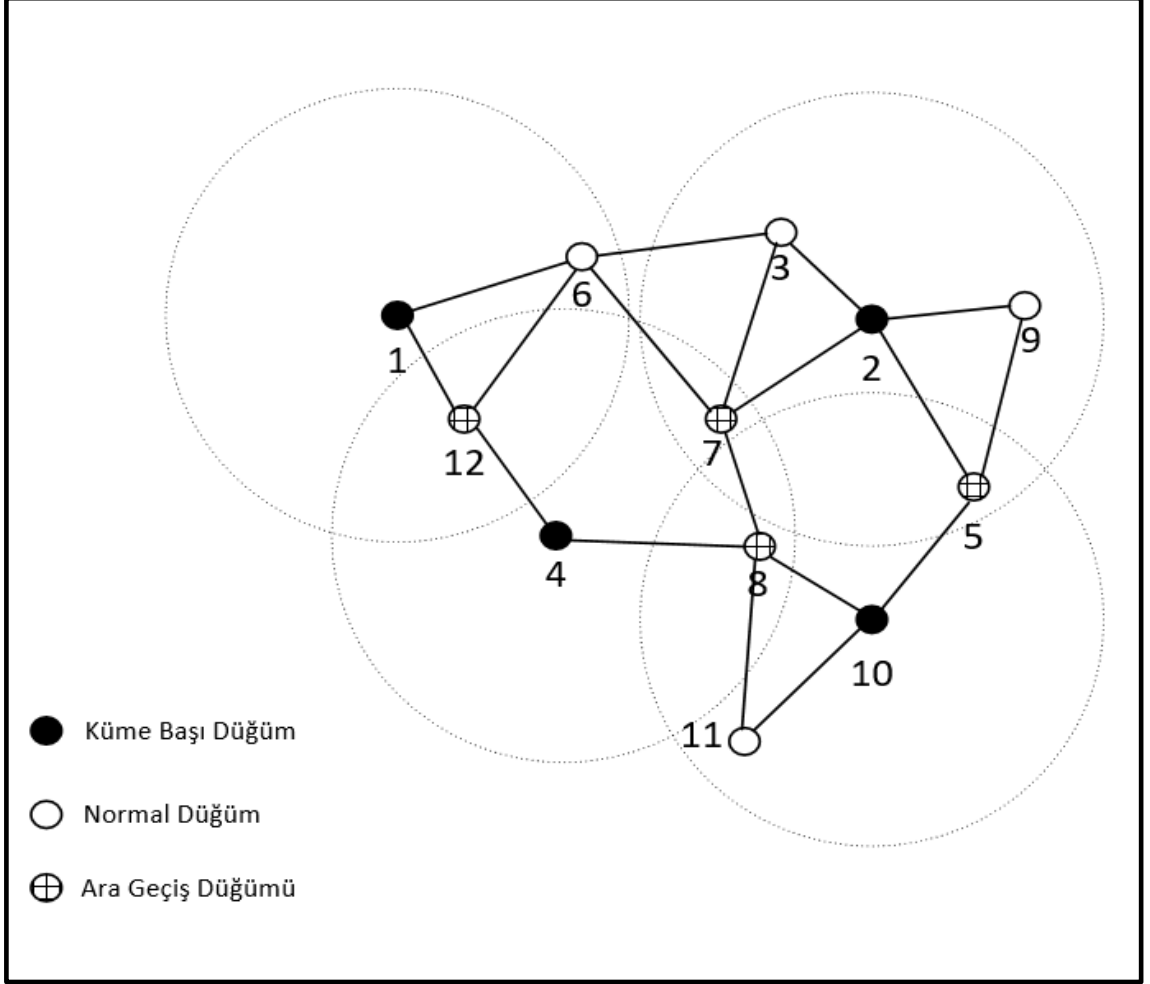
Şekil 16'de Lowest-ID algoritmasının örnek bir uygulaması verilmiştir. Burada 1, 2, 4 ve 10 kimlik numaralı düğümler küme başı düğüm olarak seçilmiştir. 5, 7, 8, 12 kimlik numaralı düğümler ise iki küme başı düğümlerinin kapsama alanında kesişmişlerdir. Bu düğümler ise iki bölge arası haberleşmeyi sağlamak için ara geçiş düğümü olarak görev yaparlar.

Lowest-ID algoritmasının avantajları şunlardır:

- Basit bir algoritmadır.
- Küme başındaki değişim oranı düşük olduğundan sistem performansı açısından verimlidir.

Lowest-ID algoritmasının dezavantajları şunlardır:

- Paket teslim süresinin gecikmesi durumunda küme başı sayısı gereksiz şekilde artabilir.
- Eğer düğümlerin kimlik numaraları, küçük olursa batarya değerleri daha hızlı tükenir. Böylece bu düğümler daha kısa sürede devre dışı kalırlar.



Şekil 16. Lowest-ID algoritmanın düğümler arası örnek uygulaması

### 3.2.4. CONID (K-hop Connectivity ID) Algoritması

CONID algoritması, [102]'de Chen ve arkadaşları tarafından tanıtılan Lowest-ID algoritmasının uzantısı olan kümeleme yaklaşımlı algoritmadır. CONID algoritmasının Lowest-ID algoritmasına göre farkı, düğümlerin küme başı olarak seçilmesi için bağlantı sayısının diğer komşu düğümlerden fazla olmasıdır. Eğer düğümlerin bağlantı sayısı eşitse bu sefer Lowest-ID algoritmasına benzer olarak ID'si az olan düğüm küme başı seçilir. Seçilen küme başı önceden belirlenen k sekme mesafesi kadar düğümleri yönetir. Bu k



sekme mesafesine göre küme başları arasında ise en az  $k + 1$  sekme mesafesi kadar uzaklığa sahiptir. Bu  $k$  değerinin artması durumunda ise ağdaki küme başlarının sayısı azalır.

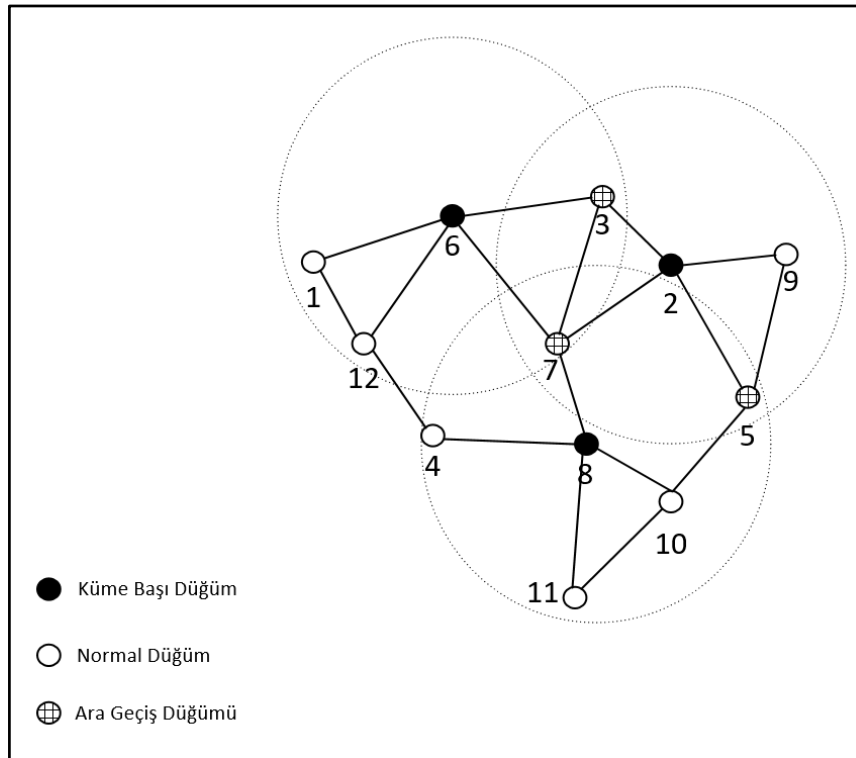
Şekil 17’de CONID algoritmasının örnek bir uygulaması verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 2, 6 ve 8 numaralı düğümler küme başı olarak seçilmiştir. Bu düğümlerin ilk olarak diğer düğümlere olan komşuluk sayılarına bakılır. Komşuluk değeri fazla olan düğüm küme başı seçilir. Eğer komşuluk sayıları eşitse düğümlerin kimlik numarasına (ID) bakılır. En küçük kimlik numarasına sahip düğüm küme başı seçilir.

CONID algoritmasının avantajları şunlardır:

- Lowest-ID algoritmasına göre daha az sayıda küme başı oluşturur.
- Basit bir algoritmadır.
- Sistem performansı bakımından verimlidir.

CONID algoritmasının dezavantajları şunlardır:

- Düğümler arası veri teslimatlarının gecikmesi durumunda küme başları sürekli değişebilir.
- Batarya değerleri göz önünde bulundurulmamıştır.
- Düğümler arası paket yoğunlukları ele alınmamıştır.



Şekil 17. CONID algoritmanın düğümler arası örnek uygulaması

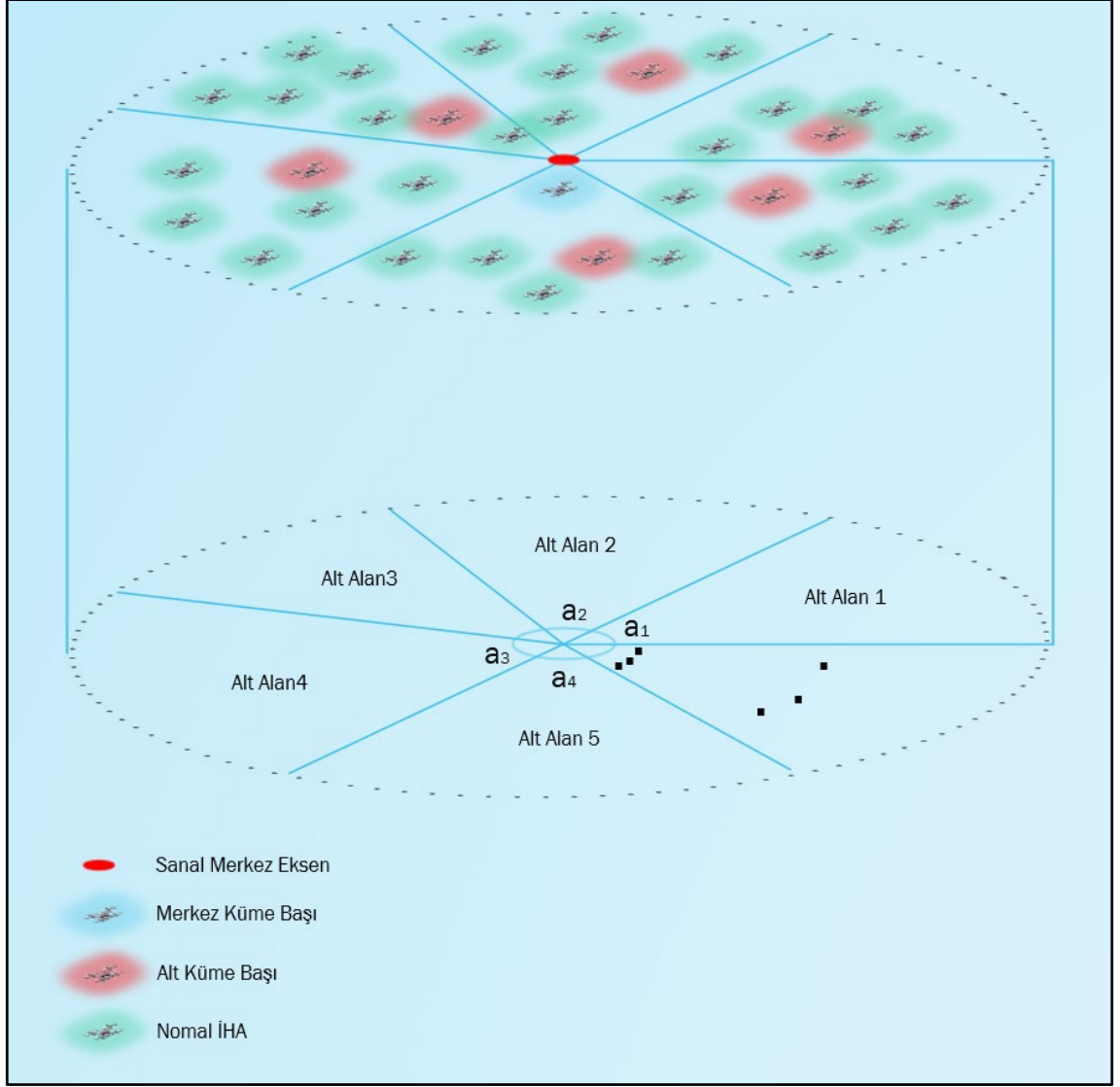
#### 4. YAPILAN ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında, İHA ağlarına özel yeni bir kümeleme mekanizması önerilmiştir. Bu ağlardaki düğümlerin yüksek hareketliliğine, düğümler arası bağlantı hassasiyetine, enerji verimliliğine ve batarya değerlerine dikkat edilmiştir. Ayrıca küme başlarının seçimi sırasında her alt bölgenin veri trafiği yoğunluğunun dengeli tutulması sağlanmıştır. Burada her alt bölge düğüm sayısına göre dengelenebilir. Ancak bazı uygulamalarda İHA'lar heterojen olarak hareket ettiklerinden dolayı [50] bu İHA'ların veri trafiği farklı olabilmektedir. Bu yüzden İHA'ların birim zamanda gönderdiği veriler göz önünde bulundurulmuştur.

Bu alt başlıkta önerilen kümeleme mekanizması hakkında bilgiler verilecektir. Daha sonra bu algoritmanın çalışma mantığı sırayla anlatılacaktır. En sonunda ise bu mekanizma test edilip ayrıca başka mekanizmalar ile karşılaştırılacaktır.

Önerilen kümeleme mekanizmasında iki farklı küme başı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ağın orta bölümünde bulunan merkez küme başı iken ikincisi ise bölümlere ayrılan yerlerin alt küme başlarıdır. Bu mekanizmada ayrıca sanal merkez eksen bulunmaktadır. Bu eksen genellikle İHA ağının orta bölgesine yakın yerlerde bulunmaktadır. Sanal merkez eksenin oluşturduğu çizgiler ise alt bölgelerin sınırlarını oluşturmaktadır. Önerilen kümeleme mekanizmanın örnek gösterimi Şekil 18'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sanal merkez eksenden doğru sınırlar çizilip alt bölgeler oluşmaktadır. Her bir alt bölgenin ise açılı aralıkları bulunmaktadır. Bu açılı aralıkları ise mekanizmanın üçüncü aşaması olan bölmeleme ayarlamasındaki algoritmaya göre şekillenmektedir.

Önerilen kümeleme mekanizması üç aşamada incelenmiştir. İlk aşamada, sanal merkez eksenin nasıl belirlendiği ve merkez küme başı seçiminin nasıl yapıldığı anlatılacaktır. İkinci aşamada, alt bölgelere ayrılmış olan alanların alt küme başlarının seçiminin nasıl yapıldığı anlatılacaktır. Üçüncü aşamada ise bu alanların daha dengeli veri trafiğinin sağlanması için bölmeleme ayarlaması yapılacaktır. İlk turda ağın alt bölgelere ayrılması ve ilk küme başlarının seçimi kontrol merkezi tarafından yapılmaktadır. Bu turda ağ, açılı eşit olacak şekilde alt bölgelere bölünürken ilk alt küme başları ise bu alt bölgelerin merkezine yakın olan düğümlerden seçilirler.



Şekil 18. Önerilen kümeleme mekanizması

#### 4.1. Sanal Merkez Eksenin Ayarlanması ve Merkez Küme Başı Seçimi

Önerilen kümeleme mekanizmanın ilk aşamasının en başında sanal merkez ekseninin ayarlanması yapılır. Daha sonra ise istenen durumların sağlanması halinde merkez küme başının seçimi yapılır. Bu aşamanın görevleri ise aktif merkez küme başı tarafından yerine getirilir.

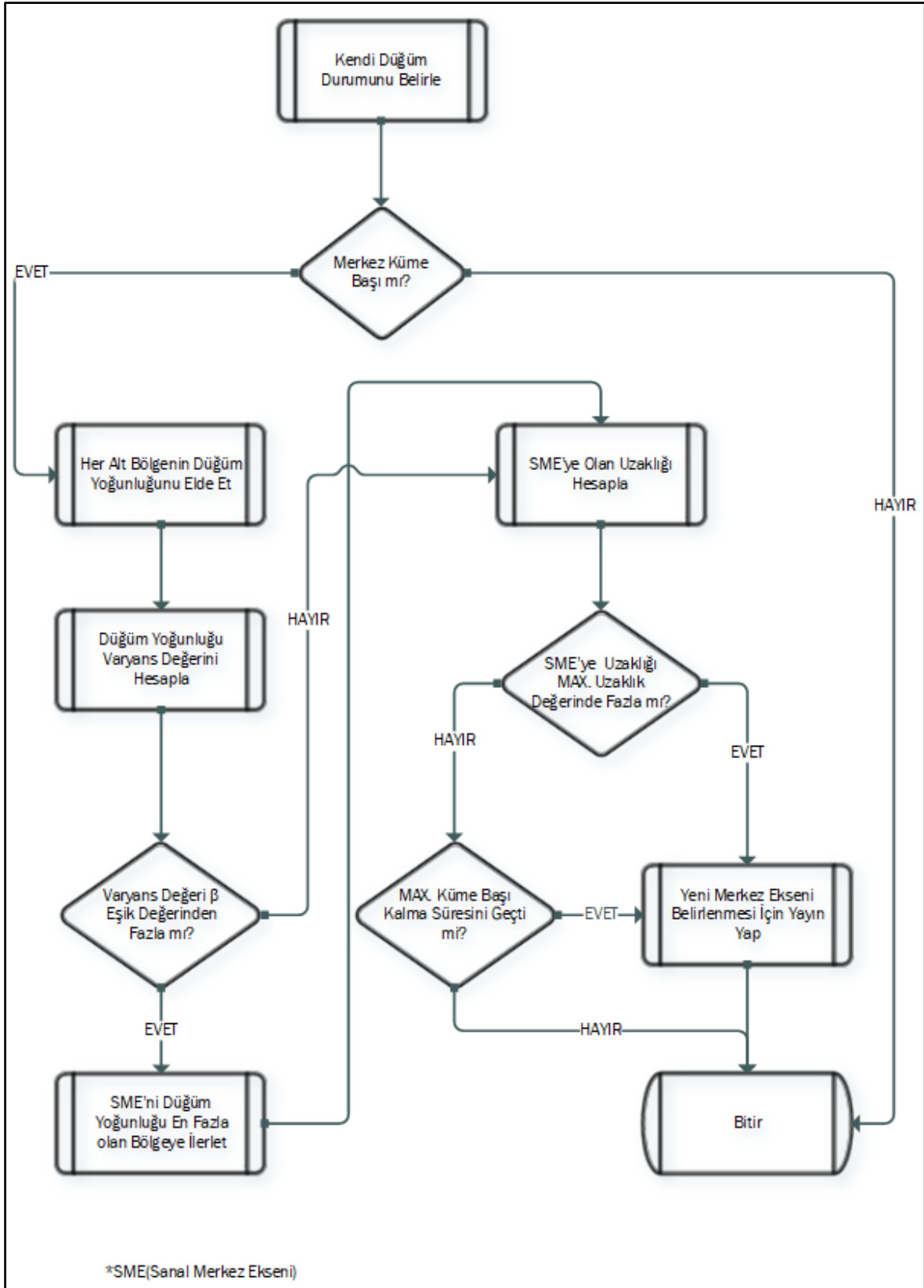
Önerilen kümeleme mekanizmasındaki ilk aşamanın amacı, dinamik olarak hareket eden İHA ağının merkezi sürekli değiştiğinden bu merkezi güncellemek ve en iyi merkez düğümü seçmektir. Merkez küme başının, İHA ağının orta bölgelerinden seçilmesi önemlidir. Çünkü orta bölgelerde seçilen merkez küme başı, ağda bulunan bütün uç

düğümlere daha da yakın olacaktır. Bu durum hızlı hareket eden İHA ağı için çok önemlidir. Bununla beraber, merkez küme başının ağın orta bölgelerinde seçilmesinin ikinci sebebi ise alt bölgeleri birbirine bağlamak ve birbirleri arasında haberleşmeyi sağlamaktadır. Yani normal düğüm başka bir bölgede bulunan normal düğüm ile haberleşmesi durumunda ilk olarak kendi alt bölgesinde bulunan alt küme başına veriyi yollar. Ardından alt küme başı bu veriyi merkez küme başına yollar. Daha sonra ise merkez küme başı normal düğümün bulunduğu alt bölgeyi bulur. Bu alt bölgenin küme başına yollar. En sonunda ise bu alt küme başı paketi hedef düğüme iletir. Merkez küme başı, alt küme başlarının konumlarını her devirde elde ettiği için düğümler arası haberleşme hızlı olacaktır.

#### **4.1.1. Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 1.Aşama Algoritması**

Bu alt başlıkta önerilen kümeleme mekanizmanın ilk aşamasındaki algoritması detaylı olarak anlatılacaktır. Bu algoritmanın akış diyagramı Şekil 19’da gösterilmiştir.

Mekanizmanın ilk aşamasını yöneten merkez küme başı, ilk olarak her alt küme başlarından kendi bölgeleriyle ilgili bilgiler edinir. Her alt küme başlarından elde edilen alt bölge bilgi paketi ise Şekil 20’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi veri paketinin içinde ‘Alt Bölge Sıra’ etiketi bulunmaktadır. Bu etiket kümeleme mekanizmasının Şekil 18’de gösterilen örnek gösteriminde görüldüğü gibi alt bölgenin sıra numaralarıdır. Bu alt bölgenin sırası ‘Alt Bölge 1’ ile başlar. Daha sonra her sınırdan sonra yeni alt bölge oluşur ve ‘Alt Bölge 2’, ‘Alt Bölge 3’ ile devam eder. Böylelikle son alt bölge de ‘Alt Bölge 1’ ile komşu olur. ‘Alt Küme Sayıcı’ etiketi, yeni alt küme başı tarafından seçilmesi durumunda artırılır. Bu etiketteki bilgi sayesinde o alt bölgeye ait yeni alt küme başının seçildiği anlaşılır. ‘Küme Başı Düğüm Kimliği’ etiketi, ağdaki küme başı olan düğümün kendi kimliği iken ‘Konum’ etiketi ise bu düğümün konum bilgilerini barındırır. ‘Toplam Gönderilen Veri’ etiketi ise kendi alt bölgesinde bulunan normal düğümlerden birim zamanda almış olduğu veridir. Son olarak ‘Toplam Düğüm Sayıcı’ etiketi ise alt bölgede bulunan toplam düğüm sayısını ifade eder.



Şekil 19. Sanal merkez ekseninin ayarlanması ve merkez küme başı seçimi

Alt Bölge Sıra	Alt Küme Sayıcı	Küme Başı Düğüm Kimliği	Konum	Toplam Gönderilen Veri	Toplam Düğüm Sayısı
4 bayt	4 bayt	32 bayt	24 bayt	8 bayt	4 bayt

Şekil 20. Alt küme başının merkez küme başına yolladığı bilgi paketi

Merkezi küme başı, bu aşamanın ikinci görevinde alt küme başlarından almış olduğu bilgi paketlerini analiz eder. Bu bilgi paketlerin en önemli etiketi olan normal düğümlerin alt küme başlarına birim zamanda gönderdiği toplam veri sayesinde alt bölgelerin trafik yoğunluğu öğrenilmektedir. Merkez küme başı her alt bölgelerden elde ettiği bu verilerden varyans değeri elde eder. Bu varyans değeri sistemde belirtilen  $\beta$  eşik değerden fazlaysa sanal merkez ekseninin yeni konumunun belirlenmesi aktif hale gelecektir. Sanal merkez eksenin konumunun yönü seçilirken yine bu verilerden yararlanılacaktır. Her bir alt kümenin verisi, komşu alt kümelerin verileriyle toplanır ve o alt bölgenin yön değeri oluşur. Değeri yüksek olan alt bölgenin orta noktası hesaplanır ve böylelikle sanal merkez eksenin kayma yönü belli olur. Sanal merkez eksenin kaç birim kayacağını da seçilen alt bölgenin ve bu bölgenin komşu bölgelerinin düğüm sayıları belirleyecektir. Bu alt bölgenin düğüm sayıları komşu düğümlerden elde edilen düğüm sayıları ile toplanır  $d$  değeri elde edilir. Bu eksen değişikliğini hesaplamak için

$$eksenDegisikligi = \left( \frac{d}{agdakiToplamDugum} \right) * makHiz \quad (4)$$

eşitliği kullanılır. Böylelikle sanal merkez eksen, bu eşitlikten elde edilen birim kadar belirlenen yöne doğru hareket eder. Bu eşitlikteki  $makHiz$  değeri, ağdaki İHA'ların birim zamanda yapmış olduğu maksimum hızını temsil ederken  $agdakiToplamDugum$  değeri ise ağdaki tüm İHA'ların sayısıdır. Sanal merkez eksenin yeni konumu belirlendiğinde mevcut merkez küme başı, yeni konum bilgisini diğer düğümlere yayınlar.

Sanal merkez eksenin yeni konumu güncellendikten sonra merkez küme başının durumu belirlenir. Merkez küme başının değişimi belirlenen iki farklı şarttan en az birinin sağlanması durumunda yapılır. Bu şartlar ise şunlardır:

- Aktif merkez küme başının sanal merkez eksene olan uzaklığı, belirlenen maksimum uzaklık değerinde fazla olması,

- Aktif merkez küme başının merkez küme başı olarak kalması gereken maksimum süreyi geçmesidir.

Bu iki şarttan en az biri sağlandığı zaman aktif küme başı sanal merkez eksenin belirlenen menziline bulunan düğümlere yeni merkez küme başı seçimi için içeriği Şekil 21’de gösterilen paketi yayınlar ve belli bir süre bekler. Bu paket içindeki ‘Merkez Küme Sayıcı’ etiketi, yeni merkez küme başı seçilen düğüm tarafından değeri bir artırılır. Bu değer sayesinde diğer düğümler yeni merkez küme başının seçildiğini anlar. Bu pakette ayrıca mevcut küme başının kimlik bilgileri ile sanal merkez eksenin konum bilgileri bulunmaktadır. ‘Mesafe’ değeri ise seçilecek merkez küme başının sanal merkez eksene olan istenen maksimum menzil değeridir. ‘Zaman Damgası’ etiketi ise bu paketin mevcut küme başı tarafından yayın yapıldığı zamanı gösterir. Aday düğümlerden ilk başta sanal merkez eksene bir İHA’nın maksimum ulaşabileceği menzilin dörtte biri kadar olan bölgede olma şartı istenir. Eğer düğümler bu aralık içindeyse bu düğümler merkez küme başı adayları olarak seçilirler. Bu adaylar daha sonra sahip olduğu bataryadaki kalan enerji miktarının ters orantısı miktarınca süre beklerler. Bekleme süresi en erken biten düğüm daha sonra ‘Merkez Küme Sayıcı’ etiketli değeri bir artırır ve en sonunda bu düğüm kendisinin yeni merkez küme başı olduğunu diğer düğümlere ilan eder. Eğer iki veya daha fazla merkez küme başı adayları, kendini merkez küme başı olarak ilan eden paket yayını yaparsa daha sonra bu paketleri alan düğümler, pakette bulunan batarya değerinin en yüksek olan düğümü kabul ederler. Batarya değeri az olan merkez küme başı adayları ise batarya değeri fazla olan düğümün paketini aldıktan sonra kendini normal düğüme çevirir. Eğer bu paket, düğümlere iletilmezse sonrasında komşu düğümler yeni küme başının hangisi olduğunu bildirirler. Merkez küme başı adayın kendini merkez küme başı olarak ilan eden yayın paketin içeriği Şekil 22’de gösterilmiştir. Bu paketin içeriğinde 6 önemli bilgi bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan ‘Merkez Küme Sayıcı’ etiketi, her yeni merkez küme başı seçildiğinde bu değer seçilen düğüm tarafından bir artırılır. ‘Merkez Küme Başı Düğüm Kimlik’ etiketinde yeni merkez küme başının kimlik bilgileri bulunurken ‘Batarya Değeri’ etiketinde ise bu düğümün kalan batarya değeri mevcuttur. Bu batarya değeri önceden anlatıldığı gibi kendisini küme başı olarak ilan eden düğüm sayısı iki veya daha fazla olduğu durumda önemlidir. Batarya değerlerinin aynı olması durumunda bu sefer ‘Zaman Damgası’ etiketine bakılır. Bu etiket paketin yayın yapıldığı zamanı gösterir. Bu etiketteki bilgi sayesinde batarya değerleri aynı olan aday düğümlerden daha erken yayın yapan düğüm merkez küme başı olarak seçilir. Ayrıca ‘Konum’ etiketinde yayın yapan düğümün konum bilgisi

bulunurken ‘Bir-Sıçramalı Komşu Düğüm Listesi’ etiketinde ise direk bağlantı kurabildiği kendi komşularının bilgileri mevcuttur.

Merkez Küme Sayıcı	Mevcut Merkez Küme Kimlik	Merkez Eksen Konum	Mesafe	Zaman Damgası
4 bayt	32 bayt	24 bayt	4 bayt	8 bayt

Şekil 21. Yeni merkez küme başı seçimi için aktif merkez küme başı tarafından yayın yapılan paketin içeriği

Yeni merkez küme başı seçimi bazı durumlarda başarısızlıkla sonuçlanabilir. Bu durumun en önemli sebebi, sanal merkez eksen noktasının bulunduğu yerden itibaren belirtilen menzil mesafesinden daha aşağı bölgelerde düğümlerin mevcut olmamasıdır. Bu yüzden aktif küme başı yeni küme başı seçilene kadar belirlemiş olduğu menzili artırır ve yayını tekrarlar. Bu küme başı yeni küme başı seçildiğine dair bilgilendirme paketini aldığı zaman kendisini normal düğüme çevirir.

Merkez Küme Sayıcı	Merkez Küme Başı Düğüm Kimlik	Batarya Değeri	Konum	Bir-Sıçramalı Komşu Düğüm Listesi	Zaman Damgası
4 bayt	32 bayt	8 bayt	24 bayt	Dizi	8 bayt

Şekil 22. Aday düğümün yeni merkez küme başı olarak yayın yaptığı paketin içeriği

Merkez küme başı seçimi için önemli iki şart da karşılanmazsa bu turda küme başı seçimi yapılmaz. Daha sonra aktif merkez küme başı içeriği Şekil 22’de gösterilen paketi ‘Merkez Küme Sayıcı’ değerini güncellemeden yayımlar.

#### 4.2. Alt Küme Başları Seçimi

Önerilen kümeleme mekanizmasının ikinci bölümünde, alt bölgelere ayrılan İHA ağında her bir bölge için yeni alt kümelerin seçimi anlatılacaktır. Bu aşamanın en önemli özelliklerinden biri alt küme başlarının seçiminin sadece alt bölgelerinde bulunan İHA’lar içinden yapılmasıdır. Böylelikle yüksek hareketliliğe sahip İHA ağı daha hızlı bir şekilde küme başı seçimi yapmaktadır. Seçilen bu küme başları sayesinde hem bölgeler arası



haberleşmede röle görevi görür hem de direk olarak kontrol merkezi ile haberleşirler. Bununla beraber düğümler arası hiyerarşik durumdan dolayı enerji verimli haberleşme sağlanmaktadır. Kısaca bu aşamada hızlı hareketliliğe duyarlı ve enerji verimliliğini sağlayan alt küme başlarının seçimi yapılmaktadır.

#### 4.2.1. Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 2.Aşama Algoritması

Alt küme başı seçimi öncesi bütün düğümler ilk olarak kendilerinin hangi alt bölgede olduklarını öğrenirler. Yeni sanal merkez eksenin konumu belirlendikten sonra merkez küme başı bu yeni konumu diğer düğümlere bildirir. Bildirilen bu konum bilgisine göre ve daha önceden düğümlerde mevcut olan açısıl değerlerle birlikte düğümler kendilerinin hangi alt bölgede olduklarını öğrenirler. Böylece düğümler yeni alt küme başı seçimleri için hazır olurlar.

Alt bölgelerini öğrenen düğümler ilk olarak kendi kararlılık değerlerini hesaplar. Bu kararlılık değerinin hesaplanmasında düğümün hem bulunduğu alt bölgenin merkez konumuna yakın olması hem de diğer düğümlere olan bağlantı bulabilme olasılığının yüksek olması istenmiştir. Seçilecek alt küme başlarının, bölgenin merkez konumuna yakın yerlerinden seçilmesinin sebebi bu düğümlerin bulunduğu alt bölgelerden çıkma olasılığını en aza indirmektir. Bununla beraber, seçilecek alt küme başlarının diğer düğümlerle bağlantı bulabilme olasılığının yüksek olmasının istenmesinin sebebi ise bu küme başlarının diğer düğümlerle olan irtibatının daha uygun olabilmesidir. Böylelikle hızlı hareketliliğe sahip İHA ağının haberleşmesi daha kararlı yapacaktır. Bu düğümlerin kararlılık değerleri,

$$K_i = B_i * \sum_{i \in I_k \cap M_i} L_{ij} \quad (5)$$

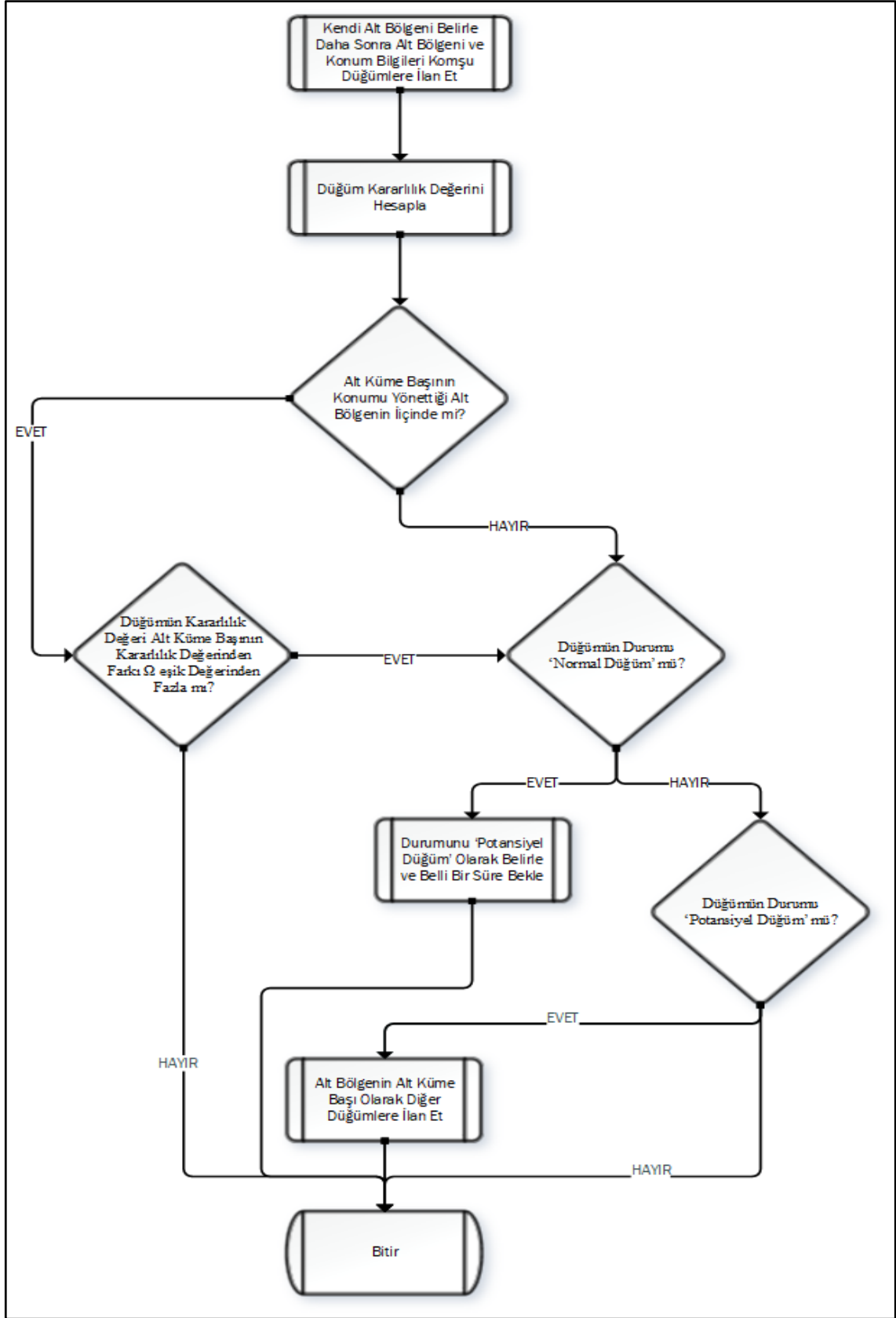
ile hesaplanır. Bu eşitlikteki  $B_i$  değeri, düğüm  $i$ 'nin, bulunduğu alt bölgesinin ortasında bulunması etki faktörüdür. Bu etki faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. Eğer bu düğüm bulunduğu alt bölgenin tam ortasında olursa bu etki faktör değeri 1 olacaktır. Sınırlarına yaklaştığında ise bu etki faktör değeri 0'a yaklaşacaktır. Böylece herhangi bir düğümün bulunduğu alt bölgenin ortasına daha yakın olması durumunda kararlılık değeri daha yüksek olur. Bu sayede seçilecek düğüm kendi bölgesinde daha uzun süre kalır. Düğümlerin bu etki faktörü

$$B_i = \begin{cases} 1 & a = b \\ \frac{2*a}{a+b} & a < b \\ \frac{2*b}{a+b} & b > a \end{cases} \quad (6)$$

ile hesaplanır. Burada  $a$  değeri, düğüm  $i$ 'nin bulunduğu alt bölgenin **alt sınırı** ile en kısa uzaklığını ifade ederken  $b$  değeri ise bu alt bölgenin **üst sınırı** ile en kısa uzaklığını ifade eder. (5)'teki eşitlikte bulunan diğer önemli değer olan  $L_{ij}$  ise düğüm  $i$ 'nin komşu düğüm  $j$  ile bağlantı bulabilme olasılığıdır. Bu eşitlikte ayrıca  $I_k$ , düğüm  $i$ 'nin bulunduğu alt bölge  $k$ 'nın düğümlerini temsil ederken  $M_i$  ise düğüm  $i$  ile komşu olan düğümleri temsil eder. Yani düğüm  $i$ , komşu düğümlerden konum bilgilerini aldıktan sonra eğer bu komşu düğümler bulunduğu alt bölgesindeyse birbirleriyle olan bağlantı bulabilme olasılığını hesaplar. Hesaplanan bu olasılıklar ise toplanarak  $B_i$  etki faktörüyle çarpılır ve düğüm  $i$ 'nin kararlılık değeri bulunur.  $L_{ij}$  değeri, [103]'deki  $L(d_0, t)$  eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada iki düğüm arasındaki  $d_0$  mesafesinin  $t$  zaman sonra  $d$  mesafesinden az olma olasılığı hesaplanmaktadır. Tablo 1'de iki düğümün farklı mesafelerine göre bağlantı bulabilme olasılıkları gösterilmiştir.

Tablo 1. İki düğümün farklı mesafelere göre bağlantı bulabilme olasılıkları (Düğüm menzili=1000 m, Düğümün Maksimum Hızı:30 m/saniye,  $t=15$  saniye olarak alınmıştır. Uzaklık metre cinsinden verilmiştir. )

Uzaklık (metre)	$L_{ij}$	Uzaklık	$L_{ij}$	Uzaklık (metre)	$L_{ij}$	Uzaklık (metre)	$L_{ij}$
10	1,00	260	0,6158	510	0,3674	760	0,1726
20	1,00	270	0,6035	520	0,359	770	0,1652
30	1,00	280	0,5915	530	0,3506	780	0,1579
40	1,00	290	0,5798	540	0,3424	790	0,1507
50	1,00	300	0,5684	550	0,3341	800	0,1434
60	1,00	310	0,5573	560	0,326	810	0,1361
70	1,00	320	0,5463	570	0,3179	820	0,1289
80	1,00	330	0,5356	580	0,3099	830	0,1217
90	1,00	340	0,5251	590	0,3019	840	0,1145
100	1,00	350	0,5148	600	0,294	850	0,1073
110	0,9099	360	0,5046	610	0,2861	860	0,1001
120	0,869	370	0,4946	620	0,2783	870	0,093
130	0,8379	380	0,4848	630	0,2705	880	0,0858
140	0,8119	390	0,4751	640	0,2628	890	0,0787
150	0,789	400	0,4655	650	0,255	900	0,0716
160	0,7682	410	0,4561	660	0,2474	910	0,0645
170	0,7491	420	0,4467	670	0,2398	920	0,0574
180	0,7313	430	0,4375	680	0,2322	930	0,0503
190	0,7145	440	0,4284	690	0,2246	940	0,0432
200	0,6986	450	0,4194	700	0,2171	950	0,0361
210	0,6834	460	0,4105	710	0,2096	960	0,029
220	0,6689	470	0,4017	720	0,2021	970	0,0219
230	0,6549	480	0,393	730	0,1947	980	0,0149
240	0,6415	490	0,3844	740	0,1873	990	0,0078
250	0,6284	500	0,3758	750	0,1799	1000	0,0007



Şekil 23. Alt küme başlarının seçimi

Küme başı seçiminde normal düğüm, kararlılık değerini elde ettikten sonra ilk başta bulunduğu alt bölgenin küme başının başka alt bölgeye gidip gitmediğini kontrol eder. Eğer küme başı başka alt bölgeye geçmediyse normal düğüm ilk olarak potansiyel küme başı adayı olması için kendi kararlılık değerini bulunduğu alt bölgedeki küme başının kararlılık değeriyle karşılaştırır. Daha sonra normal düğüm, küme başının kararlılık değerinden farkının mutlak değeri,  $\Omega$  eşik değerinden büyük olup olmadığını kontrol eder. Eğer bu eşik değerinden büyük ise bu düğüm kendisini ‘Potansiyel Küme Başı’ olarak ilan eder ve rastgele bir süre bekler. Eğer bu düğümün bulunduğu alt bölgede başka ‘Potansiyel Küme Başı’ düğümlerin olması durumunda içeriği Şekil 24’de gösterilen ilan paketini daha erkenden yayın yapan düğüm ‘Aktif Alt Küme Başı’ olur. Bu ilan paketi bu küme başının bulunduğu alt bölgesindeki normal düğümlerle birlikte merkez küme başına da bilgilendirmek amaçlı iletilir. Bu paket içeriğindeki ‘Alt Küme Başı Sayıcı’ etiketindeki değer kendisini yeni küme başı olarak ilan eden düğüm tarafından bir artırılır. Ayrıca bu paket içeriğinde alt bölgenin kimliği, kendisinin kimliği ve konum bilgileri bulunmaktadır. Bununla birlikte küme başının bulunduğu yeri daha kolay bulabilmek için bu paket içeriğinde ‘Bir-sıçramalı Komşu Düğüm Listesi’ etiketli veri dizisi bulunmaktadır. Bu dizide kendisini küme başı olarak ilan eden düğümün komşu düğümlerinin bilgileri mevcuttur. Böylelikle bu komşu düğümlere komşu olan diğer düğümler küme başıyla kolaylıkla bağlantı kurabilecekler. Son etiket olan ‘Zaman Damgası’ ise herhangi bir alt bölgede kendisini küme başı ilan eden iki veya daha fazla düğüm olması durumunda oluşacak olumsuzluğu engellemek için kullanılır. Bu etikette bulunan zaman değeri, paketin düğümden çıkış zamanını göstermektedir. Aynı bölgede kendisini küme başı olarak ilan eden iki veya ikiden fazla düğümlerin olması durumunda ‘Zaman Damgası’ etiketinde bulunan zamana bakılır. Paketi yollama zamanı daha erken olan düğüm asıl alt küme başı olarak seçilir.

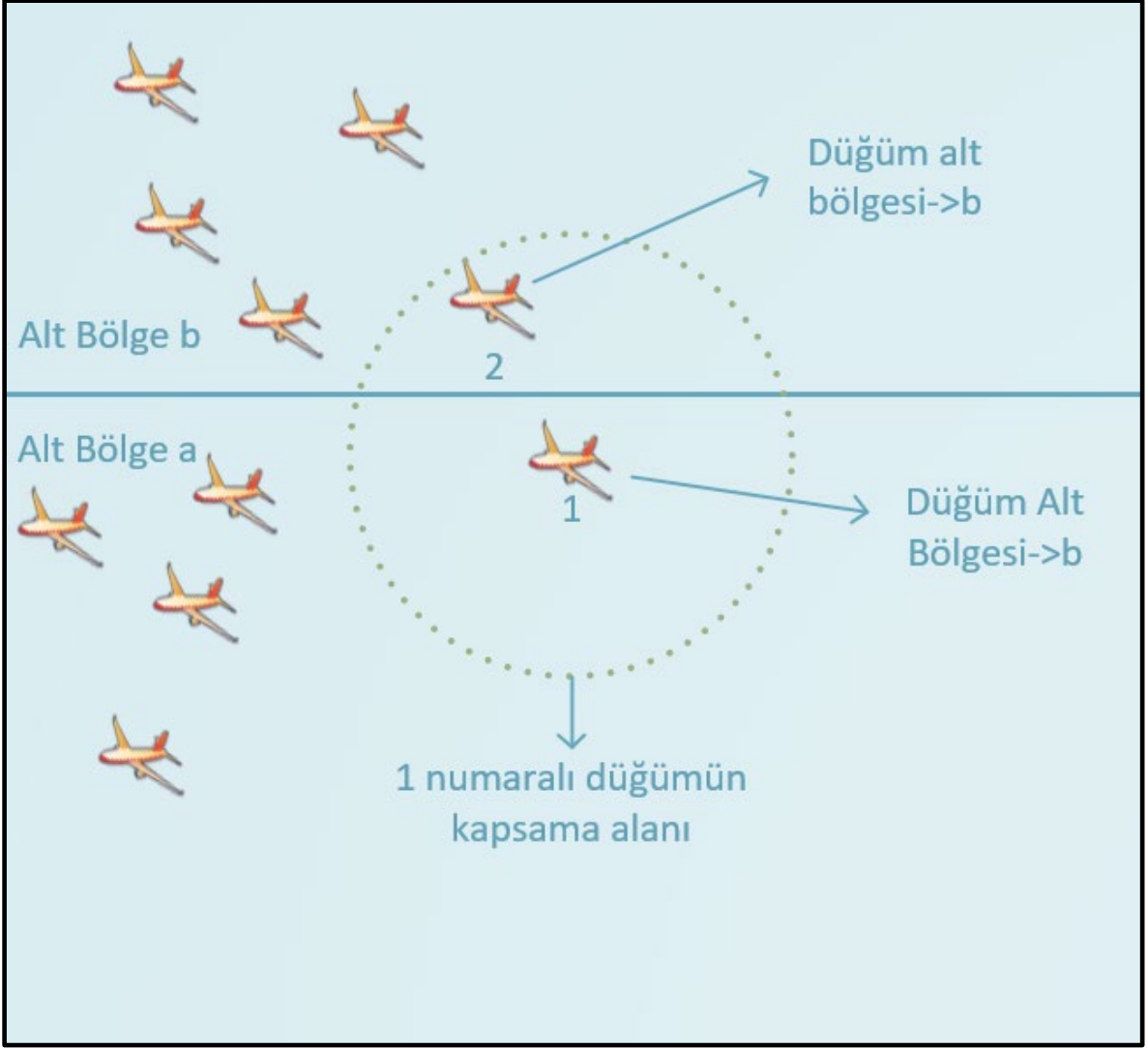
Alt Küme Başı Sayıcı	Alt Bölge Kimliği	Alt Küme Başı Kimliği	Alt Küme Başı Konum	Bir-sıçramalı Komşu Düğüm Listesi	Zaman Damgası
4 bayt	32 bayt	32 bayt	24 bayt	Dizi	8 bayt

Şekil 24. Bulunduğu alt bölgesinde eski alt küme başının bu bölgenin sınırları içinde olan düğümün yeni alt küme başı olduğunu yayınlarken ilan eden paketin içeriği

Eğer düğüm bulunduğu alt bölgenin küme başı başka bir alt bölgeye geçtiyse bu düğüm kendisini direk 'Potansiyel Küme Başı' olarak ilan ettikten sonra hesapladığı kararlılık değerinin ters orantısına göre belli bir süre bekler. Bu süre kadar bekleyen düğüm diğer düğümlerden ilan paketi gelmediği durumda içeriği Şekil 24'te gösterilen bilgiler mevcut olan paketi yayınlamaya ilan eder. Eğer kendisini küme başı olarak ilan eden başka bir düğüm varsa bu düğümlerin kararlılık değeri daha fazla olan düğüm küme başı olarak ilan edilecektir. Diğer düğüm ise kararlılık değeri yüksek olan paketi aldıktan sonra kendini tekrardan normal düğüme çevirecektir. Eğer bu düğümlerin kararlılık değerleri eşit olursa bu sefer 'Zaman Damgası' etiketindeki zamana göre küme başı seçimi yapılacaktır. Burada daha erkenden yayın yapan düğüm küme başı olarak seçilecektir.

İHA'ların alt küme başı olabilmesi için kendi alt bölgesinde bulunan İHA'lardan en az iki düğüm ile komşu olması lazımdır. Bunun en önemli sebebi ise genellikle uç düğüm, bir alt bölgenin sınırı içinde olmasına rağmen komşu düğümler başka alt bölgede bulunmaktadır. Bu yüzden bu düğüm başka alt bölgede bulunan komşu düğümlerin bölgesini temsil eder. Bunu komşu düğümlere bildirir. Bu durumun oluşumu Şekil 25'te örnek olarak gösterilmiştir. Bu şekilde gösterildiği gibi 1 numaralı düğüm ilk olarak kendi alt bölgesini temsil eder. Ancak belli bir süre bekledikten sonra düğümün komşusu sadece b alt bölgesinde olduğu için kendisinin alt bölge kimliğini b alt bölgesi olarak günceller ve bunu diğer düğümlere ilan eder.

Kısaca özetlemek gerekirse, alt küme başlarının seçimi, düğümlerin birbirleriyle olan etkileşimlerine göre ve küme başı seçilecek düğümün alt bölgede daha uzun süre kalmasını hedefleyerek oluşturulmuştur.



Şekil 25. 1 numaralı düğümün alt bölgesini değiştirmesi

### 4.3. Bölmeleme Ayarlaması

Bu bölümde her alt bölgenin sınırlar arası açısal değerlerinin güncelleştirilmesi anlatılacaktır. Kümeleme mekanizmasının 3. aşaması olan bölmeleme ayarlamasındaki amaç, ağın sınırlar arası bölgesel yoğunluklarına göre açısal değerlerin ayarlanmasıdır. Bu aşama merkez küme başı tarafından yönetilmektedir. İkinci bölümde anlatılan alt küme başlarının güncellenmesi yapıldıktan sonra bu küme başları kendi kararlılık değerlerini merkez küme başına bildirir. Bu kararlılık değerleri ile merkez küme başı ise önerilen algoritmaya göre alt bölgelerin sınırlarını güncelleyecektir. Bu algoritma alt başlıkta detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

### 4.3.1. Önerilen Kümeleme Mekanizmanın 3. Aşama Algoritması

Mekanizmanın üçüncü aşamasında açısıl değerlerin güncellenmesi için ilk olarak alt küme başları, ikinci aşamada elde edilen kararlılık değerlerini merkez küme başına bildirir. Merkez küme başı, elde ettiği tüm alt bölgelerdeki küme başlarının kararlık değerlerinden varyans (varyans ( $var(K_i)$ )) değeri elde eder. Eğer alt bölgeler arası düğüm yoğunlukları çok düzensiz ise bu değer yüksek olacaktır. Bölgeler arası düzensizlik azaldığı zaman ise bu değer azalacaktır. Daha sonra bu değer, daha önceden belirlenmiş  $\alpha$  eşik değeriyle karşılaştırılır. Bu eşik değeri alt bölgelerin düzensizliğinin üst sınırıdır. Eğer  $var(K_i)$  değeri bu üst sınırdan büyük olursa düğümler arası yeni açısıl değerler hesaplanacaktır. Bu açısıl değerler ise alt küme başlarının kararlılık değerlerinin ters orantısına göre hesaplanır ( $yeniAci(r_1, r_2, \dots, r_{p-1}, r_p)$ ). Ancak bu yeni açısıl değerler çok keskin farklılıklar oluşturacağından direk olarak uygulanmaz. Bu yüzden bu açısıl değerler ile

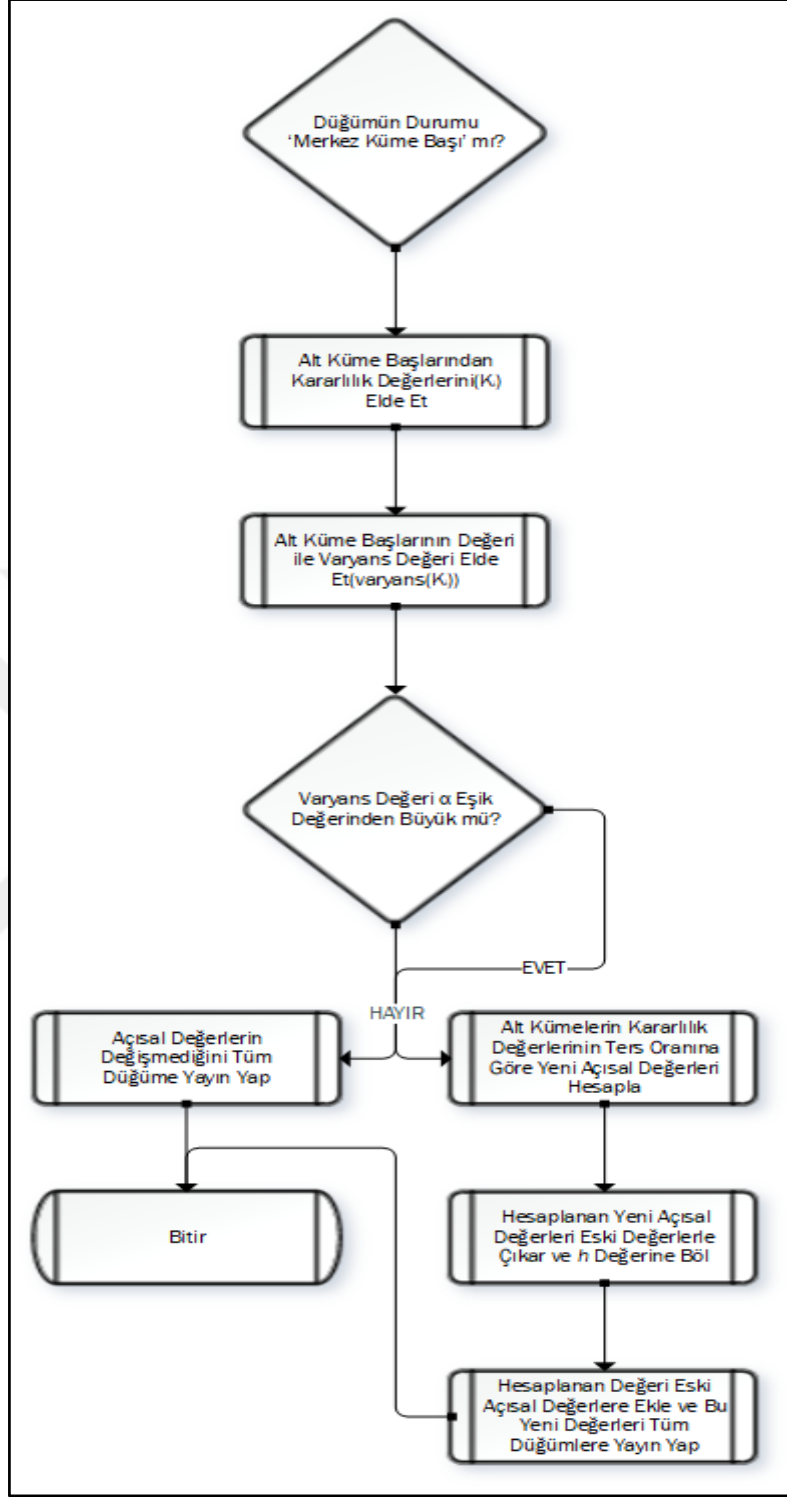
$$\Delta K_i = \frac{yeniAci - eskiAci}{h} \quad (7)$$

fark bulunur. Eşitlikte görüldüğü gibi  $h$  değeri, açısıl değerlerin farkı ile bölünmüştür. Bu değer ile yeni hesaplanacak açısıl değerlerin keskin değişimini engeller. Daha sonra açısıl değerler,

$$Aci = eskiAci + \Delta K_i \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanarak düğümlerin gerçek açısıl değerleri elde edilir. Elde edilen bu açısıl değerler merkez küme tarafından alt küme başlarına yayınlanır. Daha sonra alt küme başları, bu değerleri kendi alt bölgesinde bulunan düğümlere bildirir. Böylelikle bölmeleme ayarlaması tamamlanmış olur. Yeni bölmeleme ayarlaması yapıldıktan sonra düğümler yeni açısıl değerlere göre kendi bulunduğu bölgeleri hemen güncellemez. Bu güncelleme işlemi, birinci aşama sonlandıktan sonra yapılacaktır. Yani düğümler bir turda iki kez kendi alt bölgelerini güncellemez. Bu bölümün akış diyagramı Şekil 26'da gösterilmiştir.





Şekil 26. Önerilen mekanizmanın bölmeleme ayarlaması

Bu bölümün alt başlıklarında önerilen kümeleme mekanizmasının aşamaları tanıtılmıştır. İlk alt başlıkta sanal merkez eksenin ayarlanması ile merkez küme başının seçimi anlatılırken daha sonraki başlıkta alt küme başlarının seçiminin nasıl yapıldığı

anlatılmıştır. En sonunda ise bölmeleme ayarlaması ile sınırların açısız değerleri ayarlanması anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde ise bu mekanizma, simülasyon ortamında performansı test edilecek. Elde edilen performans sonuçları, başka çalışmalarla karşılaştırılıp bu mekanizmanın hedefe ulaştığı gösterilecektir.



## 5. YAPILAN ÇALIŞMANIN PERFORMANS SONUÇLARI

### 5.1. Önerilen Kümeleme Mekanizmasının Performans Testleri İçin Kullanılan Parametreler

Önceki bölümde önerilen kümeleme mekanizmasının aşamaları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde ise bu mekanizma simülasyon ortamında performansı test edilip tartışılacaktır. İlk olarak bu mekanizmanın 4 farklı eşğin farklı değerlerine göre performans testleri yapıp tartışılacaktır. Daha sonra ise bu mekanizmanın performansı 3 ayrı çalışmanın performansları ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca bu mekanizmanın ağı alt bölgelere bölmüş hali birkaç simülasyon görselleri ile sunulacaktır. Bu performans testleri MATLAB programlama platformunda yapılmıştır. Simülasyon ortamında kullanılan parametreler Tablo 2’de kısaca verilmiştir.

Tablo 2. Simülasyonda kullanılan parametreler

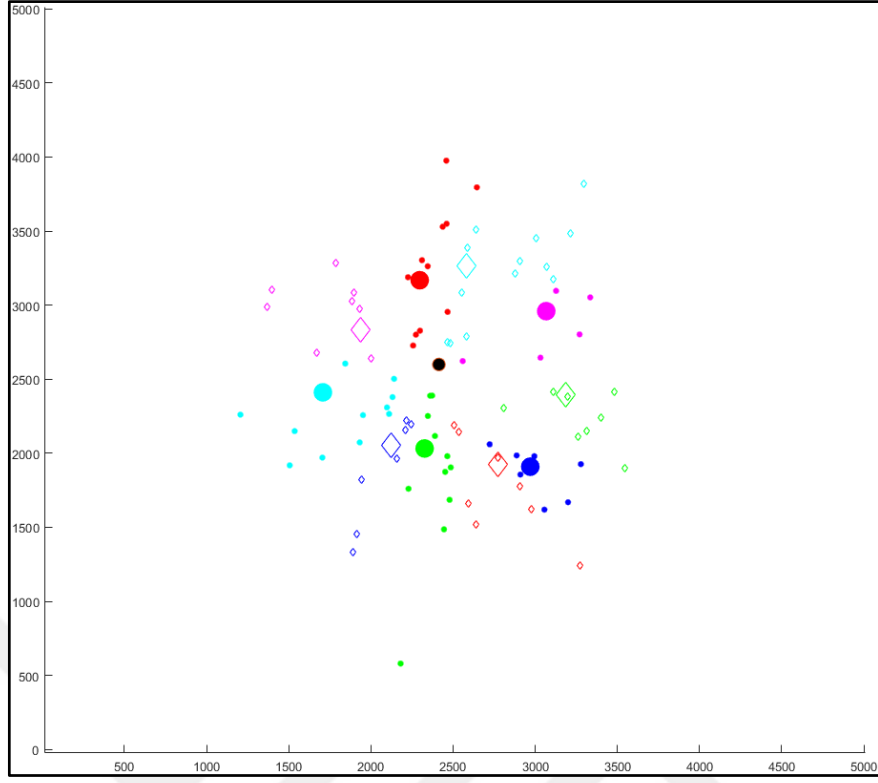
Parametreler	Değerler
Alan Yarı Çapı	2500 m
İletim Menzili	1000 m
İHA Sayısı	100 Adet
Hareketlilik Model	Rastgele Yürüyüş (RW)
Maksimum Hız	30 m/saniye
Minimum Hız	20 m/saniye
Düğüm Veri Hacmi	8 kilobayt/saniye
Veri Paketi	6400 bit
Gönderimde Harcanan Enerji	$50 \cdot 10^{-9}$ J / bit
Alımda Harcanan Enerji	$50 \cdot 10^{-9}$ J / bit
İletim Yükselticisi	$10 \cdot 10^{-8}$ J

## 5.2. Önerilen Mekanizmanın İHA Ağına Uygulanması

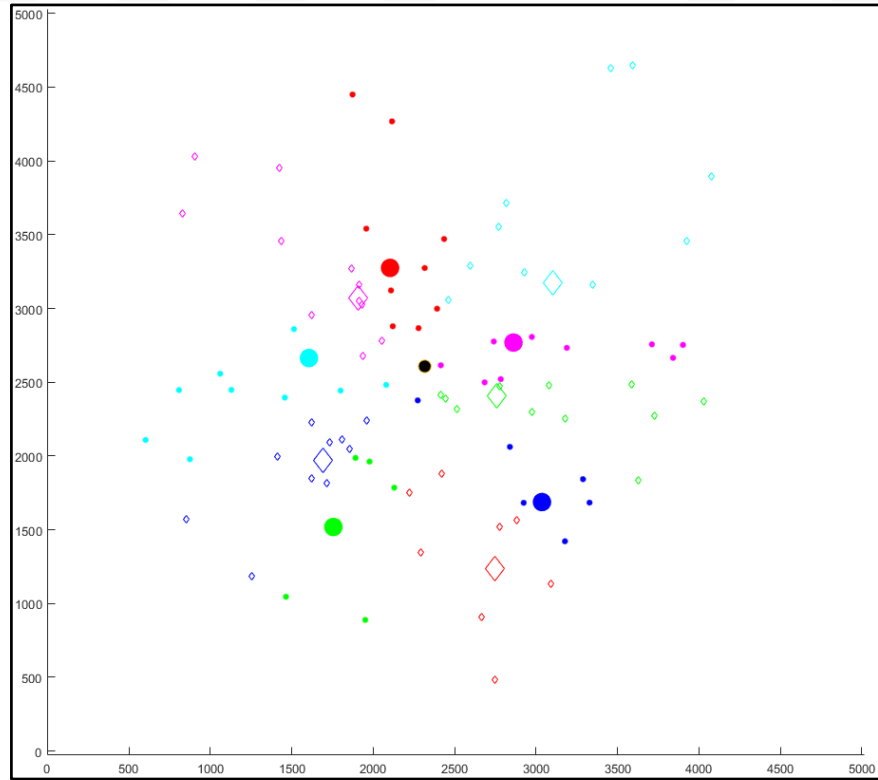
İHA ağındaki düğümlerin paket alışverişinde süreklilik çok büyük önem arz etmektedir. Çünkü haberleşme sırasında İHA'lar hızlı hareket ederler. Bunun yanı sıra, her bir İHA birim zamanda farklı miktarlarda paket yollar. Böyle bir ağ içinde çok büyük paket kayıpları görülebilir. Bununla birlikte düğümler de gereksiz enerji harcamış olurlar. Bu alt başlıkta önerilen kümeleme mekanizmasının İHA ağına etkisini görebilmek için 3 farklı turdaki düğümlerin nasıl kümelendiği gösterilecektir. Burada ağ 10 farklı bölgeye ayrılacak şekilde ayarlanmıştır. Her alt bölgenin sahip olduğu küme başları ve normal düğümleri, farklı renklerde ve şekillerde tanımlanmıştır. Bu şekiller ve renkler Şekil 27'de bulunmaktadır. Ayrıca, merkez küme başı ise siyah renkli nokta ile tanımlanmıştır. Böylelikle kümelere ayrılan İHA'lar rahatlıkla incelenebilecektir. Ayrıca düğümler arası uzaklığı tahmini olarak görmek için de alt ve sol kenarlıklarda çizelgeler bulunmaktadır. Bu çizelgeler metre cinsinden verilmiştir. İHA ağının 3 farklı turdaki simülasyon görüntüleri Şekil 28-30 arasında gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi alt küme başları genellikle alt bölgelerin merkezlerine yakın yerlerde seçilmiştir. Ayrıca 3 farklı tura bakıldığında ağdaki düğümler genellikle dengeli olarak alt bölgelere bölündüğü açıkça görülmektedir.



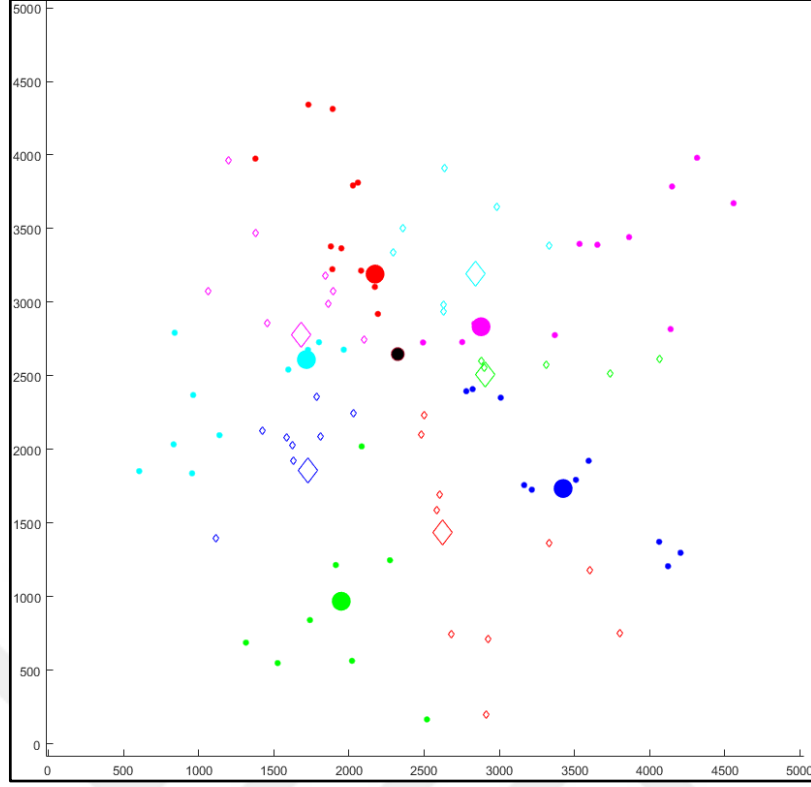
Şekil 27. Düğüm ve merkez eksenin simgesel gösterimi



Şekil 28. 1000 tur sonrası İHA ağı



Şekil 29. 2000 tur sonrası İHA ağı



Şekil 30. 3000 tur sonrası İHA ağı

### 5.3. Önerilen Kümeleme Mekanizmasındaki Eşik Değerlerin Performans Karşılaştırılması

Bu alt başlıkta önerilen mekanizmanın 4 farklı eşik farklı değerlerine göre performans test sonuçları gösterilip tartışılacaktır. Bu eşiklerden ilki olan  $\beta$  eşik, önerilen mekanizmanın birinci aşamasında bulunur.  $\Omega$  ise mekanizmanın ikinci aşamasında bulunurken  $\alpha$  ve  $h$  ise mekanizmanın üçüncü aşamasında bulunmaktadır. Bu eşikler önceki bölümün alt başlıklarında ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Bu eşikler ayrıca bu bölümün alt başlıklarında kısaca tanıtılacaktır. Bununla beraber, her eşik farklı değerlerine göre düğümün bir turdaki ortalama harcadığı enerjileri, bir turdaki ortalama düşen paket sayıları, bir turdaki alt bölgeler arası ortalama paket yoğunluğu düzensizlik değerleri, küme başlarının ortalama küme başı olarak kalma süreleri verileceklerdir. Bununla birlikte, bu eşik değerlerinin en iyi olduğu aralıklar hesaplanarak grafiklerde gösterilecektir.

### 5.3.1. Farklı $\beta$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması

$\beta$  eşiği önerilen mekanizmanın birinci aşamasında bulunmaktadır. Bu eşik, yeni sanal merkez eksenini seçmek için belirtilen en alt sınır değerdir. Burada merkez küme başı her alt bölgedeki küme başlarının birim zamanda aldığı paket miktarlarını elde eder. Elde edilen bu miktarlardan varyans değeri elde edilir. Eğer bu varyans değeri bu eşik değerden fazla ise sanal merkez ekseninin yeni konumu belirlenir.

Şekil 31’de dört farklı grafik verilmiştir. Burada düğümler her tur başı 1 paket boyutunda veri gönderecek şekilde ayarlanmıştır. Her alt küme başları bir turda kendi alt bölgesinde bulunan normal düğümlerden aldıkları paket sayılarını hesaplayıp merkez küme başına yolladıktan sonra merkez küme başı bu değerleri 0 ile 1 arasında orantılı bir şekilde yerleştirir. Daha sonra bu değerlerden varyans değeri elde edilir.

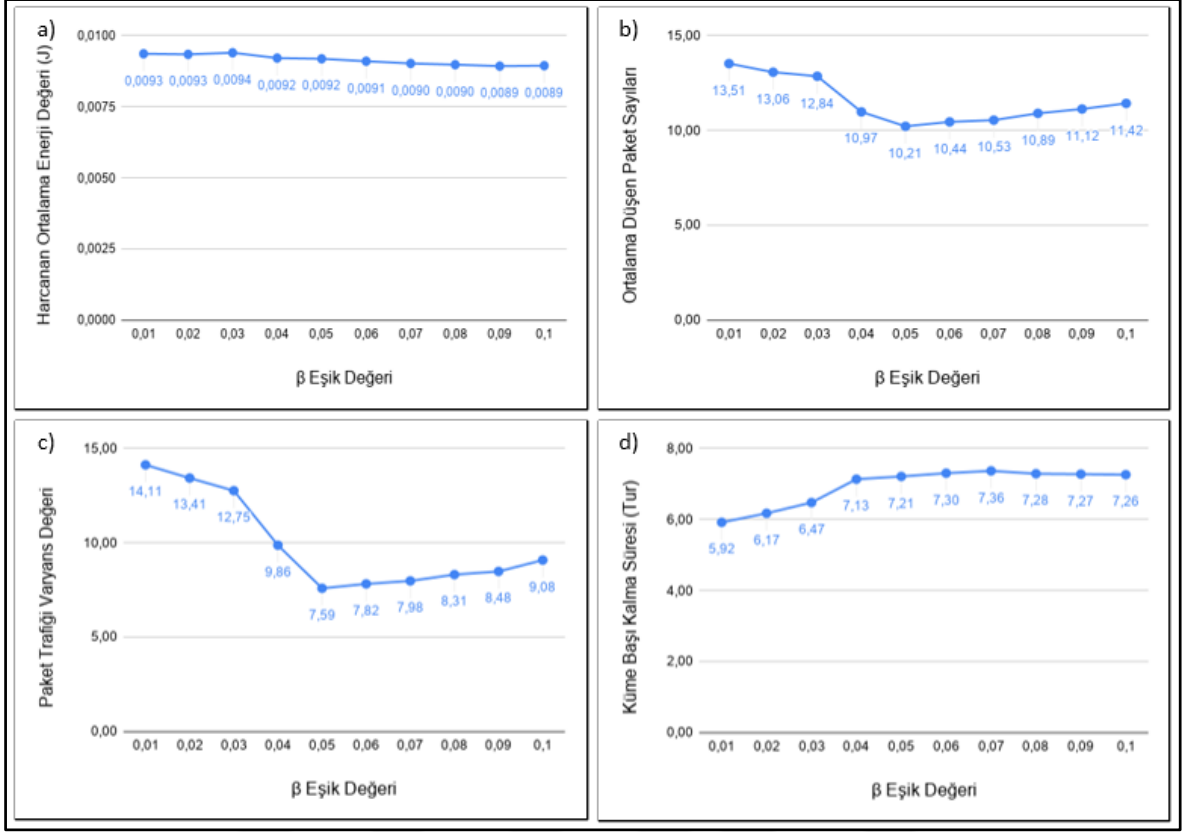
Şekil 31.a grafiğinde farklı  $\beta$  eşik değerlerine göre bir düğümün bir turdaki ortalama harcadığı enerji miktarları verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi 0,03 eşik değeri hariç sürekli olarak harcanan enerji değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Ancak harcanan enerji değerlerine bakıldığında en fazla 0,0005’lik fark gözlemlenmektedir. Bu da yaklaşık olarak %5’lik fark demektir.

Şekil 31.b grafiğinde farklı  $\beta$  eşik değerlerine göre bir turdaki ortalama düşen paket sayıları verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında 0,05 eşik değerine kadar ortalama düşen paket sayılarının önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmektedir. Daha sonra bu eşik değerinden sonra ise ortalama düşen paket sayılarının tekrardan arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu artışın az olduğu görülmektedir.

Şekil 32.c grafiğinde farklı  $\beta$  eşik değerlerine göre her alt küme başlarının bir turdaki aldığı paket miktarlarından elde edilen ortalama varyans değerleri verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında İHA ağının 0,05 eşik değerinde daha düzenli olduğu gözlemlenmiştir. En düzensiz hali ise 0,01 eşik değerinde gözlemlenmiştir.

Şekil 33.d grafiğinde farklı  $\beta$  eşik değerlerine göre seçilen küme başlarının ortalama küme başı olarak kalma süreleri tur cinsinden verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında 0,04 ile 0,1 eşik aralığında küme başları aralıksız ortalama 7 tur üzerinde küme başı olarak kalmışlardır.

Farklı  $\beta$  eşik değerlerinin İHA ağına etkisi şekildeki grafiklerde gösterilmiştir. Bu şekildeki (b) ve (c) grafiklerinde önemli ölçüde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir ve sistemin en iyi  $\beta$  eşik değerinin ise 0,05 olduğu görülmüştür.



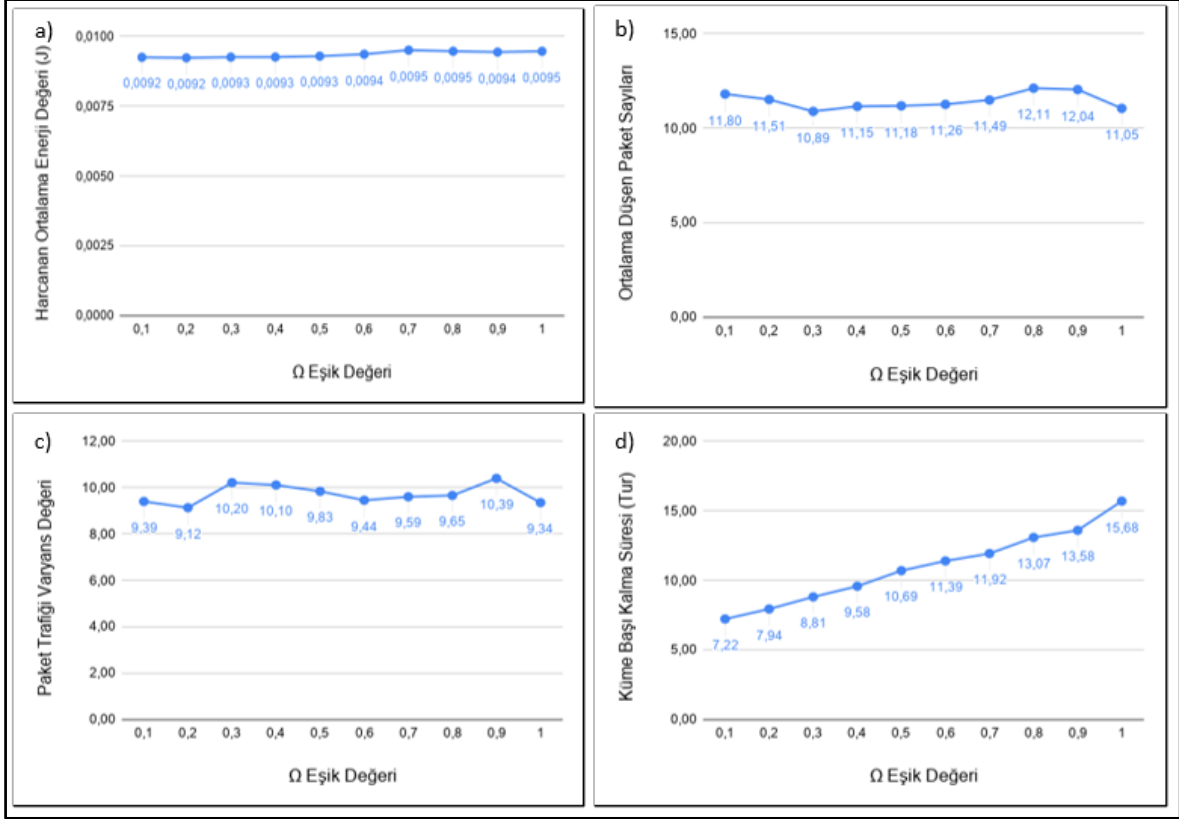
Şekil 31. Farklı  $\beta$  eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafik Varyans Değeri d. Küme Başlı olarak Kalma Süresi

### 5.3.2. Farklı $\Omega$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması

$\Omega$  eşiği önerilen mekanizmanın ikinci aşamasında bulunmaktadır. Bu eşik yeni alt küme başı adayının seçilmesi için belirlenen minimum farktır. Burada eğer normal düğümün kararlılık değeri bulunduğu alt bölgedeki alt küme başının kararlılık değerinden farkı  $\Omega$  eşik değerinden fazlaysa bu düğüm yeni küme başı adayı olarak seçilir. Bu eşiğin farklı değerlerine göre elde edilen performans test sonuçları Şekil 32'deki grafiklerle verilmiştir.

Şekil 32.a grafiğinde farklı  $\Omega$  eşik değerlerine göre bir düğümün bir turdaki ortalama harcadığı enerji miktarları verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında ortalama harcanan enerjilerin arasında en fazla 0,0003 Joule'x"luk fark bulunmaktadır. Bu da yaklaşık olarak %4'lik bir farka tekabül etmektedir.





Şekil 32. Farklı  $\Omega$  eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafik Varyans Değeri d. Küme Baş Kalma Süresi olarak Kalma Süresi

Şekil 32.b grafiğinde farklı  $\Omega$  eşik değerlerine göre bir turdaki ortalama düşen paket sayıları verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında sistemin 0,3 ile 1,0 eşik değerlerinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Şekil 32.c grafiğinde farklı  $\Omega$  eşik değerlerine göre her alt küme başlarının bir turdaki aldığı paket miktarlarından elde edilen ortalama varyans değerleri verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında sistemin 0,2  $\Omega$  eşik değerinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, 1,0 eşik değerinde de hatırı sayılır derecede iyi bir sonuç verdiği görülmektedir.

Şekil 32.d grafiğinde farklı  $\Omega$  eşik değerlerine göre seçilen küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri tur cinsinden verilmiştir. Bu grafikte  $\Omega$  eşik değerlerinin artmasıyla küme başlarının sürekli olarak küme başı kalma sürelerinde önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir. Böylelikle belirlenen aralıktaki en iyi sonuç ise 0,1 eşik değerinde gözlemlenmiştir.

Grafiklerde anlaşıldığı gibi (b) ve (c) grafiklerinde sürekli dalgalanmalar olduğu gözlemlenirken (d) grafiğinde ise sürekli olarak artış yaşanmaktadır. (d) grafiğindeki artışın sebebi, küme başı ile yeni seçilecek normal düğüm arasındaki farkın daha fazla olmasının istenmesidir. Genel itibariyle belirlenen aralıktaki elde edilen sonuçlar ile 1,0 eşik değerinde bu mekanizmanın daha iyi çalıştığı gözlemlenmiştir.

### 5.3.3. Farklı $\alpha$ Eşik Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması

$\alpha$  eşiği önerilen mekanizmanın üçüncü aşamasında bulunmaktadır. Bu eşik yeni bölmeleme ayarlamasının yapılması için belirtilen en alt sınırdır. Burada merkez küme başı her alt bölgedeki küme başlarından kararlılık değerlerini elde eder. Elde edilen bu değerlerden varyans değeri elde edilir. Eğer bu varyans değeri  $\alpha$  eşik değerinden fazla ise yeni bölmeleme ayarlaması yapılacaktır. Bu eşiğin farklı değerlerine göre elde edilen performans test sonuçları Şekil 33'deki grafiklerle verilmiştir.

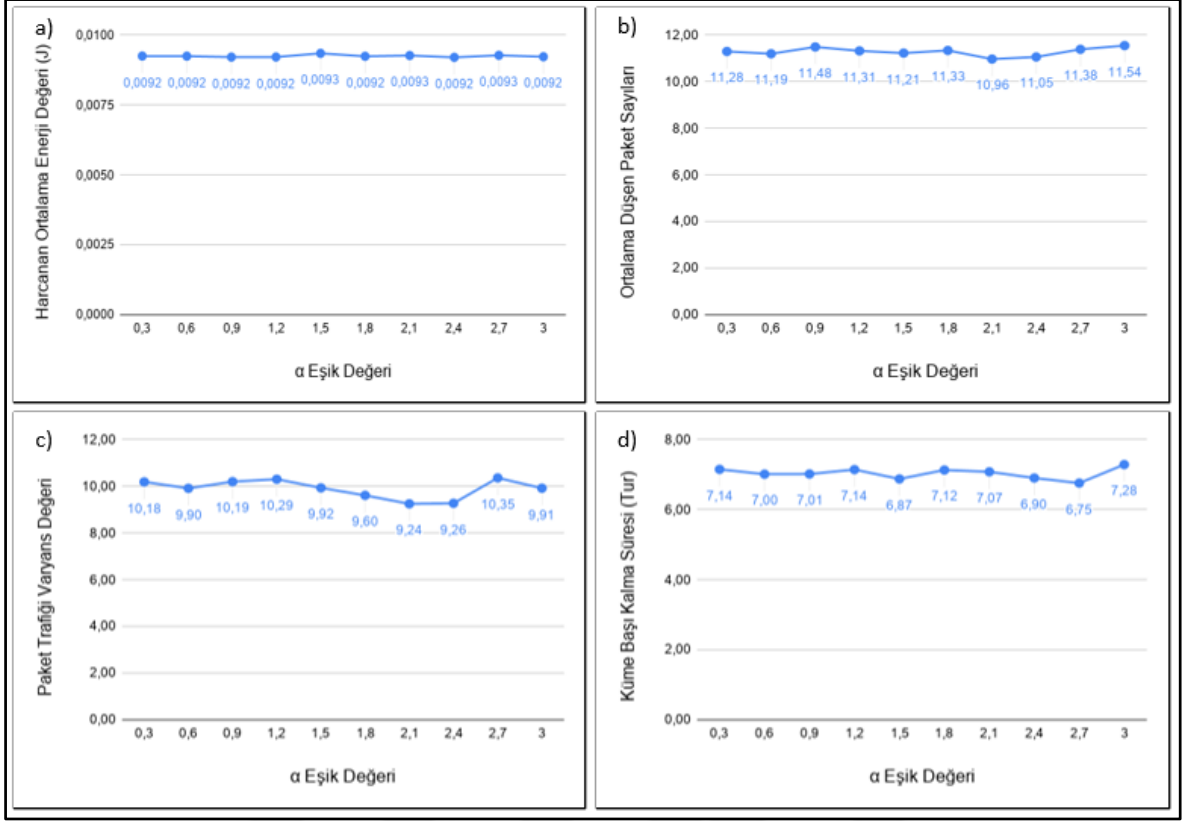
Şekil 33.a grafiğinde farklı  $\alpha$  eşik değerlerine göre bir düğümün bir turdaki ortalama harcadığı enerji değerleri verilmiştir. Bu grafikte her farklı eşik değerlerinde harcanan enerjinin neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 33.b grafiğinde farklı  $\alpha$  eşik değerlerine göre bir turda ortalama düşen paket sayıları verilmiştir. Dalgalanmanın görüldüğü bu grafikte sistem 2,1 ve 2,4 eşik değerlerinde en iyi sonuçları vermiştir.

Şekil 33.c grafiğinde farklı  $\alpha$  eşik değerlerine göre her alt küme başlarının bir turdaki aldığı paket miktarlarından elde edilen ortalama varyans değerleri verilmiştir. Sonuçlar arasında çok büyük farkların olmadığını gösteren bu grafik, az farkla da olsa 2,1 ile 2,4 eşik değerlerinde en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir.

Şekil 33.d grafiğinde farklı  $\alpha$  eşik değerlerine göre seçilen küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri tur cinsinden verilmiştir. Ancak bu grafiğe bakıldığında çok büyük farkların olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 33'teki grafiklerden anlaşıldığı gibi farklı  $\alpha$  değerlerinden elde edilen sonuçlardan çok az farkların olduğu gözlemlenmiştir. Buna rağmen 2,1 ile 2,7 arasında sistemin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlenmiştir.



Şekil 33. Farklı  $\alpha$  eşik değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafik Varyans Değeri d. Kume Başlı Kalma Süresi

### 5.3.4. Farklı h Değerlerine Göre Performans Karşılaştırması

h değişkeni önerilen mekanizmanın üçüncü aşamasında kullanılmaktadır. Bu değişken yeni açılmal değerler elde edildikten sonra keskin değişiklikleri önlemek amaçlı kullanılır. Bu değişkenin farklı değerlerine göre test sonuçları Şekil 34'te görüldüğü gibi dört farklı grafikte verilmiştir.

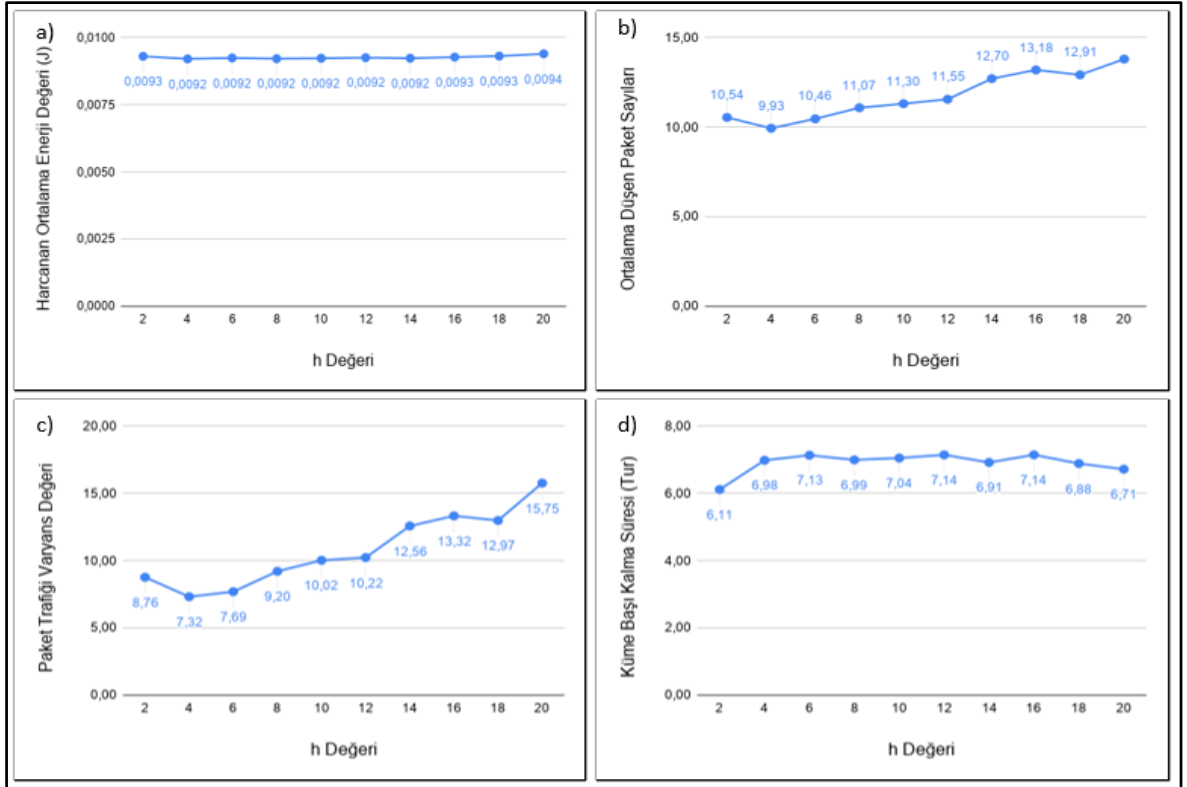
Şekil 34.a'daki grafikte farklı h değerlerine göre bir düğümün bir turdaki ortalama harcadığı enerji miktarları verilmiştir. Bu grafikte her farklı eşik değerlerinden elde edilen ortalama harcanan enerjilerin neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 34.b grafiğinde farklı h değerlerine göre bir turdaki ortalama düşen paket sayıları verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında en iyi h değerinin 4 olduğu gözlemlenmiştir. 4'ten sonra ise dalgalı da olsa düşen paket sayılarında artışlar olduğu görülmüştür.

Şekil 34.c grafiğinde farklı h değerlerine göre her alt küme başlarının bir turdaki aldığı paket miktarlarından elde edilen ortalama varyans değerleri verilmiştir. Bu grafikteki ağ trafiğinin en iyi olduğu h değerinin 4 olduğu gözlemlenmiştir. 4'ten sonra ise (b) grafiğindeki gibi dalgalı artışın olduğu görülmektedir.

Şekil 34.d grafiğinde farklı h değerlerine göre seçilen küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri tur cinsinden verilmiştir. Ancak bu grafikte çok büyük farkların olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 34'teki grafiklere bakıldığında (b) ve (c) grafiklerinde önemli ölçüde farklılıklar bulunmaktadır. Bu iki grafiğe bakıldığında ise en iyi h değerinin 4 olduğu gözlemlenmiştir.

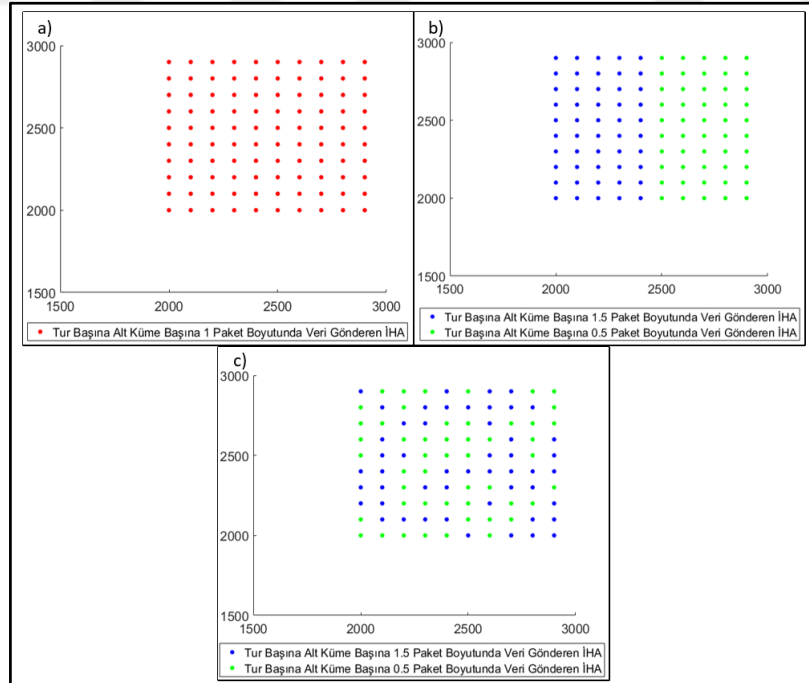


Şekil 34. Farklı h değerlerine göre performans karşılaştırması a. Ortalama Harcanan Değer b. Ortalama Düşen Paket c. Paket Trafiği Varyans Değeri d. Küme Başlı olarak Kalma Süresi

#### 5.4. Başka Mekanizmalara Göre Performans Karşılaştırması

Bu alt başlıkta önerilen kümeleme mekanizması 3 farklı kümeleme mekanizmanın performansları ile karşılaştırılacaktır. Bunlar MANET için üretilen Lowest-ID ve CONID iken İHA ağları için özel olarak üretilen DGWS algoritmalarıdır. Bu karşılaştırma üç farklı

metotta değerlendirilmiştir. İlk olarak bu çalışmalar bir düğümün bir turda ortalama harcadığı enerji miktarlarına göre karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu mekanizmalar bir turdaki ortalama düşen paket sayılarına göre karşılaştırılmıştır. En sonunda ise önerilen mekanizma sadece İHA ağı için önerilen DGWS ile küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma sürelerine göre karşılaştırılmıştır. Diğer mekanizmaların karşılaştırılmamasının nedeni bu mekanizmaların sabit bir küme başı sayısına sahip olamadıklarındandır. Bu yüzden bu mekanizmalardan verimli sonuçlar elde edilmemektedir. Ayrıca bu karşılaştırmalar düğümlerin alt küme başlarına bir turda yolladığı 3 farklı veri paylaşımlarına göre yapılmıştır. Bu veri paylaşımları Şekil 35'te gösterilmiştir. Şekil 35.a'da görüldüğü gibi her düğüm bağlı olduğu alt küme başına bir turda 1 paket boyutunda veri yollamaktadırlar. Şekil 35.b'de ise ağın sol tarafındaki düğümler bağlı olduğu alt küme başına bir turda 1,5 paket boyutunda veri yollarken sağdaki düğümler ise 0,5 paket boyutunda veri yollamaktadırlar. En son olarak Şekil 35.c'de ise düğümler bir turda bağlı olduğu alt küme başına yarısı 1,5 diğer yarısı ise 0,5 paket boyutunda veri göndermek üzere rastgele dağıtılmıştır. Bir paketin boyutu ise Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca bu karşılaştırma 5 farklı çeşit düğüm hareketlerine göre de yapılmıştır.



Şekil 35. a. Homojen Paket Paylaşımı b. Heterojen Paket Paylaşımı-1 c. Heterojen Paket Paylaşımı-2

### 5.4.1. Harcanan Enerji

Bu alt başlıkta önerilen mekanizma harcanan enerjiye göre 3 ayrı çalışma ile karşılaştırılarak buradan elde edilen sonuçlar anlatılacaktır. Bu karşılaştırmadaki harcanan enerji değerleri bir düğümün bağlı olduğu küme başına bir turda yolladığı veri için harcadığı enerji ile aynı şekilde küme başından aldığı aynı miktardaki paket için harcadığı enerjinin toplamıyla elde edilir. Burada ayrıca küme başı ile normal düğüm arasında doğrudan bağlantı varsa herhangi bir röle kullanılmadan paket paylaşımı sağlanmıştır. Eğer doğrudan bağlantı yoksa bu sefer düğüm küme başı arasındaki en iyi röle düğümleri bularak haberleşir.

Tablo 3. Harcanan enerji

	Ortalama Harcanan Enerji (J)				
	Düğüm Hareketleri	Önerilen Yöntem	DGWS [76]	Lowest-ID [101]	CONID [102]
<b>Homojen Paket Paylaşımı</b>	1	0,0088	0,0102	0,0158	0,0158
	2	0,0088	0,0108	0,0167	0,0157
	3	0,0090	0,0095	0,0151	0,0166
	4	0,0101	0,0117	0,0165	0,0164
	5	0,0096	0,0118	0,0160	0,0161
	<b>Ortalama</b>	0,0092	0,0108	0,0161	0,0161
<b>Heterojen Paket Paylaşımı-1</b>	1	0,0090	0,0096	0,0156	0,0152
	2	0,0084	0,0101	0,0163	0,0157
	3	0,0097	0,0086	0,0149	0,0160
	4	0,0091	0,0108	0,0161	0,0168
	5	0,0103	0,0110	0,0159	0,0156
	<b>Ortalama</b>	0,0093	0,0101	0,0158	0,0159
<b>Heterojen Paket Paylaşımı-2</b>	1	0,0089	0,0206	0,0312	0,0313
	2	0,0084	0,0204	0,0328	0,0313
	3	0,0088	0,0182	0,0303	0,0326
	4	0,0092	0,0222	0,0329	0,0327
	5	0,0102	0,0230	0,0321	0,0319
	<b>Ortalama</b>	0,0092	0,0209	0,0319	0,0320

Tablo 3'te 4 farklı çalışmaya göre ağdaki bir düğümün bir turda ortalama harcadığı enerjileri verilmiştir. Bu tablodaki düğümlerin 5 farklı hareketlerinin ortalama değerlerine bakıldığında önerilen yöntem 'Homojen Paket Paylaşımı'nda;

- DGWS algoritmasının harcadığı enerji değerinin yaklaşık %90'u kadar,
- LID ve CONID algoritmasının harcadığı enerji değerlerinin yaklaşık %60'ı kadar enerji harcamıştır. Bu durum 'Heterojen Paket Paylaşımı-1'de de neredeyse aynıdır. Ancak önerilen yöntem 'Heterojen Paket Paylaşımı-2'de;

- DGWS'ın harcadığı enerjinin yaklaşık %45'i kadar,
- LID ve CONID'in harcadığı enerji değerlerinin yaklaşık %30'si kadar enerji harcamıştır. Özetle önerilen çalışma tabloda görüldüğü gibi bütün karşılaştırmalarda en iyi sonuçları elde etmiştir.

#### 5.4.2. Düşen Paket Miktarları

Bu alt başlıkta önerilen yöntem bir turda düşen paket sayılarına göre 3 ayrı çalışma ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar anlatılacaktır. Bu karşılaştırmada küme başlarının bir turda ortalama düşürdüğü paket sayılarının toplam değerlerine göre yapılacaktır. Bu karşılaştırma yoğun bir şekilde paket paylaşımına sahip olan İHA ağındaki küme başlarının durumlarını ölçmek için yapılmaktadır.

Tablo 4'te 4 çalışmanın bir turdaki ortalama düşen paket sayılarına göre karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Bu tablodaki sonuçlara bakıldığında 'Homojen Paket Paylaşımı'nda önerilen yöntem:

- DGWS algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %40'ı kadar,
- LID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %20'si kadar,
- CONID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %15'i kadar paket düşürmüştür. Ayrıca 'Heterojen Paket Paylaşımı-1'de ise önerilen yöntem:
- DGWS algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %45'i kadar,
- LID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %30'u kadar,
- CONID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %20'si kadar paket düşürmüştür. Son olarak ise 'Heterojen Paket Paylaşımı-2'de ise önerilen yöntem:
- DGWS algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %35'i kadar,
- LID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %20'si kadar,
- CONID algoritmasının ortalama düşürdüğü paket miktarının yaklaşık %15'i kadar

paket düşürmüştür. Özetlemek gerekirse önerilen yöntem diğer yöntemlere göre her test en iyi sonuçları vermiştir. Bunun yanı sıra, önerilen mekanizmadaki ortalama düşen paket sayılarının düşük olması bu ağın alt bölgelerindeki paket paylaşımlarının daha dengeli bir biçimde olduğunun göstergesidir.

Tablo 4. Ortalama düşen paket sayıları

	<b>Tur Başı Ortalama Düşen Paketler</b>				
	<b>Düğüm Hareketleri</b>	<b>Önerilen Yöntem</b>	<b>DGWS [76]</b>	<b>Lowest-ID [101]</b>	<b>CONID [102]</b>
<b>Homojen Paket Paylaşımı</b>	<b>1</b>	10,831	22,940	51,855	59,558
	<b>2</b>	9,909	22,398	55,577	61,546
	<b>3</b>	9,436	21,366	49,531	59,994
	<b>4</b>	9,863	25,747	48,027	61,312
	<b>5</b>	9,738	31,577	43,546	55,403
	<b>Ortalama</b>	9,955	24,806	49,707	59,562
<b>Heterojen Paket Paylaşımı-1</b>	<b>1</b>	14,034	37,899	50,542	61,334
	<b>2</b>	12,825	30,697	54,605	61,407
	<b>3</b>	12,994	23,890	48,446	62,638
	<b>4</b>	11,757	18,923	47,337	63,149
	<b>5</b>	14,610	30,701	41,959	55,756
	<b>Ortalama</b>	13,244	28,422	48,578	60,857
<b>Heterojen Paket Paylaşımı-2</b>	<b>1</b>	12,029	40,397	52,494	60,096
	<b>2</b>	11,105	33,435	56,363	62,583
	<b>3</b>	10,182	23,878	49,748	60,417
	<b>4</b>	11,092	20,736	48,674	61,949
	<b>5</b>	10,695	32,805	44,110	55,764
	<b>Ortalama</b>	11,020	30,250	50,278	60,161

#### 5.4.3. Ortalama Sürekli Küme Başı olarak Kalma Süreleri

Bu alt başlıkta önerilen yöntem, küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma sürelerine göre DGWS ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar anlatılacaktır.



Tablo 5’te önerilen mekanizma ile DGWS algoritmasının ‘Homojen Paket Paylaşımı’ndaki küme başlarının ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri verilmiştir. Tablo 6’da ise önerilen yöntemin düğümlerin heterojen paket paylaşımları arasındaki küme başlarının ortalama sürekli küme başı kalma süreleri verilmiştir. Burada sadece önerilen yöntem için verilmesinin amacı DGWS’nin herhangi bir aktif (batarya değeri, paket miktarları) değerlerin algoritmaya etki etmemesidir. Bu yüzden DGWS algoritması, ‘Homojen Paket Paylaşımı’na benzer sonuçlar elde edecektir. Yani bu karşılaştırmada sadece DGWS algoritmasının ‘Homojen Paket Paylaşımı’ndaki değerler hesaba katılacaktır. Sonuçlara bakıldığında önerilen yöntemdeki küme başı düğümler ortalama;

- ‘Homojen Paket Paylaşımı’nda DGWS’nin ortalama tur sayısından yaklaşık %50’sinden,
- ‘Heterojen Paket Paylaşımı-1’de DGWS’nin ortalama tur sayısından yaklaşık %60’ından,
- ‘Heterojen Paket Paylaşımı-2’de DGWS’nin ortalama tur sayısından yaklaşık %45’inden

daha fazla turda aralıksız küme başı olarak kalmıştır. Bu sonuçlar gösteriyor ki önerilen yöntemdeki küme başları DGWS’ye göre daha az miktarda değişmektedir. Böylelikle daha kararlı bir biçimde haberleşme olmaktadır.

Tablo 5. Ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri

	Ortalama Küme Başı Kalma Süreleri (Tur)		
	Düğüm Hareketleri	Önerilen Yöntem	DGWS [76]
<b>Homojen Paket Paylaşımı</b>	<b>1</b>	14,64	8,22
	<b>2</b>	15,72	9,16
	<b>3</b>	14,81	8,44
	<b>4</b>	14,21	10,82
	<b>5</b>	14,11	10,87
	<b>Ortalama</b>	14,70	9,51

Tablo 6. Önerilen yöntemin iki farklı paket paylaşımına göre ortalama sürekli küme başı olarak kalma süreleri

<b>Önerilen Yöntemin Ortalama Küme Başı Kalma Süresi (Tur)</b>		
<b>Düğüm Hareketleri</b>	<b>Heterojen Paket Paylaşımı-1</b>	<b>Heterojen Paket Paylaşımı-2</b>
<b>1</b>	13,92	15,36
<b>2</b>	15,10	15,14
<b>3</b>	12,68	15,57
<b>4</b>	13,30	13,74
<b>5</b>	12,64	14,76
<b>Ortalama</b>	13,53	14,92

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, İHA ağı için yeni bir kümeleme mekanizması önerilmiştir. Bu mekanizmanın yapılmasının amacı enerji verimliliği sağlamak, İHA ağındaki bölgeler arası paket paylaşımını dengelemek ve düşen paket sayısını en aza indirmektir. Bu tez çalışmasında ilk başta İHA ağlarının genel özellikleri belirtilmiştir. Bu özellikler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Daha sonra bu İHA ağlarının sorunları tartışılmıştır. Daha sonra, bu sorunlar göz önünde bulundurularak yeni kümeleme mekanizması önerilmiştir. Bu kümeleme mekanizması üç ayrı aşamada anlatılmıştır. Ardından bu kümeleme mekanizmasının performansını ölçmek için testler yapılmıştır. İlk olarak bu mekanizmada kullanılan 4 farklı eşik farklı değerlerine göre 4 farklı metotta karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu mekanizma 3 ayrı çalışma ile 3 farklı metotta karşılaştırılıp başarımları ölçülmüştür. Bu karşılaştırmalar bir düğümün bir turda ortalama harcadığı enerjilerine göre, ağı bir turda ortalama düşürdüğü paket sayılarına göre ve küme başlarının küme başı olarak kalma sürelerine göre yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucu önerilen mekanizmanın diğer mekanizmalara göre çok iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Böylelikle önerilen çalışma istenilen hedefe ulaşmıştır.

Gelecek çalışmalarda, İHA ağındaki paket paylaşımlarının heterojen olduğu bilindiğinden bu sorunu çözmek için yeni çalışmalar yapılacaktır. Bununla beraber, İHA ağına özel diğer sorunlarda ele alınıp mekanizma daha kararlı hale getirilecektir. Ayrıca bu ağların daha güvenli haberleşmesi için güvenlik sorunları üzerine çalışmalar da yapılacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Zaloga, S., *Unmanned Aerial Vehicles: Robotic Air Warfare 1917-2007*, Osprey Publishing, 2008.
2. Keane, F., K. ve Carr, S., S., A Brief History of Early Unmanned Aircraft, *Johns Hopkins Apl Tech. Dig.*, 32, 3 (2013) 558–571.
3. Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., ve Zhou, T., *Classification of Unmanned Aerial Vehicles*. 2006.
4. Newcome, L., R., *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*, Reston, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
5. Valavanis, K., P., ve Vachtsevanos, G., J., *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2015.
6. Fallis, A., *Advances in Unmanned Aerial Vehicles State of the Art and the Road to Autonomy*, 2013.
7. Gankhuyag, G., Shrestha, A., P. ve Yoo, S., Robust and Reliable Predictive Routing Strategy for Flying Ad-Hoc Networks, *IEEE Access*, 5 (2017) 643–654.
8. Zhou, H., Kong, H., Wei, L., Creighton, D., ve Nahavandi, S., Efficient Road Detection and Tracking for Unmanned Aerial Vehicle, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 16, 1 (2015) 297–309.
9. Y. A. Pederi ve H. S. Cheporniuk, “Unmanned Aerial Vehicles and new technological methods of monitoring and crop protection in precision agriculture”, içinde 2015 IEEE International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), 2015, ss. 298–301.
10. DeGarmo, M., T., *Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace*, Center for Advanced Aviation System Development McLean, Virginia, 2004.
11. Maza, I., Caballero, F., Capitán, J., Martínez-de-Dios, J., R. ve Ollero, A., Experimental Results in Multi-UAV Coordination for Disaster Management and Civil Security Applications, *J. Intell. Robot. Syst.*, 61, 1–4 (2011) 563–585.
12. Manathara, J., G., Sujit, P., B. ve Beard, R., W., Multiple UAV Coalitions for a Search and Prosecute Mission, *J. Intell. Robot. Syst.*, 62, 1 (2011) 125–158.
13. Giitsidis, T., Karakasis, E., G., Gasteratos, A. ve Sirakoulis G., C., Human and Fire Detection from High Altitude UAV Images, 23rd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, 2015, 309–315.
14. Sivakumar, A. and Tan, C., K., Y., UAV swarm coordination using cooperative control for establishing a wireless communications backbone, *The International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, AAMAS, 2, 2010, 1157–1164.

15. Sun, Z., Wang, P., Vuran, M., C., Al-Rodhaan, M., A., Al-Dhelaan, A., M. ve Akyildiz, I., F., BorderSense: Border Patrol Through Advanced Wireless Sensor Networks”, *Ad Hoc Networks*, 9, 3 (2011) 468–477.
16. [www.youtube.com/watch?v=BKSTpCBJtNk&feature=youtu.be](http://www.youtube.com/watch?v=BKSTpCBJtNk&feature=youtu.be). Opening of the Asian Culture Complex - YouTube. 06 Mayıs 2019.
17. Jenkins, D. and Vasigh, B., *The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States*, 2013.
18. Wang, J., Jiang, C., Han, Z., Ren, Y., Maunder, R., G. ve Hanzo, L., Taking Drones to the Next Level: Cooperative Distributed Unmanned-Aerial-Vehicular Networks for Small and Mini Drones, *IEEE Veh. Technol. Mag.*, 12, 3 (2017) 73–82.
19. Hossein, N. ve Arouk, O., Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicles-Based Internet of Things Services: Comprehensive Survey and Future Perspectives, *IEEE Internet Things J.*, 3, 6 (2016).
20. Akyildiz, I., F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E., *Wireless Sensor Networks: A Survey*”, *IEEE Communications Magazine*, 40, 8 (2002) 102–114.
21. Chong, C., Y. ve Kumar, S., P., *Sensor networks: Evolution, Opportunities, and Challenges*, *Proceedings of the IEEE*, 2003, 91,8, 1247–1256.
22. Wang, Q. ve Balasingham, I., *Wireless Sensor Networks-An Introduction*, *Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design*, 2010, 1–14.
23. Heinzelman, W., R., Chandrakasan, A. ve Balakrishnan, H., *Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*”, *33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 1, 2000.
24. Lindsey, S., Raghavendra, C. ve Sivalingam, K., M., *Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics*, *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, 13, 9 (2002) 924–935.
25. Buttyán, L and Schaffer, P., *PANEL: Position-Based Aggregator Node Election in Wireless Sensor Networks*, *2007 IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, 2007, 1–9.
26. Delavar, A., G., *SLGC: A New Cluster Routing Algorithm in Wireless Sensor Network for Decrease Energy Consumption*. *Int. J. Comput. Sci. Eng. Appl.*, 2, 3 (2012) 39–51.
27. Tang, F., You, I., Guo, S., Guo, M. and Ma, Y., *A chain-cluster based routing algorithm for wireless sensor networks*, *Journal of Intelligent Manufacturing* 23, 4 (2012) 1305–1313.
28. Singh, S., P. ve Sharma, S., C., *A survey on cluster based routing protocols in wireless sensor networks.*, *Procedia Computer Science* 45 (2015) 687–695.
29. Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Nam, Y.-H ve Debbah, M., *A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems*, 21, 3 (2019) 2334-2360.
30. Sahingoz, O., K., *Networking Models in Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): Concepts and Challenges*, *J. Intell. Robot. Syst.*, 74, 1-2 (2014) 513–527.

31. Sahingoz, O., K., Mobile networking with UAVs: Opportunities and challenges, 2013 Int. Conf. Unmanned Aircr. Syst. ICUAS 2013, 2013, 933–941.
32. Ramli, M., R., Kim, D., -S. ve Lee, J., M., Hybrid MAC Protocol for UAV-Assisted Wireless Sensor Networks, Internet of Things, (2018) 1–15.
33. Gupta, L., Jain, R. ve Vaszkun, G., Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. IEEE Commun. Surv. Tutorials, 18, 2 (2016) 1123–1152.
34. Rosati, S., Kruzelecki, K., Heitz, G., Floreano, D. ve Rimoldi, B., Dynamic Routing for Flying Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65, 3 (2016) 1690–1700.
35. Krichen, L., Fourati, M. ve Fourati, L., C., Communication Architecture for Unmanned Aerial Vehicle System, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 11104 LNCS, 2018, 213–225.
36. Aranzazu Suescun, C. ve Cardei, M., Unmanned Aerial Vehicle Networking Protocols, The 4. LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering Innovations for Global Sustainability, 2016.
37. Jawhar, I., Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Agrawal, D., P. ve Zhang, S., Communication and networking of UAV-based systems: Classification and associated architectures, Journal of Network and Computer Applications 84 (2017) 93–108.
38. Rackley, S., Wireless Networking Technology: From Principles to Successful Implementation, Newnes/Elsevier, 2007, 253-293.
39. Research priorities in wireless and mobile communications and networking, National Science Foundation, 1997.
40. Perkins, C., E., Ad Hoc Networking, 2000.
41. Barbeau, M. ve Kranakis, E., Principles of Ad Hoc Networking, Wiley, 2007.
42. Mauve, M., Widmer, J. ve Hartenstein, H., A, Survey On Position-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks, IEEE Network, 15, 6, (2001) 30–39.
43. Rasheed, A., Gillani, S., Ajmal, S. ve Qayyum, A., Vehicular Ad Hoc Network (VANET): A Survey, Challenges, and Applications. Advances in Intelligent Systems Computing, 548 (2017) 39–51.
44. Zafar, W. ve Muhammad Khan, B., Flying Ad-Hoc Networks: Technological and Social Implications, IEEE Technol. Soc. Mag, 35, 2 (2016) 67–74.
45. Bekmezci, İ., Sahingoz, O., K. ve Temel, Ş., Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey, Ad Hoc Networks, 11, 3 (2013) 1254–1270.
46. Ahmed, N., Kanhere, S., S. ve Jha, S., Link Characterization for Aerial Wireless Sensor Networks, 2011 IEEE GLOBECOM Workshops, GC Wkshps, 2011, 1274–1279.
47. Rieke, M., Foerster, T. ve Bröring, A., Unmanned Aerial Vehicles as Mobile Multi-sensor Platforms, The 14th AGILE International Conference on Geographic

- Information Science, 2011.
48. Unmanned Systems Roadmap 2007-2032, Office of the Secretary of Defense, 2007.
  49. Brown, T., X., Doshit, S., Jadhav, S. ve Himmelstein, J., Test Bed for A Wireless Network on Small UAVs, 3rd Unmanned-Unlimited Technical Conference 1, 2004, 432–439.
  50. Kang, J., H., Park, K., J. ve Kim, H., Analysis of Localization for Drone-fleet, International Conference on ICT Convergence 2015, 2015, 533–538.
  51. Bor-Yaliniz, R., I., El-Keyi, A. ve Yanikomeroglu, H., Efficient 3-D Placement of an Aerial Base Station in Next Generation Cellular Networks, 2016 IEEE International Conference on Communications, 2016.
  52. Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M. ve Debbah, M., Unmanned Aerial Vehicle with Underlaid Device-to-Device Communications: Performance and Tradeoffs, IEEE Transactions on Wireless Communications, 15, 6, (2016) 3949–3963.
  53. Hu, L., ve Evans, D., Localization for Mobile Sensor Networks, Tenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking 2004.
  54. Almuzaini, K., K. ve Gulliver, A., Range-Based Localization in Wireless Networks Using Density-Based Outlier Detection, Wirel. Sens. Netw. 02, 11 (2010) 807–814.
  55. Yang, X., Gao, Z. ve Niu, Q., Unmanned Aerial Vehicle–assisted Node Localization for Wireless Sensor Networks, Int. J. Distrib. Sens. Networks, 13, 12 (2017).
  56. [www8.garmin.com/aboutGPS/](http://www8.garmin.com/aboutGPS/), Garmin-What is GPS?, 10 Mayıs 2019.
  57. Youssef, A., M. ve Youssef, M., A, Taxonomy of Localization Schemes for Wireless Sensor Networks, International Conference on Wireless Networks, 2007, 444–450.
  58. Lopes, C., G., ve Sayed, A., H., Incremental adaptive strategies over distributed networks, IEEE Trans. Signal Process. 55, 8 (2007) 4064–4077.
  59. Rabbat, M., G. ve Nowak, R., D., Quantized incremental algorithms for distributed optimization, IEEE J. Sel. Areas Commun. 23, 4 (2005) 798–808.
  60. Lopes, C., G., ve Sayed, A., H., Distributed adaptive incremental strategies: Formulation and performance analysis, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 3, 2006, III-584-III-587.
  61. Xiao, L., Boyd, S. ve Lall, S., A, Scheme for Robust Distributed Sensor Fusion Based on Average Consensus, 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005, 63–70.
  62. Xiao, L., Boyd, S. ve Lall, S., A Space-Time Diffusion Scheme for Peer-to-Peer Least-Squares Estimation, Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2006, 168–176.
  63. Takahashi, N. ve Yamada, I., Link probability control for probabilistic diffusion least-mean squares over resource-constrained networks, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2010, 3518–3521.
  64. Baker, A., D., J., The Architectural Organization of A Mobile Radio Network via A

- Distributed Algorithm. *Comput. Commun.*, 30, 14-15 (2007) 2826–2841.
65. Akkaya, K. ve Younis, M., A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks, *Ad Hoc Networks*, 3, 3 (2005) 325–349.
  66. Loscri, V., Morabito, G. ve Marano, S., A Two-Levels Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (TL-LEACH), *IEEE Vehicular Technology Conference*, 3, 2006, 1809–1813.
  67. Razaque, A., Abdulgader, M., Joshi, C., Amsaad, F. ve Chauhan, M., P-LEACH: Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, *2016 IEEE Long Isl. Syst. Appl. Technol. Conf.*, 2016, 1–5.
  68. Lindsey, S. ve Raghavendra, C., S., PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems, *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 3, 2002, 1125–1130.
  69. Bandyopadhyay, S. ve Coyle, E., J., An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks, *IEEE INFOCOM 2003, Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, 3, 2003, 1713–1723.
  70. Youssef, A., Younis, M., Youssef, M. ve Agrawala, A., Distributed Formation of Overlapping Multi-Hop Clusters in Wireless Sensor Networks, *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, 2006, 1–6.
  71. Ding, P., Holliday, J. ve Celik, A., Distributed Energy-efficient Hierarchical Clustering for Wireless Sensor Networks, *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, 322–339.
  72. Younis, O. ve Fahmy, S., HEED: A Hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks, *IEEE Trans. Mob. Comput.* 3, 4 (2004) 366–379.
  73. Uddin, M., A., Mansour, A., Jeune, D., Le, Ayaz, M. ve Aggoune, E., H., M., UAV-assisted Dynamic Clustering of Wireless Sensor Networks for Crop Health Monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 18, 2 (2018).
  74. Jawhar, I., Mohamed, N., Al-Jaroodi, J. ve Zhang, S., A Framework for Using Unmanned Aerial Vehicles for Data Collection in Linear Wireless Sensor Networks. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, 74, 1-2 (2014) 437–453.
  75. Martinez-De Dios, J., R., Lferd, K., De San Bernabé, A., Núñez, G., Torres-González, A. and Ollero A., Cooperation between UAS and Wireless Sensor Networks for Efficient Data Collection in Large Environments, *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, 70, 1-4 (2013) 491–508.
  76. Luo, F., Jiang, C., Du, J., U., N. ve Yuan, J., A Distributed Gateway Selection Algorithm for UAV Networks, 3, 1 (2015) 22-33.
  77. Leonov, A., V., Modeling of Bio-inspired Algorithms AntHocNet and BeeAdHoc for Flying Ad Hoc Networks (FANETs), *13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering*, 2017, 90–99.
  78. Johnson, D., B. ve Maltz, D., A., *Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science,



- 1996, 153–181.
79. Leonov, A., V., Application of Bee Colony Algorithm for FANET Routing, International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM, 2016, 124–132.
  80. Maistrenko, V., A., Alexey, L., V. ve Danil, V., A., Experimental Estimate of Using The Ant Colony Optimization Algorithm to Solve The Routing Problem in FANET, International Siberian Conference on Control and Communications, 2016, 1–10.
  81. Kuchaki Rafsanjani, M. ve Fatemidokht, H., FBeeAdHoc: A Secure Routing Protocol for BeeAdHoc based on Fuzzy Logic in MANETs, AEU - Int. J. Electron. Commun, 69, 11 (2015) 1613–1621.
  82. Bitam, S. ve Mellouk, A., QoS Swarm Bee Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE International Conference on Communications, 2011, 1–5.
  83. De Santis, F. ve Malandrino, D., QoS-based Web Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks Using Swarm Strategies, J. Comput. Networks Commun., 2014 (2014) 1–13.
  84. Bouaziz, M., Rachedi, A. ve Belghith, A., EC-MRPL: An Energy-Efficient and Mobility Support Routing Protocol for Internet of Mobile Things, 14th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, 2017, 19–24.
  85. Fotouhi, H., Moreira, D. ve Alves, M., MRPL: Boosting Mobility in the Internet of Things, Ad Hoc Networks, 26 (2015) 17–35.
  86. Du, H., Wu, W., Ye, Q., Li, D., Lee, W., Xu, X., CDS-based Virtual Backbone Construction with Guaranteed Routing Cost in Wireless Sensor Networks, IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., 24, 4 (2013) 652–661.
  87. Qi, X. ve Yang, Z., A Multi-MCDS Scheduling based Virtual Backbone Network Construction and Maintenance Algorithm in FANET, MATEC Web of Conferences, 189, 2018.
  88. Kaur, S., Gangwar, R., C. ve Singh, R., A Strength based Energy Efficient Algorithmic Approach in MANET, International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations, 2015, 141–145.
  89. Ni, M., Zhong, Z. ve Zhao, D., MPBC: A Mobility Prediction-Based Clustering Scheme for Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60, 9 (2011) 4549–4559.
  90. Aadil, F., Raza, A., Khan, M., F., Maqsood, M., Mehmood, I., Rho, S., Energy Aware Cluster-Based Routing in flying Ad-Hoc Networks, Sensors (Switzerland), 18, 5 (2018).
  91. Singh, K. ve Verma, A., K., Applying OLSR Routing in FANETs, 2014 IEEE International Conference on Advanced Communication, Control and Computing Technologies, 2014, 1212–1215.
  92. Shi, N. ve Luo, X., A Novel Cluster-Based Location-Aided Routing Protocol for UAV fleet Networks, Int. J. Digit. Content Technol. its Appl., 6, 18 (2012) 376–383.
  93. Nayyar, A., Flying Adhoc Network (FANETs): Simulation Based Performance

- Comparison of Routing Protocols: AODV, DSDV, DSR, OLSR, AOMDV and HWMP, 2018 International Conference on Advances in Big Data, Computing and Data Communication Systems, 2018, 1–9.
94. Tropea, M., Santamaria, A., F., Rango, F. De ve Potrino, G., Reactive Flooding versus Link State Routing for FANET in Precision Agriculture, 16th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, 2019, CCNC 2019 1–6.
  95. Zafar, W. ve Khan, B., M., A Reliable, Delay Bounded and Less Complex Communication Protocol for Multicluster FANETs, *Digit. Commun. Networks* 3, 1 (2017) 30–38.
  96. Singh, S., K., A Comprehensive Survey on Fanet : Challenges and Advancements, *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, 6, 3 (2015) 2010–2013.
  97. Heinzelman, W., B., Chandrakasan, A., P. ve Balakrishnan, H., An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 1, 4 (2002) 660–670.
  98. Rappaport, T., S., *Wireless communications : Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, 2002.
  99. Urangun, B., Energy Efficiency for unmanned Aerial Vehicles, 10th International Conference on Machine Learning and Applications, 2011, 316–320.
  100. Han, Q., Bai, Y., Gong, L. ve Wu, W., Link availability Prediction-Based Reliable Routing for mobile Ad Hoc Networks. *IET Commun.* 5, 16 (2011) 2291–2300.
  101. Ephremides, A., Wieselthier, J., E. ve Baker, D., J., A Design Concept for Reliable Mobile Radio Networks with Frequency Hopping Signaling. *Proc. IEEE*, 75, 1 (1987) 56–73.
  102. Chen G., Nocetti, F., G., Gonzalez, J., S. ve Stojmenovic, I., Connectivity based K-Hop Clustering in Wireless Networks, 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2002, 2450–2459.
  103. Gong, L., Bai, Y., Chen, M. ve Qian, D., Link Availability Prediction in Ad Hoc Networks, 14th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2008, 423–428.

## ÖZGEÇMİŞ

Harun Emre KIRAN, 1993 Üsküdar/İSTANBUL doğumludur ve aslen Şalpazarı/TRABZON'ludur. Lisans hayatına 2011 yılında Kırıkkale Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği'nde başlayıp 2015 yılında ise mezun olmuştur. Daha sonra, 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamıştır. Ardından Aralık 2017'de Hitit Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği'nde araştırma görevlisi olarak hayatındaki ilk görev hayatına başlamış olup hala burada görevine devam etmektedir.

