

**T.C.  
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDAKİ ENERJİ TÜKETİMİ İÇİN  
YENİ BİR BULANIK TABANLI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ**

**Akrm H. O. ALFIL**

**Danışman  
II. Danışman  
Jüri Üyesi  
Jüri Üyesi  
Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY  
Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ  
Prof. Dr. Erol KURT  
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN  
Dr. Öğr. Üyesi Erdal ŞEHİRLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KASTAMONU – 2020**

## TEZ ONAYI

Akrm H. O. ALFİL tarafından hazırlanan " Kablosuz Sensör Ağlarındaki Enerji Tüketimi İçin Yeni Bir Bulanık Tabanlı Optimizasyon Yöntemi " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY  
Kastamonu Üniversitesi



II. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ  
Altınbaş Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Erol KURT  
Gazi Üniversitesi



Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN  
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Erdal ŞEHİRLİ  
Kastamonu Üniversitesi



10/01/2020

Enstitü Müdürü

Doç Dr. Nur BELKAYALI



## TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Akrm H. O. ALFIL



## ÖZET

Yüksek Lisans

### KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDAKİ ENERJİ TÜKETİMİ İÇİN YENİ BİR BULANIK TABANLI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Akrm H. O. ALFIL

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ

Bu çalışmada, Kablosuz Sensor Ağlarında (KSA) sağlanan en küçük enerjiyi elde etmek için bulanık mantığı kullanıldı. Bu enerjiyi elde etmede en iyi kümelemeyi ve küme liderini bulmak için Mamdani Bulanık Yöntemini seçilmiştir.

Bulanık kurallar için 9 kural kullanılır. Bu kurallar küçük, orta ve yüksek olmak üzere, üçe üç kuralla toplam 9 kuraldan oluşmaktadır. İki girdi kullanılır: Bunlardan biri her bir düğümün enerjisi, diğeri düğümler arasındaki mesafedir. Bulanık uygulamasının çıktısı, küme lideri için şans değerini ifade etmektedir. Bu, her sensörün küme lideri olma olasılığının, sensörlerin enerjisine ve mesafesine bağlı olduğu anlamına gelir. Bu modelle, küme liderini tespit etmek faydalı bir model olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada, yönlendirme için ise Bulanık Mantık yöntemini kullanılmıştır. Çalışmadaki bulguların benzetimimi gerçekleştirmek ve analiz sonuçlarını elde etmek için MATLAB kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Sensör Ağı, Enerji Tüketimi, Bulanık Mantığı

**2020, 51 sayfa**

**Bilim Kodu: 91**

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### A NEW FUZZY BASED OPTIMIZATION METHOD FOR ENERGY CONSUMPTION ON WIRELESS SENSOR NETWORKS

Akrm H. O. ALFIL  
Kastamonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY

Co-Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ

**Abstract:** In this thesis, the fuzzy logic is used to obtain the minimum energy in the Wireless Sensor Networks (KSA). In order to determine the best clustering and cluster leader, Mamdani Fuzzy Method is chosen.

There are nine rules that are used for the fuzzy rules. These rules are composed of nine rules consists of total of 9 rules with three to three rules. The two inputs are used: one of these is the energy of each node and the other one is the distance between the nodes. The output of the fuzzy implementation represents the chance value for the cluster leader. This means that the probability of each sensor being a cluster leader depends on the energy and distance of the sensors. With this model, identifying the cluster leader is considered as a useful model.

In this study, fuzzy logic method is used for routing. MATLAB programming is used to simulate, perform and obtain the results of the study.

**Key Words:** Wireless Sensor Network, Energy Consumption, Fuzzy Logic

**2020, 51 pages**

**Science Code: 91**

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın baőlangıcından bitimine kadar yardımını, desteğini, bilgi ve deneyimini esirgemeyen Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY ve Eődanıőman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ'ye teőekkürü borç bilirim.

Akademik hayatım boyunca beni her zaman destekleyen, yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmamı büyük bir titizlikle inceleyip, çalıőmama büyük katkı sağlağan, değerlendirmelerini esirgemeyen Sayın Juri Üyeleri'ne çok teşekkür ederim.

Akrm H. O. ALFIL  
Kastamonu, Ocak, 2020

## İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| TEZ ONAYI.....  | ii           |
| TAAHHÜTNAME.....  | iii          |
| ÖZET.....   | iv           |
| ABSTRACT.....   | v            |
| TEŞEKKÜR.....   | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....   | vii          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....  | viii         |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | ix           |
| TABLolar DİZİNİ .....   | x            |
| 1. GİRİŞ .....  | 1            |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ.....   | 6            |
| 2.1. Kablosuz Sensör Ağlarında Gradyan Tabanlı Yönlendirme İçin<br>Enerji Dengeleyen Kümeleme Yaklaşımı ..... | 9            |
| 2.2. Mobil Sensör Ağlarında Maksimum Hasarlı Pil Boşalma Saldırısı.....                                       | 10           |
| 2.3. Kablosuz Sensör Ağı İçin Uyarlanabilir Virüs Yayılım<br>Kontrolüne Sahip Yaygın Bir Model .....          | 10           |
| 2.4. Kablosuz Sensör Ağlarındaki Toplam Enerji Tüketimini Modelleme....                                       | 11           |
| 2.5. Kablosuz Sensör Ağları İçin Düğüm Enerji Tüketiminin<br>Modellenmesi .....                               | 12           |
| 2.6. Kablosuz Sensör Ağında Solucanların İletimi İle İlgili Matematiksel<br>Model .....                       | 13           |
| 2.7. Kablosuz Sensör Ağında Enerji Analizi: Bir Karşılaştırma.....  | 14           |
| 2.8. Kablosuz Sensör Ağlarında Enerji Tüketiminin Azaltılması.....  | 15           |
| 2.9. Stability Analysis of Model and Nonlinear Dynamics in Wireless<br>Sensor Network .....                   | 15           |
| 2.10. Öne Çıkan Yönlendirme Protokolleri.....   | 16           |
| 2.11. Enerji Verimi İçin Protokoller.....   | 17           |
| 3. BULANIK MANTIK VE KARAR VERME .....  | 21           |
| 3.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları .....  | 24           |
| 3.2. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları.....  | 27           |
| 3.3. Bulanık Mantık Uygulama Alanları .....   | 28           |
| 3.4. Nöral Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi.....  | 30           |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....   | 33           |
| 4.1. Bulanık Yapı.....  | 35           |
| 4.2. Benzetim Sonuçları .....   | 39           |
| 5. SONUÇ .....  | 45           |
| KAYNAKLAR .....   | 47           |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 52           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

|          |  |
|----------|--|
| KSA      | Kablosuz Sensör Ağları   |
| KB       | Küme Başları   |
| DEUKH    | Düşük Enerjili Uyumlu Kümeleme Hiyerarşisi                                 |
| SBSGVBT  | Sensör Bilgi Sistemlerinde Güç-Verimli Bilgi Toplama                       |
| EVKŞ     | Enerji Verimli Kümeleme Şeması   |
| EVYBKA   | Enerji Verimi için Yeni Bir Kümeleme Algoritması                           |
| GTYİEDKY | Gradyan Tabanlı Yönlendirmeler İçin Enerjiyi Dengeleyen Kümeleme Yaklaşımı |
| HEOM     | Hiyerarşik Enerji Odaklı Mimari  |
| RF       | Radyo Frekans  |
| EVKP     | Enerji-Verimli Kümeleme Protokolü  |
| DKK      | Dağıtılmış Kaynak Kodlaması  |
| AİHK     | Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi   |
| MBÇS     | Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi  |
| UNBÇS    | Uyarlanabilir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi                                 |
| NBMÇS    | Nöral Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi                                       |
| BÇS      | Bulanık Çıkarım Sistemi  |
| ÜF       | Üyelik Fonksiyonları   |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 1.1. Kablosuz Sensör Ağları'nda (KSA) zaman dilimi için yönlendirme protokollerinin geliştirilmesi..... | 1            |
| Şekil 1.2. Sensör düğümü mimarisi .....   | 3            |
| Şekil 1.3. Kablosuz Sensör Ağları'nda (KSA) küme.....   | 5            |
| Şekil 2.1. Voronoi tabanlı kümeleme.....  | 6            |
| Şekil 2.2. KSA'da kümeleme .....  | 9            |
| Şekil 2.3. KSA için Enerji Verimli Kümeleme Protokolü.....  | 13           |
| Şekil 2.4. KSA'da yönlendirme protokolünün mimarisi .....   | 16           |
| Şekil 3.1. a) Klasik Küme; b) Bulanık Küme .....  | 22           |
| Şekil 3.2. Bulanık Mantık Üyelik İşlevi.....  | 23           |
| Şekil 3.3. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi'nin genel yapısı.....   | 24           |
| Şekil 3.4. Komşuluk alanları.....   | 25           |
| Şekil 3.5. $A = (-5, -1, 1)$ için komşuluk kümesi.....  | 26           |
| Şekil 3.6. İkizkenar yamuk sayılı komşuluk .....  | 27           |
| Şekil 3.7. İki girişli Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi yapısı .....  | 32           |
| Şekil 4.1. Önerilen yöntem için akış diyagramı .....  | 34           |
| Şekil 4.2. Olasılık değerini elde etmek için kullanılan bulanık araç kutusu .....                             | 36           |
| Şekil 4.3. UNBÇS ağı için girdi ve çıktı verileri .....   | 40           |
| Şekil 4.4. Enerji Seviyeleri için Üyelik Fonksiyonu.....  | 40           |
| Şekil 4.5. Mesafe için Üyelik Fonksiyonu .....  | 41           |
| Şekil 4.6. Son olasılık kuralları .....   | 41           |
| Şekil 4.7. a) Önerilen yöntem için başlangıç alanı, b) Kablosuz Sensör Ağı ...                                | 42           |
| Şekil 4.8. Canlı düğüm sayısına göre tur sayısı .....   | 43           |
| Şekil 4.9. Baz istasyonundan tur başına alınan paket sayısı .....   | 43           |
| Şekil 4.10. Ağın toplam enerjisi.....   | 44           |

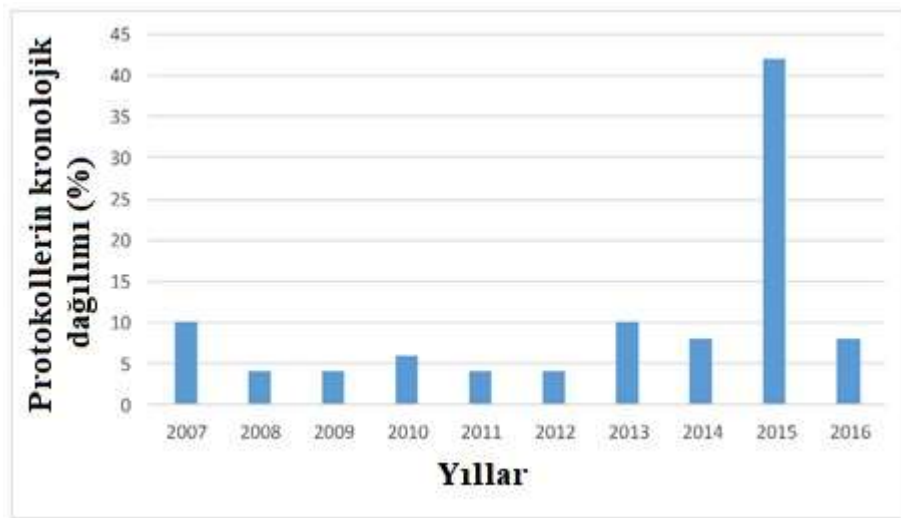
## TABLULAR DİZİNİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Tablo 3. 1. Klasik mantık ve Bulanık Mantık arasındaki temel farklılıklar ..... | 21           |
| Tablo 3. 2. Bulanık Mantık uygulamaları .....                                   | 29           |
| Tablo 4. 1. Parametreler ve karşılık gelen değerler .....                       | 35           |
| Tablo 4. 2. Bulanıkta kullanılan parametreler.....                              | 39           |



## 1. GİRİŞ

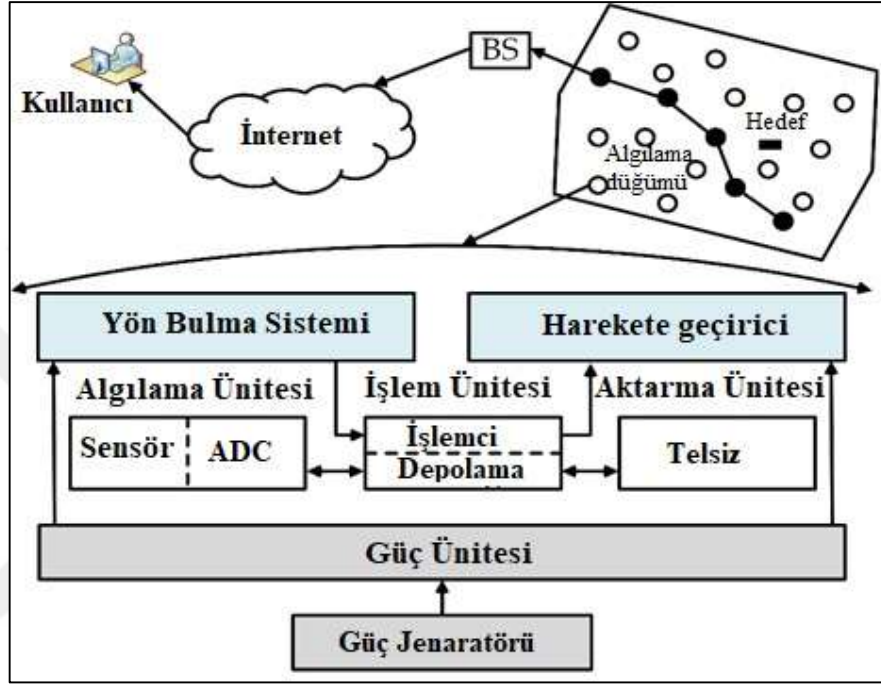
Uzak Kablosuz Sensör Ağları (KSA) (WSA-Wireless Sensor Networks) hareket kontrolü, ev robotizasyonu, akıllı savaş bölgeleri, durum kontrolü ve daha pek çok amaca yönelik olarak son zamanlarda geliştirilen teknolojiler arasındadır. Bir amaç doğrultusunda belirli bir alana yerleştirilen farklı sensörler KSA çatısı altında bir araya getirilmektedir. KSA'da kontrol ve idare veya daha genel tabiriyle yönlendirme, titizlikle ele alınması gereken önemli bir görevdir. Sensör düğümleri ve baz istasyonları arasında senkronizasyonun sağlanması için gerekli olan bilgi alışverişinin ne şekilde olacağını, yönlendirme metodu belirler. Çalışmamızda da benimsenecek olan temel yaklaşım, bu yönlendirmenin uygulama sahasına bağlı olarak değişmesidir. Yönlendirme konusu sistem ömrünün uzun olmasıyla, çok yönlü ve tam kapasite kullanılması arasındaki sınırı belirler. Bu konuda yapılagelen araştırmalar sonucunda, kapasite kullanımını sınırlamak ve sistemin ömrünü uzatmak için farklı yönlendirme eğilimleri ortaya çıkmıştır. Bu yönlendirme eğilimleri, düğümler arası işbirliği, gruplama, çalışma sistemi ve sistem yapısı gibi açılardan sınıflandırılabilir. Yönlendirme konusunda farklı zorluklar kapasite kullanımı, dağıtımın/aktarıcının yerleştirilmesi, uyumluluk, kullanılabilirlik, kapsam ve güvenlik olarak sıralanabilir (Sarkar ve Murugan, 2016). KSA'lar için geliştirilen protokollerin zaman içindeki dağılımları Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Kablosuz Sensör Ağları'nda (KSA) zaman dilimi için yönlendirme protokollerinin geliştirilmesi (Sarkar ve Murugan, 2016).

Uzaktan erişim sağlanan sıradan bir sensör sistem veya ilgilenilen alan hakkında veri toplayabilir, bu şekilde her veri toplamada amaçlanan sınırlar dâhiline yerleştirilen çok sayıda sensör bulunabilir. Bu sensörlerin topladığı veriler baz istasyonuna yönlendirilir. Uzaktan erişim sağlanan sensörler için başlıca meselelerden biri, güç kaynağı üniteleridir çünkü ortamdaki kaynaklı fiziksel engellere de bağlı olarak güç kaynağının verimliliği sensörün aktivitelerini sınırlayabilmektedir. Genel olarak, bir sensörün uzak bir mesafeye yerleştirilmesi, o sensöre enerji sağlamanın ve gerektiğinde sensörün yenilenebilmesinin mümkün olmasını zorunlu kılar. Bu da, kapasitenin üretken bir şekilde kullanılabilmesi ihtiyacını doğurur. Sensör kaynaklarının verimli ve etkili kullanılması nihai amacı göz önünde bulundurularak, sensör kullanımı ve yerleştirilme aşamalarının önceden öngörülmesi gereklidir. Doğal olarak belirli bir hata payını hesaba katan ve ideal bir şekilde çalışan bir sensör yapısına ihtiyaç vardır. Sorunlardan mümkün olduğunca kaçınabilmek için talihsizliklerin, yenileme gereksinimlerinin ve kırılma eğilimine engel olacak sensör sayısının gözetilmesi gereklidir. Dahası kaynak sınırlamaları, kontrolsüz hareketler, bilgi fazlalığı, birimlerin organize edilmesi de aynı şekilde hesaba katılmalıdır. Gereksinimler bu iyileştirmeleri zorunlu kılar çünkü kapasite kullanım ayarları, farklı aktivitelerin loglanması, bilgi paketlerinin kritik olması bu işlemleri daha da zor hale getirir. Saydığımız gerekçeler nedeniyle bu konuda çok sayıda farklı araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, uzak sensör sistemleri bir baz istasyonu ile beraber çalışan bir grup sensörün bir parçası olarak kullanılmaktadır ve sensör sayısı ile ilgili hesaplamaların dinamik olması öngörülmektedir ve nihai hedef sistemin ömrünün uzatılmasıdır. Bu nedenle Shannon Veri Hipotezi'nin, radyo verici/alıcı menzilin ve entropinin sistem ömrü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Her bir bölgeden veri alınması hedefiyle bölge giriş yollarından izole edilir ve işin her adımında odaklanılan çerçevede bir sensör görevi yerine getirilir. Her bir ağdaki dinamik sensör sayısı, dinamik ikinci sensörlerin toplam sayısıdır. Toplam entropi parçalara ayrılarak ve ilgili olasılıklardan faydalanılarak olabilirlik hesaplanır. Amaç her bir kafeste (lattice) çalışır bir sensörün bulunmasıdır. Eniyilemenin (optimizasyon) bir parçası olarak baz istasyonu tarafından sensörlere gönderilen kenar kullanılabildiği ve çalışmanın da amacı sistem ömrünü uzatmak olduğu için, faaliyette olan sensör sayısının sınırlandırılmasına çalışılmıştır. Bunun için aynı homojen kapsam bölgesi için yukarıda karakterize edilen en uç entropi verilir. Sensör faaliyetinin genel

tüketimi için entropi kullanılır ve normal faaliyetindeki tüketim miktarı verilir. Kapsam bölgesi ve sistem ömrü şu ölçütlere dayanılarak elde edilmiştir: Çalışan sensör sayısı makul sınırlar içinde olabildiğince azaltılmıştır ve entropi elde edilebilecek tahmini en iyi entropiye yakındır (Elbaşı ve Suat, 2012). Sensör düğüm mimarisi Şekil 1.2’de verilmektedir.



Şekil 1.2. Sensör düğümü mimarisi (Liu, 2012).

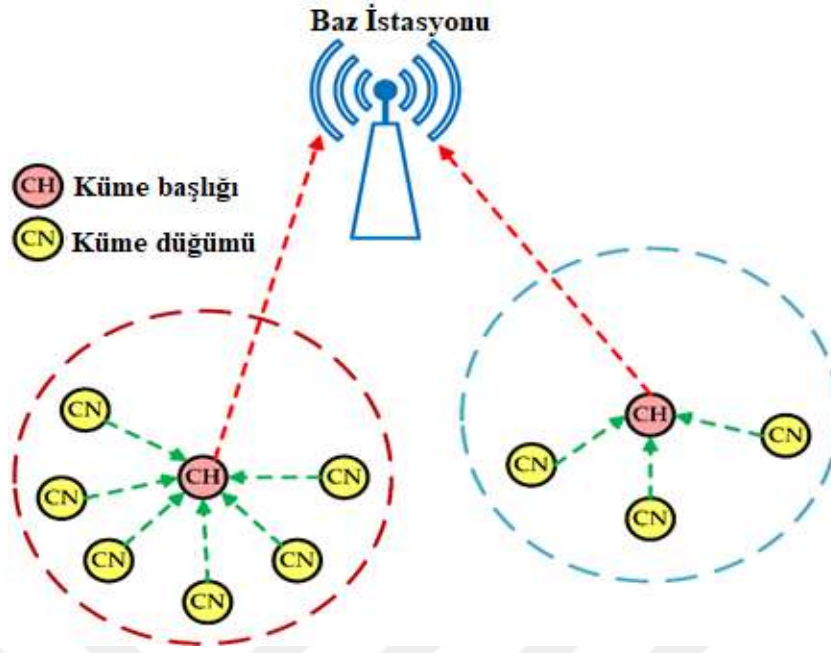
Uzak sensör kullanımının organize edilmesi 21. yüzyılın önemli gelişmeleri arasında öne çıkmaktadır. Uzaktan erişim sağlayan yenilikler belirgin bir şekilde ucuzlamıştır ve bu çok daha küçük boyutlardaki sensörler sayesinde mümkün hale gelmiştir. Farklı bölgeler veya alanlardaki fiziksel veya çevreyle ilgili durumlar (sıcaklık, ses, ağırlık, hareket, kirlenme, vb.) sensörler kullanılarak ve koordineli bir şekilde izlenebilir. Bu dağıtık cihazlar, beraberce düşünüldüğünde, bir sistem meydana getirirler. Uzak sensör sistemlerindeki gelişmeler ağırlıklı olarak askeri uygulamalar neticesinde ortaya çıktı. Ancak günümüzde, sensör tertibatları pek çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bunlara doğaya dair ölçümler ve canlı gözlemler, toplum güvenliği, ev otomasyonu ve aktivite kontrolü gibi alanlar örnek verilebilir. Akıllı ortamlardan (yapılar, evler, sanayi) veri toplanması söz konusu olduğunda sensör sistemi önem kazanmaktadır. Bu sistemler, belirli bir alana yerleştirilen her bir sensörden veri toplama ve bunu baz istasyonuna aktarma yeteneğine sahiptir. Baz

istasyonuna gönderilen bilgi çok adımlı ve temelsiz bir tasarımla toplanır ve baz istasyonu ile sensörler arasında internet üzerinden veya uydu aracılığıyla, Görev Yöneticisi denetiminde iletişim sağlanır. Sensör sistemlerinin planlaması pek çok unsurdan etkilenebilir: Olası arızalar, çok yönlülük, kurulum maliyeti, cihazların çalışma koşulları, sensör organizasyonunun topolojisi, ekipman kısıtlamaları, iletişim ve güç kaynağı.

Sensör sistemlerinin organizasyonunda, radyo alıcı/vericileri veya uzaktan erişim sağlanan özel tasarlanmış cihazlar ve canlılık kaynağı bulunur. Sensör boyutları moleküllerden “shoebox” modülüne kadar değişebilir ve maliyetleri aynı şekilde çeşitlilik gösterebilir çünkü burada ihtiyaç veya gereksinimler belirleyici olmaktadır. Sensörlerin değeri farklı kriterlere göre değişiklik gösterebilir: Örneğin hayati önem, hafıza, sayma hızı, iletim kapasitesi ve ek olarak dinamik olması. Sensör sistemlerinin ilk önemli uygulamalarında yine çeşitli hedef alanlarda (denizi kontrol etme; yüksek boyutlardaki sesin filtrelenmesi), alan sensörleri itici güç olmuştur. Daha sonra ise kurulumu ve iletişimi en az çaba gerektiren sensörler, olası potansiyel uygulamaların yolunu açmıştır. Potansiyel uygulama alanları, askeri uygulamalardan biyomedikal uygulamalara hatta hayatın mümkün olmadığı yerlere kadar çeşitlilik gösterir. Uygulama yerine göre sensörler herhangi bir değişime veya bakıma veya ek güç kaynağına ihtiyaç duymaksızın uzun süre kullanılabilir. Uzak sensör uygulamaları genellikle denetim ve kontrol amaçlıdır. Bu uygulamaların bir kısmı aşağıda olarak listelenmiştir (Cevik ve Ozyurt, 2015):

- Çevresel ve doğal kontroller
- Envanter takibi
- Tıbbi gelişmeler
- Askeri uygulamalar
- Endüstriyel denetim/kontrol
- Sismik ölçüm/tanıma
- Akıllı alanlar
- Trafik kontrolü
- Akustik tanıma

KSA’larda kümeleme Şekil 1.3’te görülmektedir.

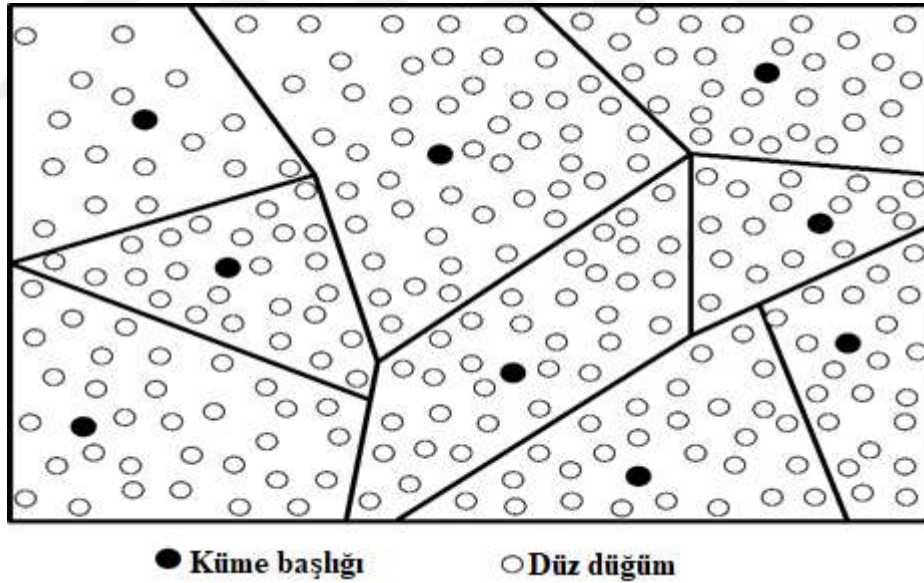


Şekil 1.3. Kablosuz Sensör Ağları'nda (KSA) küme.

Taahhüt döngüsünde anahtar nokta, bu düğümlerin bir alt grubunun, diğer düğümler dinlenme durumundayken uyarı oluşturmasıdır. Dolayısıyla ağın genelinde düğümlerin çok küçük bir kısmı haberdardır (yani uyanıktır) ve böylece çerçevenin genelinde çok kuraldışı bir iletişim/etkileşim ortaya çıkar. Bir diğer temel nokta, çerçeveye genel duyarlılık kazandırmak için duyarlı dinlenmenin ve düğümlerin faaliyete geçmesi (yani uyanma) planının tanımlanmasıdır. Veri merkezli yaklaşımın iki alt kategorisini verinin elde edilmesi ve toplanması oluşturur ve bu noktadaki amaç iletilecek verinin boyutlarını olabildiğince küçültmektir. Veri toplama sinyal seviyesinde gerçekleştirilir. Veri karışımı ise uygulama seviyesinde gerçekleştirilir. Veri güvenliği yanılmaz başlıkları ve verinin büyük olarak ve topluca iletimini içerir. Bir bütün olarak veri toplama, bütün sensör düğümlerinden başlayarak ana verinin filtrelemesi ve işlenmesidir. Sistemlerin ömürlerini uzatmakta olduğu başarılı ve kesin bir şekilde anlaşılan bir diğer husus ise yığınlama veya harmanlamadır (batching). Yığınlamada kural, sensör merkez noktalarının farklı ölçütler ışığında belirli yerlerde toplanmasıdır, yani, ızgaralardaki topolojiye uygun olarak yerleştirmedir. Dozajlama da, özellikle yüksek kalınlıktaki çerçevelerde muazzam bir temel tutma sübvansiyonu verebilir (Anandh ve Baburaj, 2016).

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tang vd. (2015) çalışmasında, gruplardaki düz düğümlerin bilgilerini grup başkanlarına yönlendirdiklerinden, düzenli olarak yaşanan sorunların, örneğin çeşitli derslerin, sel ve yönlendirme çevrelerinin atıldığı veya hafifletildiği gösterilmiştir. Bu makale, farklı yardımcı faktörlerin KSA'da canlılık kullanımına ilişkin etkilerinin kapsamlı bir incelemesini göstermektedir. Demet tabanlı KSA ile ilgili genel kanı, sorunlu alan sorununu hafifletmek için, alıcıya (sink) yakın olan demetlerin, alıcıya uzak olan demetlerden daha küçük ölçülmelidir. Sistemin ömrünü etkileyebilecek diğer akla gelebilecek değişkenler seviye miktarı, göbek kalınlığı, uygun telsiz kapsam aralığı, alıcı sayısı ve alanıdır. Bu parametrelerin her biri, akla gelebilecek her bir karışım için ayrıntılı olarak incelenmektedir. Kümeleme, esas olarak ağ topolojisini ızgaralara ayırmak (Şekil 2.1) ve sensör düğümlerini bir dizi kıstasa göre bu ızgaralar içinde gruplamaktır (Cevik ve Ozyurt, 2015).



Şekil 2.1. Voronoi tabanlı kümeleme (Cevik ve Ozyurt, 2015).

Her bir grubun veya kümenin içindeki bir düğüm Küme Başları (KB) olarak atanır. Aynı küme içindeki sade veya düz düğüm olarak adlandırılan diğer düğümler etraflarından veya doğadan bilgi toplar ve bunu KB düğümüne iletirler. KB, içinde bulunduğu küme tarafından derlenen bilgileri alıcıya iletmekle görevlidir. Küme veya grup tabanlı olmayan konvansiyonel sensör organizasyonlarında, her bir sensör



merkezi veya göbeği fiziksel şartlara dair verileri derleyip bu verileri alıcıya bir şekilde iletmeyi amaçlar. Topolojiye dâhil olan sensör merkezlerinin her birinin aynı anda ellerindeki bilgiyi iletmeye çalışması (flooding) durumunda, çok büyük boyutlara varan bir veri iletimi durumu ortaya çıkacaktır. Buna ek olarak, aynı zamanda merkezlerin her biri normal olan iletim medyasını da alma girişiminde bulunacağından, çökme veya arıza önleyici araçların devreye girmesiyle ciddi ertelemeler veya gecikmeler yaşanabilecektir. Ayrıca, yönlendirme döngüleri ve farklı sebeplerle, tekrar tekrar aktif olma talebi ve dolayısıyla enerji kaynaklarının fazlaca kullanımı zorunlu olacaktır. Bütün bu sayılan sebeplerden ötürü, veri iletimi esnasında özellikle de tekrar tekrar enerji kullanım talebini önleyebilmek için, kümeleme yaklaşımı iletişim konusunda getirdiği çözümlerle ve uyumluluğu yükseltilmesiyle büyük avantajlar sağlar. Temel hedef merkezleri kümelere ayırmak ve her bir küme içinde en uygun olan merkezi KB olarak atamak için ideal tekniği geliştirmektir; böylece merkezler arası yük paylaşımını sağlamak ve maksimum canlılığı veya ömrü elde etmektir. Kümeleme tabanlı KSA'lar hakkında çok sayıda araştırmalar yapılmıştır. İlk araştırılan konulardan biri enerjinin tükenmesi veya daha genel adıyla pilin (pillerin) boşalması üzerinedir, dahası kümeleme ile beraber yapılan araştırmaların çoğunluğunun temel konusu budur. Sistemin ömrü Düşük Enerjili Uyumlu Kümeleme Hiyerarşisi'nde (DEUKH) (LEACH-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) belirli seviyelere veya turlara ayrılmaktadır. Kümelelerin oluşturulması merkezler tarafından, kendi kendine yeterli ve dağıntık biçimde tek tip olmayan bir yaklaşımla yapılır. Her bir tur iki aşamaya ayrılır: Kurulum durumu ve bilgi iletimi durumu. Kurulum durumunda, topolojideki her bir merkez farklı sayıda düğümden oluşur ve bu sayıya bağlı olarak her bir merkez sırasıyla küme lideri yani KB olarak atanır. KB ataması ve bu atamanın yükü bütün merkezler arasında sırasıyla paylaşıldığı için, iş yükü de düzgün ve orantılı şekilde paylaşılmış olur. Böylece, herhangi bir merkezlerdeki pilin tükenmesi önlenmiş olur. Kayda değer bir diğer düzenleme ise, KB düğümünün nihai verinin boyutlarını küçültme amacını gözeterek bilgi toplamasıdır. DEUKH'tan farklı olan bir diğer kümeleme yöntemi Sensör Bilgi Sistemlerinde Güç-Verimli Bilgi Toplama'dır (SBSGVBT) (PEGASIS-Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems). SBSGVBT, DEUKH'un çok az değiştirilmiş bir sürümü olarak kabul edilse de, temel kuralı küme yapısına değil zincir veya hiyerarşi yapısına dayanır. Ayrıca KSA'larda

daha uzun süre aktif kalabilme ve sistem ömrünün uzaması konusunda da katkı sağlamaktadır. DEUKH'ta olduğu gibi, KB tanımlaması her bir turda olmasa da belirli aralıklarla değişmektedir. Öncekinden farklı olarak KB tanımlaması gelişigüzel yapılmaz, bir tür yarı yarıya parametre seçimiyle yapılır. Bu parametreler canlılık seviyesi, yani düğümlerdeki pillerin doluluk seviyesi ve maliyet tahminidir. Buna en düşük ulaşılabilirlik kontrolü denir. Bu, toplam canlılık seviyesidir; yani eğer daha önce bahsedilen düğüm KB olarak atanırsa, küme içinde geri kalan düğümlerin topluca canlılığı olarak tanımlanır.

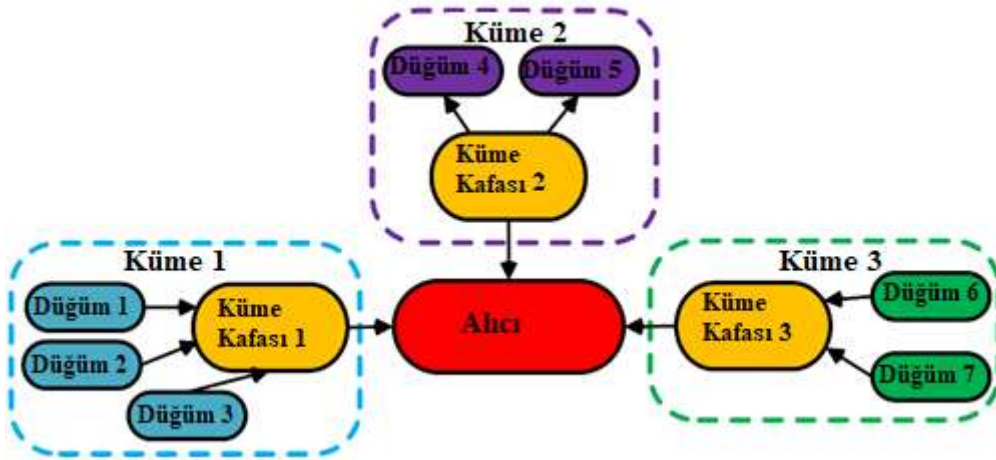
Zhu vd. (2009) farklı bir tasarım önerisinde bulundular. Bu tasarımda kümeleme Hausdroff Uzaklığı kullanılarak icra edildi. KB seçimi aşamasında temel paradigma düğümlerin geri kalan pil veya canlılık seviyesidir. Ayrıca eğer geri kalan canlılık seviyeleri eşitse, düğümlerin ne kadar yakın olduğu hesaba katılır. Kümelere ayırmada Bellman-Ford'un en kısıtlı yol yaklaşımının klasikleşmiş metotları kullanılır. KSA'da Enerji Verimli Kümeleme Şeması'nda (EVKŞ) (EECS-Energy Efficient Clustering Scheme), düğümlerin yine kalan canlılık seviyesi göz önünde bulundurulmaktadır. KB seçimini etkileyen bir diğer faktör, küme içi iletişimle alıcıyla olan iletişimin farkı ışığında KB adayları ve alıcı arasında ayırım yapmaktır.

Zhu vd. (2009), KB kararının alınma aşamasında çok fazla mesajlaşma olmasını önlemek amacıyla, müdahil olunmayan kümeleme (uninvolved grouping) olarak isimlendirilen yeni bir yöntem teklif ettiler. Gizli bir kümelemeyle, her bir KB adayı, düğümlerin kalan canlılık seviyelerine göre bir gecikme süresi belirler. Yani, canlılık seviyesi/pil seviyesi düşük olan düğüm bunu bildirmek için daha fazla süre bekler. Doğal olarak, canlılık seviyesi daha yüksek olan düğümler ise daha önce harekete geçer ve merkezi bu durumdan haberdar ederler. Bunun neticesinde ise, bu bildirim şahit olan diğer düğümler bu duruma teslim olurlar. Kümeleme temelli sistemlerde küme içi iletişimde göz önünde bulundurulması gereken bir başka test daha vardır. Küme içi iletişimin sonuna doğru ortaya çıkan bilgiyi KB'nin alıcıya iletmesi gerekmektedir. Bu iletişim tek seferde veya bir kaç defada (single bounce/multi bounce) gerçekleşebilir. KSA'da Enerji Verimi için Yeni Bir Kümeleme Algoritması, (EVYBKA) (ANCAEE-Novel Bunching Algorithm for Energy Efficiency in Wireless Sensor), küme içi iletişimde tek seferlik ileti, kümeler arası

içinse çok seferli ileti olanağı sunmaktadır. Küme yaklaşımli sensörlerde yukarıda bahsettiğimiz sınıflandırmalara tabi olmayan başka araştırmalar da söz konusudur. Bundan sonraki kısımlarda canlılık merkezli yaklaşımlardan hafif farklılık gösteren teknik ve metotların genel çerçevesi incelenecektir (Cevik ve Ozyurt, 2015; Zhu vd., 2009).

## 2.1. Kablosuz Sensör Ağlarında Gradyan Tabanlı Yönlendirme İçin Enerji Dengeleyen Kümeleme Yaklaşımı

Liu vd. (2012), uzak bir KSA'da kümelemenin her bir sensörün enerji tüketimini büyük ölçüde azalttığını, ancak küme lideri yani KB üzerindeki iletişim yükünü arttırdığını gözlemlediler. Küme Başları'nın (KB) eşit olmayan enerji tüketimleri nedeniyle, küme içi iletişimde çok sekmeli iletim kullanımı çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Küme Başları'nın enerji tüketimlerini düzenlemek için, sayıca eşit olmayan kümeler oluşturma metodu kullanışlıdır. Bu çalışmada, uzak sensör sistemleri için Gradyan Tabanlı Yönlendirmeler İçin Enerjiyi Dengeleyen Kümeleme Yaklaşımı (GTYİEDKY) (EBUCAG-Energy-Balancing Unequal Clustering Approach for Gradient-based directing) anlatılmaktadır. Bu yöntemde her bir sensör düğümünün alıcıya minimum kaç sekmede ileti yapacağı hesabı yapılır. Bu hesap gradyan olarak tanımlanır ve sensörler bu hesaplara göre eşit olmayan gruplara ayrılırlar. Şekil 2.2'de bu çalışmadaki kümelemeye benzer olan Rana (2017)'deki kümeleme verilmiştir. Şekilde KB, Küme Kafası olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. KSA'da kümeleme (Rana, 2017).

Kümenin ne kadar büyük olacağı, KB'nin gradyan değerine göre belirlenir ve küme üyelerinden derlenen veriler alıcıya ulaşmak için azalan gradyan değerlerini izlerler. Bu çalışmada verilen benzetim sonuçları, bu yaklaşımın Küme Başları arasında enerji tüketimini dengelediğini ve ağın ömrünü belirgin şekilde uzattığı gösterilmiştir.

## **2.2. Mobil Sensör Ağlarında Maksimum Hasarlı Pil Boşalma Saldırısı**

Zararlı yazılımlara karşı sağlam güvenlik tedbirlerinin geliştirilmesi, kablosuz sensör teknolojilerinin yaygınlaşmasını kolaylaştıracaktır. Bu hedef doğrultusunda atılacak ilk adım, potansiyel saldırı stratejilerini ve bu saldırıların ne büyüklükte bir zarara yol açacağını incelemek olacaktır. Söz konusu zararlı yazılımlar, etkisi altına aldıkları her bir düğümün iletim ve medya tarama menziline genişleterek etkilemeye müsait başka düğümlere ulaşmaya ve böylece zararlı yazılımın yayılma hızını arttırmaya çalışırlar. Ancak zararlı yazılımın bu davranış tarzı (a) yazılımın ağ tarafından daha kolay tespit edilmesini ve ağın bu yazılıma karşı daha etkili tedbirler almasını ve (b) söz konusu düğümün pilinin daha hızlı tükenmesini, bu da dolayısıyla etkilenen düğümün yazılım tarafından daha fazla kullanılamamasını ve yazılımın daha fazla yayılamamasını sağlar. Araştırmacılar böylece olaya zararlı yazılımın açısından yaklaşmış ve etkilenen düğümlerin iletişim menziline ve medyaya ulaşım oranını dinamik olarak seçme problemini uygun değer (optimum) bir kontrol problemine dönüştürmüş olacaktırlar. Optimum yani ideal çözümün bulunması içinse Pontryagin'in Maksimum Prensipli kullanılabilir. En büyük zarar da üç fazlı Bang-Bang Stratejisi kullanılarak ortaya çıkarılabilir (Khouzani ve Sarkar, 2011).

## **2.3. Kablosuz Sensör Ağı İçin Uyarlanabilir Virüs Yayılım Kontrolüne Sahip Yaygın Bir Model**

Tang ve Li (2011), epidemik (salgın hastalık) modellerini kullanarak KSA'larda virus yayılımının dinamikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hem klasik SI epidemik modeli hem de bu modelin modifiye edilmiş sürümü üzerine analizler gerçekleştirmişlerdir. Klasik SI modeli herhangi bir anti-vürüs mekanizmasına sahip olmadığı gibi, KSA'lar için de herhangi bir anti-virüs koruması sağlamıyordu. Bu eksikliğin üstesinden gelebilmek için KSA'ların uyku modunu sistem bakımı için

kullanan modifiye edilmiş bir SI modeli önerisinde bulundular. Modifiye edilmiş SI modeli herhangi bir ek donanım veya sinyal yükü gerektirmeksizin ağın anti-virüs kapasitesini arttırmaktaydı. Araştırmacılar hem klasik SI modeli hem de modifiye edilmiş SI modeli için açık çözümleri elde ettiler, bu çözümler virüs yayılımının hem zamansal hem de uzamsal dinamiklerini ortaya çıkarttılar. Sistem farklı zamanlarda, farklı yayılma eğilimlerine sahip virüslerle karşılaşabileceği için, araştırmacılar iki adet uyarlanabilir ağ koruma planı önerisinde bulundular.

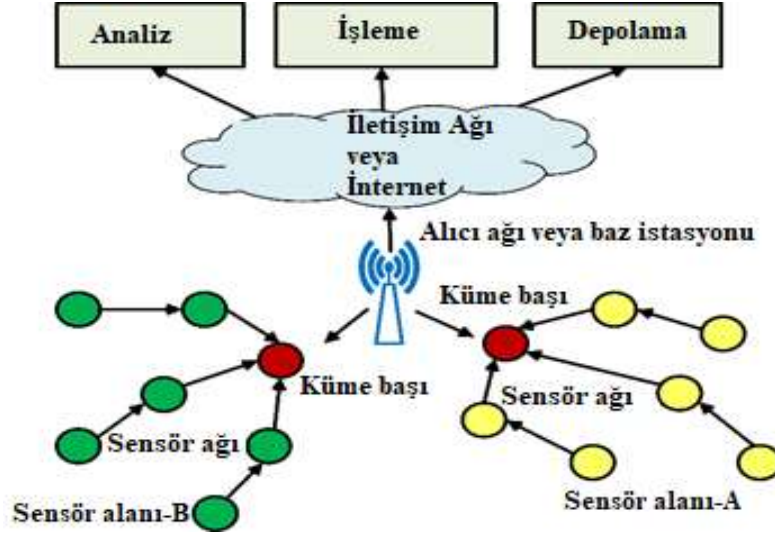
#### **2.4. Kablosuz Sensör Ağlarındaki Toplam Enerji Tüketimini Modelleme**

Kamyabpour ve Hoang (2011), kablosuz sensör ağlarındaki toplam enerji tüketimini minimize etmek amacıyla Hiyerarşik Enerji Odaklı Mimari'ye (HEOM) (HEDA-Hierarchy Energy Driven Architecture) yeni bir model önerisi getirdiler. HEOM'un her bir bileşenin parçalarını tanımladılar. Her bir bileşen ve bu bileşenlerin parçaları için, baskın olan faktörlere (veya parametrelerine) dayalı birer model geliştirdiler. Bileşenlere dayalı olarak bir toplam enerji fonksiyonu tanımladılar. Bu çalışmayla, farklı sensör ve farklı iletim yarıçaplarına sahip rastgele veya belirli ağların sistem ömürleri ve geri kalan enerjileri için yapılan benzetim sonuçları, önerdikleri modelin toplam enerji tüketimini optimize etmede ve her bir bileşenin etkisini/katkısını ve göreceli önemini belirlemede kullanılabileceğini gösterdiler. Bunun anlamı, bileşenlerine dayanarak genel modelde bir enerji eniyilemesini yapmanın, bileşenler arası dengeli bir enerji dağılımı yapmaya, böylece bileşenler arası enerji tüketimini eniyilemeye ve bahse konu uygulama için ağ ömrünü uzatmaya imkân vereceğidir. Araştırmacılar, elde edilen sonuçlara rağmen halen üzerinde çalışılması gereken daha pek çok önemli konu olduğunun da altını çizmektedirler. Elde ettikleri modeli, HEOM'un her bir bileşeni için geliştirilecek detaylı bir enerji modelinde taslak olarak tanımlamaktadırlar. Ayrıca yaptıkları çalışmada her bir enerji bileşeni için baskın olarak tanımladıkları bir miktar parametreyi tanımladıklarını, ancak KSA'ları her yönüyle ele almadıklarını ve bu eksiği gidermek için de daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiğini de belirtmektedirler. Araştırmacılar bileşenler arası enerji dağılımı ilişkilerinin, amaçlanan uygulamaya bağlı olarak önemli olabileceğini ve çok özel bir uygulama için enerji tüketimi kalıplarını incelemek ve uygulamaya özel olarak daha kapsamlı

bir enerji tüketimi fonksiyonu tanımlamak için kullanacaklarını da not etmektedirler. Aynı şekilde, yaptıkları ön çalışmada toplam enerji tüketiminin bileşenlerin enerji tüketimlerinin ağırlıklı bir lineer kombinasyonu olduğu ön kabulünde bulduklarını ve ilerki çalışmalarında parametrelere, bileşenlere ve bileşenler arası etkileşimlere daha hassas bir vurgu yapan, daha doğru bir enerji tüketimi fonksiyonu tanımlamayı amaçladıklarını da belirtmektedirler. Son olarak ise, basit bir lineer kombinasyon yerine, lineer olmayan bir tüketim fonksiyonunun, modelin çok özel bir KSA uygulamasına daha iyi uyum sağlayacağına inandıklarını belirtmişlerdir.

## **2.5. Kablosuz Sensör Ağları İçin Düğüm Enerji Tüketiminin Modellenmesi**

Zhou vd. (2011) çalışmasında, şu an KSA üzerine yapılan araştırmaların, enerji tüketim modellerinden ziyade iletişim protokolleri üzerinde yoğunlaştığı ifade edilmiştir. Klasik enerji analizinin, teorik olarak elde edilen enerji tüketim verilerine veya sistem bileşenlerinin teorik modellerine dayalı olan düğümlerin ve ağların enerji tüketimine bağlı olduğu söylenmektedir. Düğümler noktasından genel enerji tüketiminin incelenmesinden eksikler olduğundan hareketle bu çalışmada, düğümlerin farklı durumlarında ve durumlar arası geçişlerinde bileşenlerin enerji tüketimi üzerine çalışarak, işlemciler, düğümlerin RF (Radyo Frekans) modülleri ve sensörleri dâhil olmak üzere düğümlerin temel bileşenleri için birer enerji modeli sunulmuştur. Ayrıca araştırmacılar aynı çalışmada düğüm bileşenlerinin enerji tüketimleri arasındaki ilintileri de ortaya koymakta ve sonrasında tetikleyici olaylara bağlı olarak bir düğüm enerji modeli sunmaktadırlar. Bu çalışmada kullanılan KSA için Enerji-Verimli Kümeleme Protokolü'nün (EVKP) bir benzeri Şekil 2.3'te tasvir edilmektedir.



Şekil 2.3. KSA için Enerji Verimli Kümeleme Protokolü (Mann ve Singh, 2017).

Son olarak ise, araştırmacılar düğüm bileşenlerinin enerji modelleriyle benzetimler yapmakta ve bahsedilen düğüm enerji modeline dayanarak ağ protokollerinin enerji tüketimini hesaplamaktadırlar. Araştırmacılar önerdikleri modelin KSA'ların enerji tüketimini analiz etmede, iletişim protokollerini değerlendirmede, düğümleri yerleştirmede ve farklı KSA uygulamaları geliştirmede kullanılabileceğini belirtmektedirler.

## 2.6. Kablosuz Sensör Ağında Solucanların İletimi İle İlgili Matematiksel Model

Mishra ve Keshri (2013), biyolojideki bölümlü epidemik modelden ilham alarak, sensör düğümlerine solucan saldırıları için bir e-SEIRS-V modeli önerisinde bulundular. Sensör alanında solucanların nasıl yayıldığını ve yok olduğunu anlamak için önce solucanların çoğalma sayısını hesapladılar ve bu sayı birden küçük olduğunda solucansız dengenin global olarak ve asimtotik olarak kararlı olduğunu gösterdiler. Bu çalışmada elde edilen denklem sistemini çözmek ve benzetimini yapmak için dördüncü ve beşinci dereceden Runge–Kutta–Fehlberg metodu kullanılmıştır. Geliştirilen modelin geçerliliğini görmek için MATLAB yardımıyla detaylı benzetimler yapılmıştır. Zaman içinde kurtarılan ve aşılama uygulanan grup üzerine yapılan analizler neticesinde, sensör düğümlerine uygulanan aşılama tekniğinin, solucan saldırısına maruz kalan ya da enfekte olan düğümler üzerindeki olumlu etkisi yapılan çalışmada net bir şekilde gözlenmiştir. Araştırmacılar, sensör

düğümüleri üzerine uygulanacak uygun aşılama sayesinde, aynı düğümlerin solucan saldırılarına karşı kırılabilirliğinin veya zayıflığının büyük ölçüde azaldığını da rapor etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmanın sensör düğümlerine karşı yapılacak zararlı sinyaller ve solucan saldırılarına karşı etkili bir yazılım geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışma, son kullanıcıya sensör alanındaki sensör düğümlerine uygun aşı uygulama, düzenli antivirüs yazılımı kullanma ve böylece savunma mekanizmalarını güçlendirme ve saldırıları en aza indirme gibi konularda yol gösterici olabilmektedir.

## **2.7. Kablosuz Sensör Ağında Enerji Analizi: Bir Karşılaştırma**

Ponnusamy (2014)'te, KSA, bir hedefi algılamak üzere, sınırlı pil kapasitesine sahip düğümlerden oluşan bir sistem olarak tanımlanır. Bu ağların kurulduğu alanlara erişim oldukça zor olduğu için söz konusu pilleri değiştirmenin veya şarj etmenin neredeyse imkânsız olduğunu belirtilmiştir. Bu bağlamda, uygun değer KSA tasarımını ve bu tasarımda uygulanacak iletim yöntemini tespit edebilmek amacıyla farklı tasarım ve yöntemler üzerine çeşitli deneyler yapılmıştır. Elde edilen bulgular, doğrudan iletimin en fazla enerji tüketimini gerektirdiğini, bunu çok sekmeli iletimin ve sonrasında ise kümeleme yönteminin izlediğini; mobil iletişimin diğer mekanizmalara nazaran en az seviyede enerjiye ihtiyaç duyduğunu göstermiştir. Yine aynı bulgulara göre, doğrudan iletim ancak baz istasyonu ve sensör düğümleri birbirlerine yakın olduğunda uygulanabilir görünmektedir çünkü iletimden kaynaklanan enerji gereksinimi uzaklıkla doğru orantılıdır; yani daha geniş bir alana yayılan bir ağda doğrudan iletimi kullanmak mantıklı olmayacaktır. Zira düğümler daha fazla enerji tüketecek ve kısa zamanda devre dışı kalacaklardır. Geniş alana yayılan ağlarda baz istasyonuna iletimi garanti altına aldığı için çok sekmeli iletim mantıklı olmaktadır. Bu iletim metodunun zayıf noktasını baz istasyonuna yakın olan düğümler oluşturmaktadır çünkü bu yöntemde baz istasyonuna yakın olan düğümler çok fazla kullanılmakta ve neticede bir yönlendirme boşluğu oluşmaktadır. Yine bu çalışmadaki kümeleme yöntemi ise, uzun ömürlü olması nedeniyle hem çok sekmeli hem de doğrudan iletime göre çok üstün bir performans sergilemektedir. Bunun sebebi de çok sekmeli iletime nazaran küme lideri seçimi sayesinde diğer düğümlerin sadece algılama ve veriyi baz istasyonuna göndermek için enerji harcamasıdır.



Kümeleme nispeten daha küçük ağlarda ve küme lideri pozisyonunun değişimli olduğu durumlarda daha verimli çalışmaktadır.

## **2.8. Kablosuz Sensör Ağlarında Enerji Tüketiminin Azaltılması**

Ravichandran ve Umamaheswari (2015), bütüncül bir bakış açısıyla ağın, özellikle de kablosuz iletimden kaynaklı toplam enerji tüketimini minimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşım geliştirdiler. Burada araştırmacılar daha önceki çalışmaların ele almadığı bir şekilde vericilerin hareketli olabileceği durumu göz önünde bulundurdular. Hem mobil vericilerin hem de düğümlerin iletimleri iki farklı enerji gideri olarak modellendiğinde, diğer düğümlerden veri alan ve bunu tek bir noktaya ileten düğümün uygun değer pozisyonunun, iletişimde olduğu diğer düğümlerin tam orta noktası değildi; aslında bu pozisyona yakınsama iletilen veri miktarı sonsuza giderken gerçekleşiyordu. Araştırmacılar deneylerine ideal olarak statik, düğümlerin hareket etmediği ve uygun değer bir yönlendirme ağaç yapısının söz konusu olduğu bir ortamda başladılar; ancak olumsuz coğrafi yönlendirme koşulları gibi kısıtlı lokal bilgiye sahip olunan durumların da dahil olduğu daha az ideal olan konfigürasyonların söz konusu olduğu ortamda da yaklaşımlarının geçerli olduğunu gösterdiler. Araştırmacıların yaklaşımı ilk konfigürasyonu iki tekrarlamalı plan kullanarak geliştirmektedir. Bunların ilki ağaç yapısına yeni düğümler eklemekte, ikincisi ise sabit bir topoloji için verici düğümlerin uygun değer konumunu belirlemektedir. Araştırmacıların geliştirdiği algoritma bir dizi veri yoğunluklu kablosuz sensör ağı için de uygundur. Bu algoritma bazı düğümlerin hareket etmesine izin verirken bazılarının hareket etmesine izin vermez çünkü herhangi bir yerel iyileştirme, aslında global bir iyileştirme sayılacaktır. Bu durum aynı yaklaşımın potansiyel olarak bireysel düğümler üzerindeki bazı kısıtlamalara da, örneğin enerji veya hareketlilik kısıtlaması gibi, uygulanmasına olanak vermektedir.

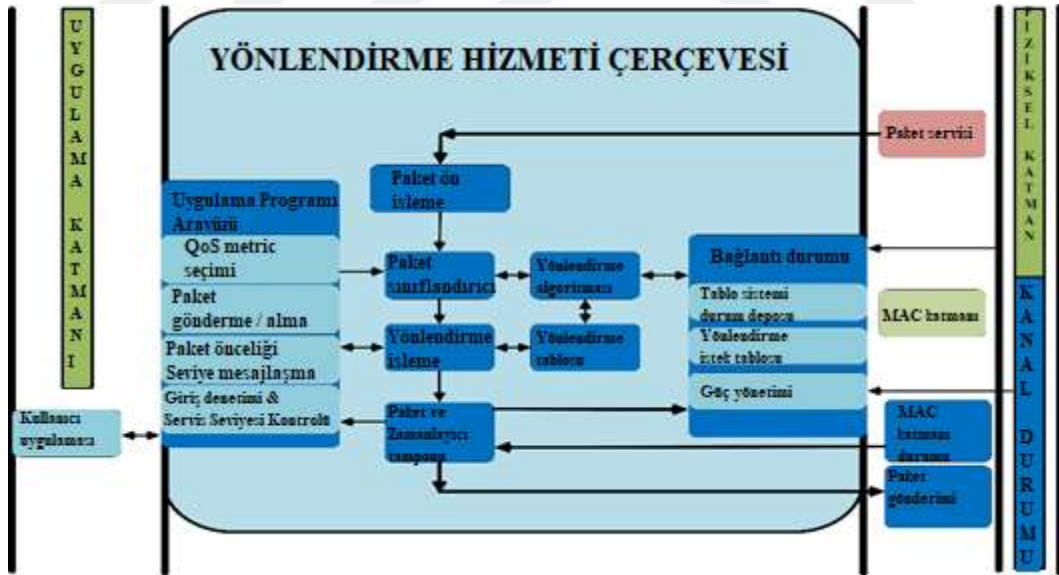
## **2.9. Kablosuz Sensör Ağlar'daki Modelin ve Doğrusal Olmayan Dinamiklerin Kararlılık Analizi**

Shashank vd. (2016), KSA'larda solucan iletimine karşı tedbir geliştirebilmek amacıyla bayağı diferansiyel denklemler kullanarak zararlı sinyallerin yayılmasını ve kontrol faaliyetlerini ifade eden bir matematiksel model geliştirdiler. Bu modelde

solucanın tamamen yok olmasını sağlayacak temel çoğalma oranı  $R_0$  ile ifade edildi. Jacobian Matrisi kullanarak solucansız dengeyi ve enfeksiyonun yaygın olduğu dengeyi ortaya koydular. Elde ettikleri sonuç,  $R_0$ 'ın 1'den küçük eşit olduğu durumda sistemin, solucanın üstesinden gelebileceği; lokal ve global olarak ve asimtotik olarak kararlı olacağı ve  $R_0$ 'ın 1'den büyük olduğu durumlarda ise enfeksiyonun yaygın olduğu dengenin lokal ve global olarak ve asimtotik olarak dengede olacağıydı. Ayrıca tedavi veya kurtarma oranı arttığında zararlı solucanların yayılım hızının azalacağı ve bunun da kablosuz sensör ağının ömrünü uzatacağını da gözlemlerler.

## 2.10. Öne Çıkan Yönlendirme Protokolleri

KSA'larda yönlendirme üzerine çok fazla çalışma yapıldığı ortadadır. Genel olarak değerlendirilecek olursa, bu çalışmalarda ele alınan başlıca konuların enerji, güvenlik, gecikme ve hata olduğu görülecektir. KSA'lardaki yönlendirme protokollerinin mimarisi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. KSA'da yönlendirme protokolünün mimarisi (Sarkar ve Murugan, 2016).

Bir sonraki alt bölümde enerji verimliliği açısından öne çıkan protokoller genel olarak değerlendirilecektir.

## 2.11. Enerji Verimi İçin Protokoller

Baek ve Veciana (2007), geçici ağ sistemlerinde enerji verimliliğini elde etmek için dengeleme (trade-off) eniyileme problemine odaklandılar. Dengeleme eniyilemesinin, enerji yüklerinin uzamsal dengesi ve trafiğin yayılmasının enerji maliyeti arasında gerçekleştiğini ortaya koydular. Ayrıca, çok yönlü yönlendirmenin enerji kaybı olasılığını en aza indirdiğini buldular.

Guha vd. (2007), kullanışlı bir koalisyon yönlendirme algoritması geliştirebilmek için kablosuz ağlardaki güce duyarlı yönlendirme planlarını incelediler ve grup paylaşım özelliklerinin bireysel paylaşım özelliklerinden farklılıklar gösterdiğini buldular.

Lin vd. (2007), verimli enerji kullanımı için, düğüm sayısına göre asimptotik olarak en uygun olan ve iyi bir rekabet oranına sahip yönlendirme algoritmaları önerdiler.

Kim vd. (2007), KSA'yı maksimize etmeye çalıştılar ve dağıtılmış ortak yönlendirme ve orta erişim kontrol algoritmasını önerdiler. Burada doğrusal programlama probleminden ikili kompozisyonla kaçınılmıştır.

Wang vd. (2008), Dağıtılmış Kaynak Kodlamasındaki (DSC-Distributed Source Coding) yönlendirmeyi eniyilemek için çok oranlı bir yönlendirme planı geliştirdiler. Bu çalışmada, ağ performansı, uçtan uca iletim hızını karşılayan enerji programlamasıyla artırılmıştır. Ayrıca, verimli enerji eniyilemesi için enerji kullanım programlaması konseptini de önermişleridir.

Phan vd. (2008), Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi (AİHK) (QoS-Quality of Service) gerekliliklerini karşılamak amacıyla verimli yönlendirme ve enerji dağıtımı için ortak katmanlar arası eniyileme yöntemi üzerinde çalıştılar. eniyileme probleminin iki aşamalı konveks problemine eşit olduğunu ve ağ ömrünü uzatma probleminin ise yarı konveks olduğunu tespit ettiler.

Yang vd. (2009), bir birleştirme merkezindeki yönlendirme ön hesaplaması için yönlendirme ve tespit işlemlerini eniyilediler ve üç yönlendirme metriği önerdiler. Ortak eniyileme tekniği, enerji verimli yönlendirme problemini çözmek için Neyman-Pearson konseptini içermektedir.

Chamam ve Pierre (2009), uzatılmış ağ ömrü ve daha az enerji israfı olmak üzere KSA'daki iki ana problemi ele aldılar. Bu hedeflere ulaşmak için, küme tabanlı sensör ağlarındaki sensör hallerini optimal olarak planladılar. Problem bir tamsayı doğrusal programlama modeli olarak ele alındı ve tabu buluşsal arama yöntemi hesaplama süresini kısalttı.

Luo ve Hubaux (2010), KSA'nın uzun ömürlü olma sorununu ele aldılar ve bir primal-dual algoritma önerdiler. Ayrıca ağ ömrünü uzatmak için yönlendirme ve ortak hareketli alıcı eniyileme problemini de ele aldılar.

Valentini vd. (2010), basit hibrit yönlendirme protokolünü şekillendirmek için çok amaçlı dinamik yönlendirme algoritmasını kullandılar. Alıcı düğüme en iyi yönlendirmeyi bulmak için enerji verimliliğini ölçümlədiler.

Li vd. (2011), genelleştirilmiş bir güç tüketimi modeli geliştirmek için sistem ömrü ve sapma ikili eniyileme problemini incelediler. İki seviyeli eniyileme problemi, gradyan algoritması kullanılarak çözüldü.

Habibi vd. (2013), ortak iletimde veya belirli bir düğüm konfigürasyonunda doğrudan iletimin ne zaman tercih edilebileceğini ölçümlemek için bir eniyileme yöntemi önerdiler. En iyi yayın gücü ve ortak iletim aşaması için en uygun güç değerleri tanımlanmıştır ve teknik bir bütün olarak gerçek sorunları çözebilmektedir.

Shah ve Beferull-Lozano (2013), güç verimli dağıtım sorunlarını çözmek için Sabit ağaç Gevşeme Tabanlı Algoritma ve Yinelemeli Dağıtılmış Algoritma geliştirdiler. Problem bir eniyileme problemi olarak kabul edildi. Yinelemeli dağıtılmış algoritma, enerji verimliliği ve tahmin doğruluğu arasında iyi denge sağladığı görüldü.

Al-Hamadi ve Chen (2013), heterojen KSA'daki fazlalığı (veya ataleti) yönetmek için zamanındalık ve enerji tüketimi arasındaki dengeyi kullandılar. Denge eniyilemesi probleminde, hem yoldaki hem de kaynaktaki en iyi fazlalık (veya atalet) düzeyinin ağ ömrünü uzattığı belirlendi.

Long vd. (2014), ağ ömrünü uzatmak için Ağaç Tabanlı Saptırma (Tree-Based Diversionary) adı verilen yeni bir yönlendirme planı geliştirdiler.

Chen vd. (2014), yönlendirmede enerji tahsisi ile sistemin kullanılabilirliğini maksimuma çıkardılar. Düşük karmaşıklıkta bir çevrimiçi çözüm geliştirdiler ve bunu da denemek için dağıtılmış bir algoritma kullandılar.

Maddali (2015), ağ performansını en üst düzeye çıkarmak için çoklu gönderim yönlendirme protokolünü önerdi.

Alanis vd. (2015), kablosuz çok sekmeli ağlarda için, hedef fonksiyonlardan birini arttırmak için en az bir diğerini küçültmek gereken Kuantum Yinelemeli Optimizasyon Algoritması adı verilen optimal bir kuantum destekli algoritma geliştirdiler. Böylelikle, kuantum paralellik ve donanım arasındaki görevdeşlik, hesaplama karmaşıklığını büyük ölçüde azaltıldı.

Zhang vd. (2015), yük dengeleme ve enerji verimliliği arasındaki dengeyi çözen çok hedefli bir eniyileme problemi önerdiler. Bu çalışmada, Oyun Teorisi'ne uygun olarak yeşil ağ yönlendirme için bir Nash Pazarlık Çerçevesi geliştirildi. Model bir tehdit değeri oyunu olarak kabul edilir çünkü modelin performansı maliyeti en aza indirmek için geçerli olan değeri tehdit etmektedir.

Gupta ve Bose (2015), yol ömrünü ve minimum ağırlıklı toplam güç stratejisini maksimize ederek kablosuz sensör ağlarında enerji alımını azaltmak için çift minimum toplam güç stratejileri geliştirdiler.

Luo vd. (2015), ağların ömrünü uzatmak için fırsatçı bir yönlendirme algoritması ile enerji tasarrufu sağladılar.

Tang vd. (2015), ağın ömrü sorununu çözmek için olasılık tabanlı rastgele yürüme ve enerji dengesi kontrolünü içeren, farkındalıklı güvenli yönlendirme algoritması geliştirdiler.

Ghaderi vd. (2015), yarı-polinom karmaşıklığına ve bununla ilgili  $\epsilon$ -optimal yaklaşımına çözümler sunarak kablosuz ağlardaki minimum enerji yönlendirme problemini çözdüler.

Gupta vd. (2015), ağ çalışma ömrünü maksimize etmek için KSA'ya enerji tasarruflu homojen bir kümeleme yöntemi uyguladılar. Ek olarak, Dijkstra'nın en kısa yol algoritması, kümelere ayrılmış ağda yönlendirme eniyilemesi sağlamak için kullanıldı.

Rahat vd. (2015), sensör ağlarının ömrünü uzatmak amacıyla yeni birçok hedefli yönlendirme eniyilemesi sundular. En Kısa Yol Budaması ve bir Grafik Azaltma Yöntemi ile arama aralığı, rotaları net bir şekilde tanımlamak için kullanıldı. Optimal yollar evrimsel algoritma kullanılarak elde edildi.

Hsu vd. (2015), sualtı sensör ağlarındaki enerji tüketimi sorununu çözmek için fırsatçı tabanlı bir yönlendirme modeli geliştirdi.

### 3. BULANIK MANTIK VE KARAR VERME

Karar vericiler hangi şart ve boyutta karar vermek durumunda olursa olsunlar, bu işlevleri bir belirsizlik ortamında yerine getirmek durumundadırlar. Alınan kararların doğruluğu, bu belirsizliğin riske dönüştürülebileceği ölçüde mümkün olacaktır. Bununla birlikte, karar vericiler, klasik bilimsel yaklaşımı ve karar verme sürecinde yer alan yöntemleri kullanıyorsa, sonuçta ortaya çıkan kararlar iyi-kötü, güzel-çirkin, doğru-yanlış, evet-hayır, siyah-beyaz veya 0-1 olacaktır. Ancak, gerçek hayat mutlak ayrımlara dayanmaz. Başka bir deyişle, mutlak siyah ve mutlak beyazın yanısıra binlerce gri tonunun varlığı unutulmamalıdır (El Khateb vd., 2014).

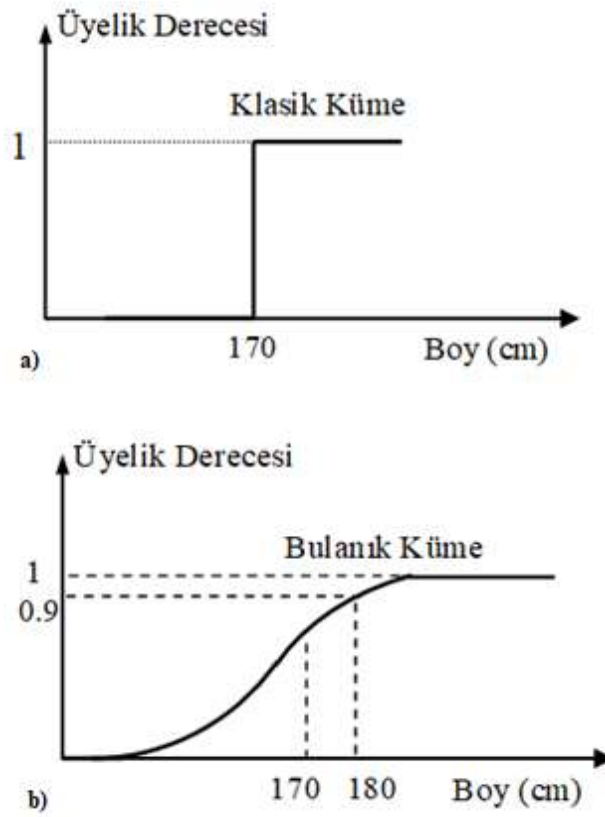
Bu noktada, genel olarak, belirsizliğin nasıl tahmin edilebileceği ve karar alma süreçlerinin bir parçası haline nasıl getirilebileceği üzerine çalışmalar ve bu çalışmaların sonunda alternatif bilimsel yaklaşım fikri ortaya atılmıştır. Bulanık Mantık kavramı ilk olarak Azerbaycan'lı matematikçi ve bilgisayar bilimcisi Lütü Aliasker Zade tarafından 1965 yılında, belirsiz ifadelerin matematiksel ifadesi yoluyla ortaya konmuştur. Zade'ye göre, Bulanık Mantık çok değişkenlidir. Klasik mantığın 0-1 önermelerine karşı Bulanık Mantık üç veya daha fazla önerme oluşturur. Klasik mantık ile Bulanık Mantık arasındaki temel farklar Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. *Klasik mantık ve Bulanık Mantık arasındaki temel farklılıklar.*

| <b>Klasik Mantık</b> | <b>Bulanık Mantık</b>       |
|----------------------|-----------------------------|
| A veya değil         | A ve değil                  |
| Tam                  | Kısmi                       |
| Hepsi ya da Hiçbiri  | Belirli Dereceler           |
| 0 veya 1             | 0 ile 1 Arasında Süreklilik |
| İkili Birimler       | Bulanık Birimler            |

Mantıksal Mantık Teorisi, problemi ayırmak yerine kümeleme veya sınıflandırma olarak değerlendirir. Bulanık Teori yaklaşımı nedeniyle problem hakkındaki bilgiler doğal bir problem olarak ifade edilebilir ve bu da birçok mühendislik probleminde ve karar verme probleminde önemli kolaylıklar sağlar. Bulanık Küme Teorisi, veri

kümeleri, sınırları açıkça ayırtmadan bir grup veya küme olarak tanımlanır. Klasik bir küme, ayırık veya sürekli elemanların bir koleksiyonudur. Klasik evrensel bir kümede ise, elemanlar “üye” veya “üye değil” olarak tanımlanır. Klasik Küme Teorisi’nde, sınırlar kesin olarak çizilir ve eleman bu iki koşuldaki sadece biri ile tanımlanır. Bununla birlikte, Bulanık Küme Teorisi’nde, eleman “üye haline gelen” ya da “üye haline gelmeyen” olarak tanımlanır. Üyelik fonksiyonu; bulanık kümedeki bir üyenin derecesi üyelik fonksiyonu ile gösterilir (Vaidyanathan ve Azar, 2016). Klasik ve Bulanık Küme Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

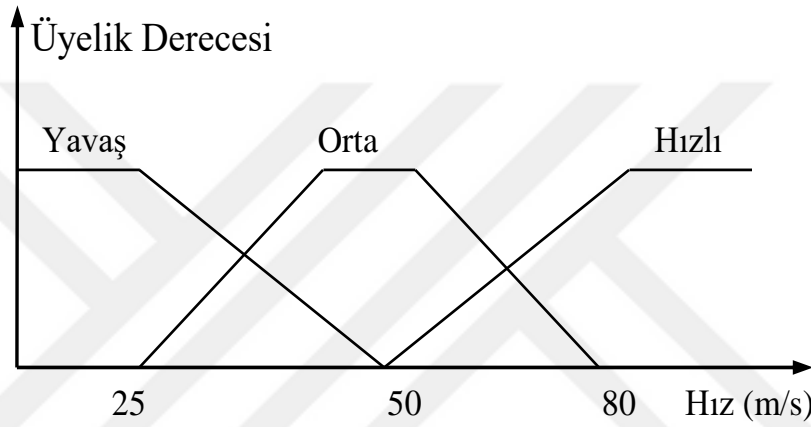


Şekil 3.1. a) Klasik Küme; b) Bulanık Küme.

Üyelik fonksiyonunu ve derecesini bir örnekle göstermek istersek, kısa “ve” uzun kavramlarının üyelik düzeylerini bulanık küme teorisine göre belirleyelim: Üyelik fonksiyonuna sahip belirli bir kümede, bulanıklaştırma adı verilen işlem elemanların dereceleri belirlenerek gerçekleştirilir. Diğer bir deyişle, sorunun kesin verileri bu üyelik fonksiyonunun yardımıyla bulanık değerlere dönüştürülür ve bu işlem Bulanık Mantık ile modellenmenin ilk adımıdır. Modelleme için literatürde farklı üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bunlar, üçgensel, yamuksal ve gauss üyelik

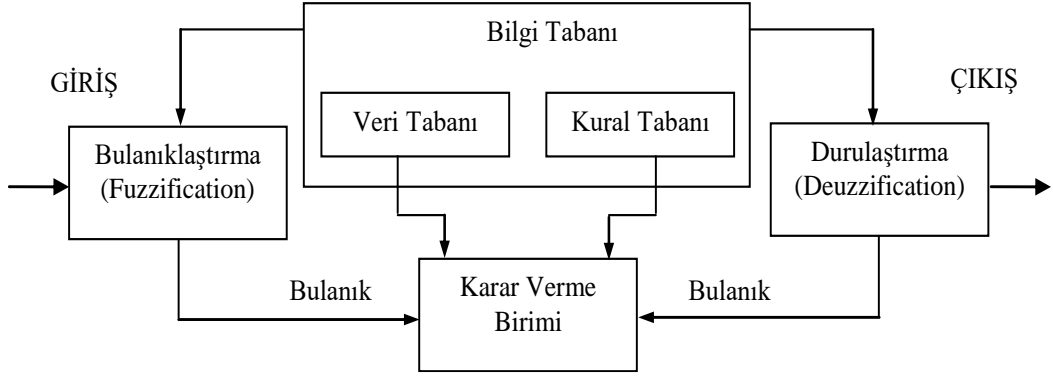


fonksiyonlarıdır. Bulanık Mantık yönteminin diğer klasik yöntemlere göre en büyük avantajlarından biri de sayısal değerler yerine kavramsal ifadeleri kullanabilmeleridir. Bu kavramsal ifadeler evrensel kümedeki elemanların gruplanabilmesini sağlar. Örneğin ifade veya konuşma hızı, “yavaş”, “hızlı” ve “günlük yaşamda ise çok hızlı” gibi ifadeler kullanılarak gruplandırılır (Logic, 2014). Bu kavramsal değişkenler kullanılarak, bulanık modellemenin ikinci adımı olan bulanık kurallar oluşturulmuştur Bulanık Mantık Üyelik İşlevi, Şekil 3.2.’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bulanık Mantık Üyelik İşlevi.

Bulanık Mantık ile modelleme yaparken ikinci adım bulanık kurallar oluşturmaktır. Bulanık kurallar, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki bağlantı olarak tanımlanır. Bulanık akıl yürütme ve bulanık kurala dayanan ve esas olarak üç kavramsal bileşenden oluşan kural tabanlı sistem Bulanık Çıkarım Sistemi olarak tanımlanır. Bu kavramsal bileşenler; Bulanık EĞER-ÖYLEYSE (IF-THEN) kurallarının toplamından oluşan kural tabanı, kuralları toplamaya ve üyelik derecelerinin tanımlanmasında kullanılan veri tabanından ve sistem girdilerinden ve çıktılarından uygun sonuçlar üretmeye yarayan çıkarım mekanizmasıdır. Bulanık Mantık çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 3.3.’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Bulanık Mantık çıkarım sisteminin genel yapısı.

Literatürde birkaç bulanık çıkarım sistemi önerilmiştir. En yaygın olarak kullanılanlar Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi (MBÇS) ve Sugeno-Tagaki Bulanık Çıkarım Sistemi'dir (ANFIS). Bu iki çıkarım sistemini ayıran en önemli özellik, çıktı değişkenini tanımlamaktır. Bu çalışmada ANFIS yöntemi kullanılmıştır.

### 3.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık Mantık, Sayıların Komşuluğu felsefesine dayanmaktadır. Karar sürecinde bir sayı ile durum ifade edilirse, bu sayının gerçekleştirilmesinde durumun kabul edilebilirliği sağlanacaktır. Ancak, bu sayıya yakın sayılar karar sürecinin bir parçası olarak algılanmayacaktır. Bununla birlikte, bu sayıların belirli bir güven katsayısında farklı popülasyonlara üye olduğunu göstermek istatistiksel olarak yanlış olacaktır. Örneğin, bir makinede işlenen bir parçanın sıcaklığı  $39^{\circ}$  C'ye ulaştığında ancak makine bakım işlemine başlıyorsa, belki de  $36^{\circ}$  C'ye ulaşan sıcaklık, aynı bakım işleminin başlatılması için bir ön koşul olarak düşünülebilir. Bu durumda, aynı temel amaca hizmet eden komşu sayılardan bahsetmek mümkündür (Ali vd., 2015).

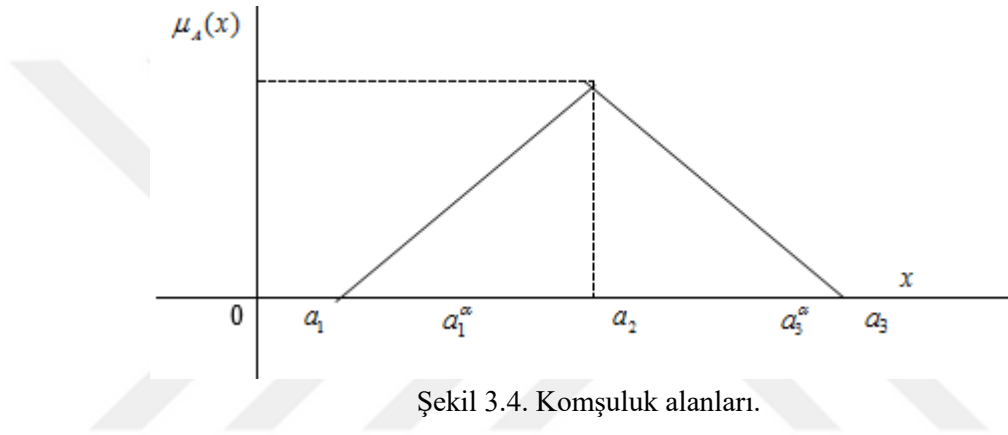
Eğer bir  $R \in (-\infty, +\infty)$  söz konusu kümenin bir üyesi ise ve  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonu  $R \rightarrow [0,1]$  aralığında oluşur. Başka bir deyişle, bir  $A$  kümesi,  $[a_1, a_3]$  için toplam aralık  $\mu_A(x)$  ile gösterilebilir. Üyelik fonksiyonu Eşitlik (3.1) ifade edilebilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (3.1)$$

Üyelik Fonksiyonları genellikle iki başlık altında incelenir: Üçgensel Üyelik Fonksiyonları ve İkizkenar Yamuksal Üyelik Fonksiyonları.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (3.2)$$

Bu komşuluk bölgesi Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Sood, 2018).



Şekil 3.4. Komşuluk alanları.

$a_1^\alpha$  ve  $a_3^\alpha$  değerleri Eşitlik (3.3) ve (3.4) ile elde edilir:

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \quad (3.3)$$

$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.3) ve (3.4)'te,  $A_\alpha = [a_1^\alpha - a_3^\alpha]$  için  $\forall \alpha \in [0,1]$ .  $a_1^\alpha$  görüntü kümesi  $a_1^\alpha$  ve  $a_3^\alpha$  değerlerinden elde edilir ve Eşitlik (3.5) ve (3.6) ile ifade edilir:

$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1 \quad (3.5)$$

$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \quad (3.6)$$

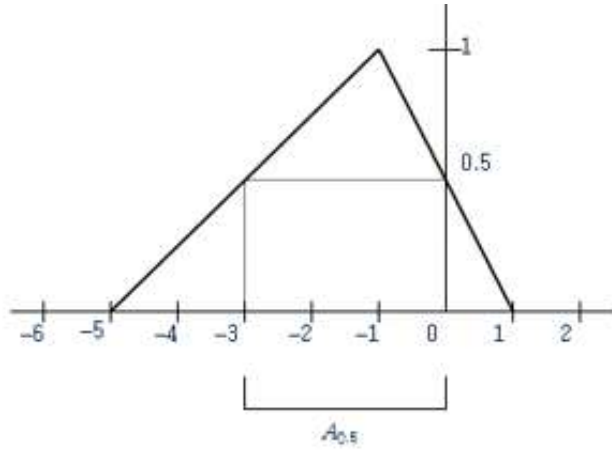
Örneğin, üçgen Bulanık Mantık sayıları kümesinde  $A = (-5, -1, 1)$  olursa, bu durumda, Eşitlik (3.2.) ile verilen Üyelik Fonksiyonu aşağıdaki gibi olur:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < -5 \\ \frac{x+5}{4}, & -5 \leq x \leq -1 \\ \frac{1-x}{2}, & -1 \leq x \leq 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases} \quad (3.7)$$

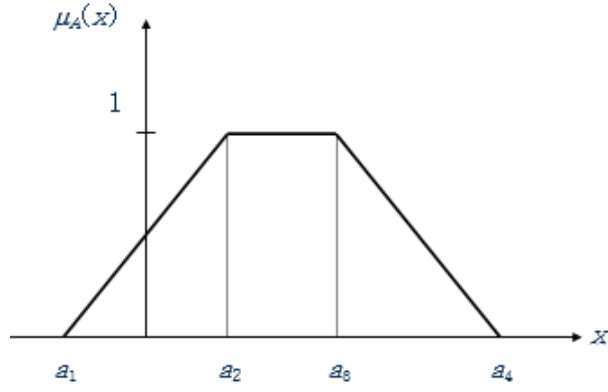
Bulanık Mantık sayıları için kümede normal kabul edilen iki değer varsa,  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  gerçekleşir ve Üyelik Fonksiyonu, İkizkenar Yamuk (trapezoidal) Üyelik Fonksiyonu türünden oluşur. İkizkenar Yamuk Üyelik Fonksiyonu, Eşitlik (3.8) ile ifade edilebilir:

$$\begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (3.8)$$

Şekil 3.5,  $A = (-5, -1, 1)$  kümesinin komşuluğunu göstermektedir. Bu komşuluk Şekil 3,6'da gösterildiği gibi oluşmuştur.



Şekil 3.5.  $A=(-5,-1,1)$  için komşuluk kümesi.



Şekil 3.6. İkizkenar yamuk sayılı komşuluk.

Bölüm 3.2.'de Bulanık mantığın yararlı ve bunun yanında olumsuz yanları da anlatılacaktır.

### 3.2. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık mantığa dayalı olan bulanık denetleyicilerin temel avantajları, yararları ve olumlu yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Günlük hayatta olduğu gibi, zaman içinde değişen karmaşık, iyi tanımlanmış sistemlerin kontrolüne basit çözümler sunar.
2. Bir sistem basit bir matematiksel modelle tanımlanabildiğinde, geleneksel bir kontrol yeterli olacaktır. Bununla birlikte, karmaşık bir sisteme geleneksel bir mantık uygulamak hem çok zor hem de maliyetlidir. Öte yandan, Bulanık Mantık kontrolü geleneksel mantığa göre sistemi daha iyi analiz edebilir ve aynı zamanda ekonomiktir.
3. Bulanık Mantık, işaretlerin ön işlemine ve geniş bir alana yayılmaya az sıklıkta maruz kalmaktadır ve değerlerinin bulanık üyelik fonksiyonuna indirgenmesine genellikle daha iyi sonuçlar ile daha hızlı ve daha küçük bir yazı ile neden olmaktadır.
4. Az sayıda değere uygulanacak kural sayısı daha az olduğundan sonuca ulaşmak daha hızlı olacaktır.
5. Geleneksel bir bilgisayar ortamında durum böyledir. Özel olarak geliştirilmiş bir donanım ile sonuca daha hızlı bir şekilde ulaşmak mümkündür. Örneğin, Sanyo-Fisher mühendisleri, video kaydedicide kullanacaklarını düşündükleri mikrobilgisayarın yetersizliği nedeniyle bulanık kontrol kullanmaya karar

verdiler. Bulanık kontrol, yazılım boyutlarının daha küçük olmasına izin verdiğiinden, harici bellek kullanılması gerekmez.

Bulanık mantığa dayanan bulanık denetleyicilerin dezavantajları, zayıf noktaları ve eleştirilebilecek yönleri aşağıdaki gibi kabul edilebilir:

1. Bulanık kontrolde kullanılan kurallar büyük ölçüde tecrübeye bağlıdır.
2. Üyelik fonksiyonlarının seçiminde özel bir yöntem yoktur. Bu oldukça uzun bir zaman alabilir.
3. Denetlenen sistemin kararlılık analizi yapılamaz ve sistemin nasıl tepki vereceği tahmin edilemez. Yapılabilecek tek şey benzetim çalışmasıdır.

### **3.3. Bulanık Mantık Uygulama Alanları**

Hemen hemen her alanda kullanılabilen Bulanık Mantık, endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Japonlar bulanık mantığı özellikle bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler ve video kameralara uygulamıştır.

Bulanık Mantık uygulamaları ilk kez çimento sektöründe kullanılmıştır. Bu seçici ayrıca kireçtaşı ve kilde 1000-1400° C'de reaksiyon gösterir. Fırındaki sıcaklık ve oksijen içeriği çimentonun kalitesini doğrudan etkiler. Ürünü sadece bu alanda uzmanlaşmış operatörler istenen sınırlar dâhilinde alabilir. Ancak bu fabrikada bir vardiya sistemi ile çalışan birçok operatör bulunur ve her operatör farklı seviyede bir uzmanlığa sahip olacağından, ürün farklı niteliklerde ve verimlilikte elde edilir. İstenilen kalitede ürün ancak bu işte yıllardır çalışan uzmanlar tarafından üretilebilir. Üretilen çimentonun bulanık bir yapıya sahip olması süreç kontrolü ve apaçık bulanık kurallara imkân tanır. Örneğin, sıcaklığı 10° C veya 5° C artırmak gibi katı kurallar yoktur. Küçük bir azalma, küçük bir artma gibi bulanık terimlerle ifade edilen kurallar tarafından üretim kontrol edilmektedir. Danimarkalı bir şirket bu süreci kontrol etmek için uzman operatörler tarafından kullanılan 50-60 pratik kurala dayanan bir mikrodenetleyici geliştirdi ve bu da sabit ürün kalitesine olanak ve yakıttan önemli ölçüde tasarruf sağladı (Sood, 2018). Tablo 3.2, pratikte Bulanık Mantık uygulamalarına ilişkin bazı örnekleri sunmaktadır.

Tablo 3.2. Bulanık Mantık uygulamaları.

| Ürün                 | Şirket                                   | Bulanık Mantığın İşlevi   |
|----------------------|--|---|
| Skorcu Tespiti       | Fujitec–Toshiba<br>Mitsubishi<br>Hitachi | Yolcu trafiğini hesaplar. Böylece bekleme zamanı azalır.  |
| Fotoğraf Makinesi    | Sanyo-Fisher<br>Canon<br>Minolta         | Odaklama sırasında ekranda pek çok nesne olabilir, ışıktandırmayı hesaplar  |
| Video Kayıt Cihazı   | Panasonic                                | Elde kullanılmadan kaynaklanan sarsıntıları ortadan kaldırır.   |
| Çamaşır Makinesi     | Matsushita                               | Çamaşırların kirliliği, ağırlığı, kumaşın türü gibi parametrelere bağlı olarak yıkama programını seçer.                   |
| Elektrikli Süpürge   | Matsushita                               | Süpürülecek yerin durumu ve kirliliğine bağlı olarak motor gücünü ayarlar.  |
| Kaynatıcı            | Matsushita                               | Amount of water used for heating and adjusts according to temperature.  |
| Klima                | Mitsubishi                               | Çevresel koşulları hesaplayarak en iyi çalışma koşullarını belirler, odaya biri girecek olursa soğutma işlevini arttırır. |
| Abs fren sistemi     | Nissan                                   | Fren yaparken tekerlerin kilitlemesini engeller.  |
| Çelik Endüstrisi     | Nippon steel                             | Geleneksel kontrolörlerin yerini alır..   |
| Sendai metro sistemi | Hitachi                                  | Rahat bir yolculuk için ivmelenme ve yavaşlama kontrolü ve durma noktasına göre ayarlama ve enerji tasarrufu.             |
| Çimento Endüstrisi   | Mitsubishi Chem                          | Karışımında sıcaklık ve oksijen oranının kontrolü.  |
| Televizyon           | Sony                                     | Ekrandaki kontrast, parlaklık ve renk ayarları  |
| El bilgisayarı       | Sony                                     | Elle veri ve komut girmeye imkan sağlama.   |

Bunlarla birlikte daha sonra, insansız uçakların kontrolünde, tren fren sisteminde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) gibi pek çok şeyin kontrolünde Bulanık Mantık kullanılmıştır.

### 3.4. Nöral Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Bulanık mantık ve Yapay Sinir Ağları (YSA), mühendislik problemlerinde güçlü ve etkili modelleme yöntemleridir. Uyarlanabilir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi (UNBÇS) (ANFIS-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), YSA ve Bulanık Mantık çıkarım yöntemlerinin bir kombinasyonudur (Jang and Sun, 1993). Son yıllarda, YSA ve Bulanık Mantık yöntemlerinin bir kombinasyonundan oluşan bir Nöral Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (NBMÇS) modelleme yöntemi geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanılmıştır. Bulanık mantığın insan bilgisinin niteliksel yönlerini değiştirme ve kesin nicel analiz süreci hakkında bir bakış açısı kazanma yeteneği vardır. Bununla birlikte, dönüşüm ve insan düşüncesi, kural tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi'ne (BÇS) rehber olarak kullanılabilir tanımlı bir yöntemle sahip değildir ve ayrıca Üyelik Fonksiyonları'nı (ÜF) kurmak uzun zaman alır (Jang ve Sun, 1993). YSA'nın aksine, öğrenme sürecinde çevreye uyum sağlama yeteneği daha yüksektir. Bu nedenle YSA, Üyelik Fonksiyonları'nı otomatik olarak ayarlamak ve Bulanık Mantık'taki kuralları belirlemede hata oranını azaltmak için kullanılabilir (Emamgholizadeh vd., 2014).

Bulanık Mantık ile modellemede en önemli adım, girdi/çıkış değişkenlerinin üyelik derecelerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada girdi/çıkış parametrelerini belirlemek için karma algoritma kullanılmıştır. UNBÇS, eğitim veri kümesindeki bulanık kümeleri ve kuralları belirlemek ve kural tabanlı bir modelleme yapmak için bulanık öğrenme becerilerini kullanır. UNBÇS, üç katmanlı ileri beslemeli YSA olarak değerlendirilebilir. Bu ağ yapısında, birinci katman girdi değişkenlerinin uygulandığı katmandır ve üyelik fonksiyonları YSA yardımıyla belirlenir, ikinci katman bulanık kuralların oluşturulduğu ve çıkarım işleminin yapıldığı katmandır ve son katman katman çıkarım sisteminin sonucudur. Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemiyle nöral Bulanık Mantık sürecinin gerçekleştirilmesi aşağıda verilmiştir. Bilindiği gibi Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi'nde çıkış değişkeni bir katsayı olarak tanımlanırsa, 0 gibi çıkış değişkeni, giriş değişkenlerine bağlı olarak bir polinom fonksiyonu biçimindeyse, bu modele bu modele Su modeli denir. İki girişli Sugeno Nöral Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Ebtahaj ve Bonakdari, 2014):



Kural 1: EĞER  $x, A1$  ve  $y, B1$  ise o zaman Eşitlik (3.9) geçerli olur.

Kural 2: EĞER  $x, A2$  ve  $y, B2$  ise o zaman Eşitlik (3.10) geçerli olur.

Burada  $A_i$  ve  $B_i$  bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ve  $p1, q1, r1, p2, q2$  ve  $r2$  çıkarım sisteminin çıkış parametreleridir.

Katman 1: Bu katmandaki her bir düğüm, girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının düğüm fonksiyonlarını oluşturur. Her bir düğüm çıkışı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$O_{1,j} = \mu_A(x) \quad i = 1,2 \quad (3.9)$$

$$O_{1,j} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad i = 3,4 \quad (3.10)$$

Bu çalışmada, düğüm çıkışı, Eşitlik (3.8)'de verilen genelleştirilmiş çan tipi üyelik fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Bulanık çıkarım sisteminin doğrusal olmayan giriş parametreleri de aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$OP_i^1 = \mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)} \quad (3.11)$$

Katman 2: Bu katmandaki her bir nöron, VE / VEYA operatörleri kullanılarak giriş sinyalleriyle çarpılır. Düğüm çıkışı için ateşleme kuvveti Eşitlik (2.9) kullanılarak hesaplanır.

$$O_{2,k} = w_k = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_j}(y) \quad i = 1,2; J = 1,2; k = 1,2,3,4 \quad (3.12)$$

Katman 3: Ateşleme kuvveti bu tabakada düzelenir (normalize). Düğüm için düzelenmiş ateşleme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2} \quad i = 1, \dots, 4 \quad (3.13)$$

Katman 4: Bu katmanda, her bir düğümün model çıktısına katkısı hesaplanır.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1, \dots, 4 \quad (3.14)$$

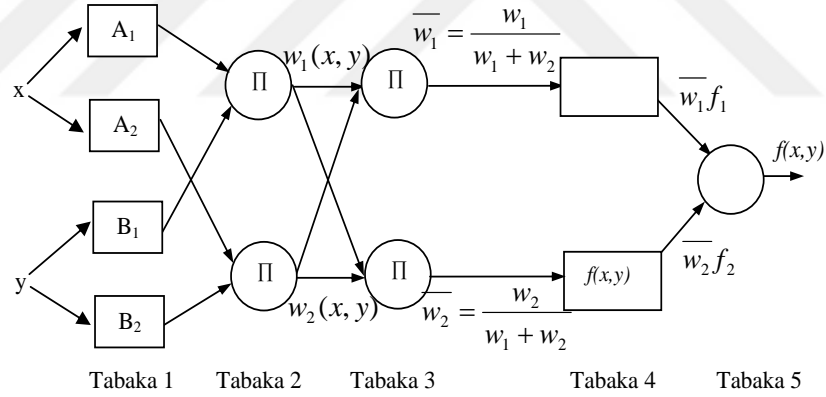
Burada; Katman 3'ün çıktısı; BÇS'nin çıkış parametreleridir.

Katman 5: Bu katman çıktı katmanı olarak adlandırılır ve UNBÇS'nin genel çıktısı hesaplanır ve durulama işlemi ile bulanık değerden tam değere dönüştürülür.

$$f(x, y) = \frac{w_1(x,y)f_1(x,y) + w_2(x,y)f_2(x,y)}{w_1(x,y) + w_2(x,y)} = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \quad (3.15)$$

$$Q_{5,i} = f(x, y) = \sum_i \bar{w}_i f_i = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.16)$$

İki girdili bir Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi'nin yapısı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



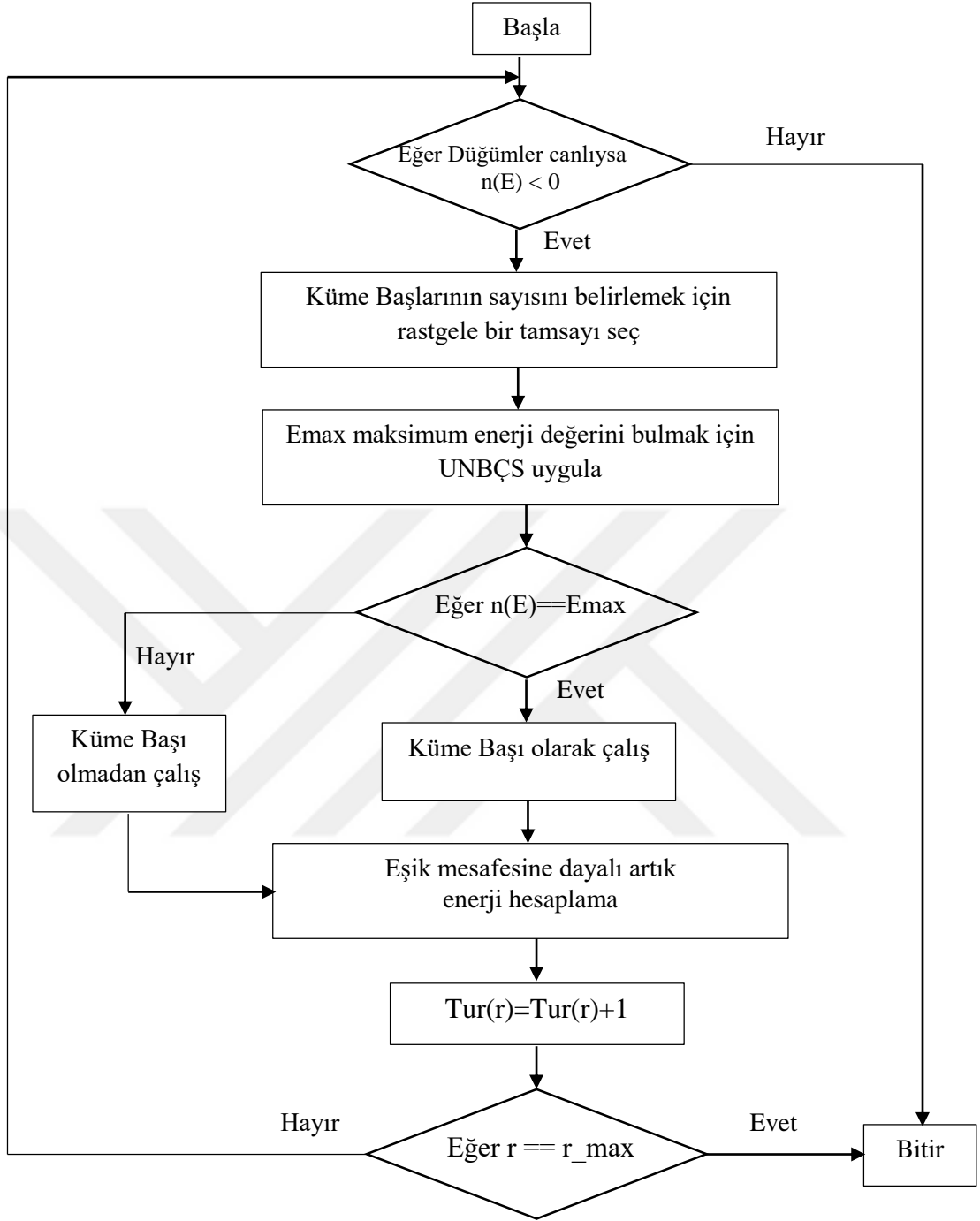
Şekil 3.7. İki girişli Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi yapısı.

Bir sonraki bölümde, bu bölümde izah edilmiş Bulanık Mantık yöntemiyle elde edilen bulgulara ve onların değerlendirilmesine yer verilecektir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezde, KSA'nın yönlendirilmesinde Bulanık Mantığı yöntemi uygulanmıştır. Bu senaryonun Üyelik Fonksiyonları için Mamdani Modeli kullanılmıştır. Bu modelde her girdi için Düşük, Orta ve Yüksek olmak üzere aynı üç üyelik değerini kullanıldı. Çıktı için üç ise Küçük, Orta ve Büyük olmak üzere üç üyelik değeri daha kullanıldı. Daha sonra, bulanık çıkarım sistemi kuralları, sensörlere tesadüfi değer olarak küme kafası değil KB olarak belirlendi. Sonra bu kurallar Neoro Bulanıklık yöntemiyle eniyilendi (optimize edildi). Önerilen yöntemde Uyarlanabilir Nöral Bulanık (UNB) (AND-Adaptive Neural Fuzzy) tabanlı Mamdani Bulanık Kural Tablosu kullanıldı.

Çalışmanın amacı için Bulanık Mantık ve Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi'ne dayalı yeni bir protokol hazırlandı. Düğümlerin kalan enerjisi ve düğüm ile baz istasyonu arasındaki mesafe olmak üzere iki değişkeni göz önünde bulundurarak KB seçmek için Mamdani Bulanık Mantığını kullanıldı. DEUKH protokolü gibi, bu yeni prokold e aynı zamanda iki fazdan oluşmaktadır, karalı durum fazını ve KB seçimi zordur. Önerilen yöntemde, ilk olarak, bulanık kuralları bulmak için giriş değerleri, Enerji ve Mesafe analiz edilmekte, daha sonra uygun KB seçilmektedir. KB seçimi daha verimli olmuştur ve kümeler doğru şekilde oluşturulmuştur. Bulanık kuralları eniyilemek için minimum mesafe yöntemi, bir yeterlilik fonksiyonu olarak kullanıldı. Her turun başında, tüm düğümlerin Enerjisi ve Mesafesi ölçüldü ve bu ölçümler her bir düğüm için bulanık kuralı ayrı ayrı bulmak için kullanıldı. Önerilen yöntemin özeti Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Araştırmada kullanılan veriler Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Önerilen yöntem için akış diyagramı.

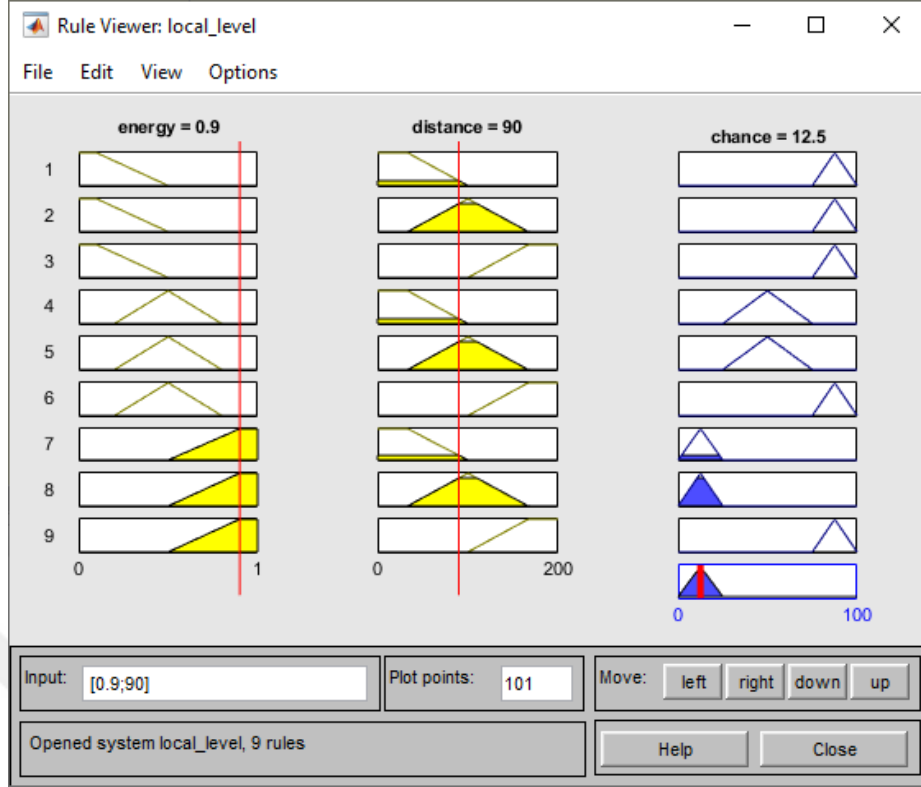
Tablo 4.1. Parametreler ve karşılık gelen değerler.

| Parametre                    | Değer                   |
|------------------------------|-------------------------|
| xm                           | 100 [m]                 |
| ym                           | 100 [m]                 |
| Sink.x (Alıcı.x)             | 50 [m]                  |
| Sink.y (Alıcı.y)             | 50 [m]                  |
| Alandaki düğüm sayısı        | 100                     |
| İlk Enerji                   | 0.5 Joule               |
| Vericinin enerjisi           | $50*0.000000001$        |
| Alıcının enerjisi            | $50*0.000000001$        |
| Boş alanın enerjisi          | $10*0.000000000001$     |
| Çok yolun enerjisi           | $0.0013*0.000000000001$ |
| Veri Birleştirmenin Enerjisi | $EDA=5*0.000000001$     |
| Gelişmiş düğümlerin yüzdesi  | 0.1                     |
| Maksimum tur sayısı          | 4000                    |

Kurulum adımında baz istasyonuna ve Küme Başları'na iletilen bit için sayaç kullanıldı. Başlangıçta tüm değerler sıfıra ayarlandı. Düğümler için normal düğümler ve gelişmiş düğümler kullanıldı. Normal düğümlerin 0.5 Joule enerjisi vardır, ancak gelişmiş düğümler 1 Joule enerjiye sahiptir. Bu yöntemi kararlı seçim protokolü yöntemi izler. Bu yöntemle ağda daha fazla enerji kullanabilir ve tasarruf edilebilir.

#### 4.1. Bulanık Yapı

Bu çalışmada, bulanık yapı için MATLAB'ın bulanık paketiyle Mamdani Yöntemi kullanıldı. Kullanılan paketin ekran çıktısı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, iki giriş ve bir çıkış ile Mamdani bulanık modelini kullanılmıştır. Giriş için de enerji ve mesafe vektörlerini kullanılmıştır. Çıktı için ise olasılık değeri veya şans değeri seçilmiştir.



Şekil 4.2. Olasılık değerini elde etmek için kullanılan bulanık araç kutusu.

Giriş ve çıkışların üyelik fonksiyonu için üçgenel üyelik fonksiyonunu kullanılmıştır. Hem girdi hem de çıktı için de üç aralık seçilmiştir. Enerji için seçilen aralık 0 ile 1 arasındadır. Mesafe için de bu aralık 0 ile 200 arasında seçilmiştir. Son olarak da olasılık için 0 ile 100 aralığı seçilmiştir. Ayrıca tüm aralıklar için küçük orta ve yüksek seçilmiştir. Üçgenel Üyelik Fonksiyonu'nun parametreleri rastgele seçilmiştir, ancak bu veri değerleri programın sonucuna bağlıdır.

KB'nin şansı veya olasılığı Enerji'ye ve Mesafe'ye bağlıdır. Örneğin, enerji düşük ve sensör ile alıcı arasındaki mesafe düşük olduğunda, şans düşük olur. Bu şans, KB için olasılığın değerini ortaya koymaktadır. Eğer şans değeri yüksekse, sensör KB olacaktır, ancak bu şans düşükse sensör KB olmayabilir.

Bu çalışmada 9 kural seçildi çünkü girdiler için üç aşama bulunmaktadır. Bu üç aşama küçük, orta ve yüksektir. Bu tezde kullanılan bulanıklık, aşağıda verildiği gibi kodlanmıştır:

```

[System]
Name='anfis_trained'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=64
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'

```

```

[Input1]
Name='input1'
Range=[0 1.5]
NumMFs=8
MF1='in1mf1':'gausmf',[0.0948385375966203
0.00530970323156637]
MF2='in1mf2':'gausmf',[0.0732904199193179 0.215462727412425]
MF3='in1mf3':'gausmf',[0.0977279682612596 0.430915791491974]
MF4='in1mf4':'gausmf',[0.0510663312861908 0.650269726308222]
MF5='in1mf5':'gausmf',[0.0878096908655641 0.870546867602079]
MF6='in1mf6':'gausmf',[0.140599544783273 1.13623928639277]
MF7='in1mf7':'gausmf',[0.0388763238740768 1.40064186366702]
MF8='in1mf8':'gausmf',[0.0304517262687461 1.53148983954633]

```

```

[Input2]
Name='input2'
Range=[0 150]
NumMFs=8
MF1='in2mf1':'gausmf',[9.09987741479331 5.33203591723512e-07]
MF2='in2mf2':'gausmf',[9.0998906513859 21.4285798808599]
MF3='in2mf3':'gausmf',[9.09997787823922 42.857201550644]
MF4='in2mf4':'gausmf',[9.09935040304544 64.2855554938428]
MF5='in2mf5':'gausmf',[9.10050601103612 85.715410882103]
MF6='in2mf6':'gausmf',[9.10248367033378 107.144330977142]
MF7='in2mf7':'gausmf',[9.09886155156056 128.572512672061]
MF8='in2mf8':'gausmf',[9.10037415135185 149.999664318487]

```

```

[Output1]
Name='output'
Range=[12.5 87.5]
NumMFs=64

```

```

[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
1 4, 4 (1) : 1
1 5, 5 (1) : 1
1 6, 6 (1) : 1
1 7, 7 (1) : 1
1 8, 8 (1) : 1
2 1, 9 (1) : 1

```

2 2, 10 (1) : 1  
2 3, 11 (1) : 1  
2 4, 12 (1) : 1  
2 5, 13 (1) : 1  
2 6, 14 (1) : 1  
2 7, 15 (1) : 1  
2 8, 16 (1) : 1  
3 1, 17 (1) : 1  
3 2, 18 (1) : 1  
3 3, 19 (1) : 1  
3 4, 20 (1) : 1  
3 5, 21 (1) : 1  
3 6, 22 (1) : 1  
3 7, 23 (1) : 1  
3 8, 24 (1) : 1  
4 1, 25 (1) : 1  
4 2, 26 (1) : 1  
4 3, 27 (1) : 1  
4 4, 28 (1) : 1  
4 5, 29 (1) : 1  
4 6, 30 (1) : 1  
4 7, 31 (1) : 1  
4 8, 32 (1) : 1  
5 1, 33 (1) : 1  
5 2, 34 (1) : 1  
5 3, 35 (1) : 1  
5 4, 36 (1) : 1  
5 5, 37 (1) : 1  
5 6, 38 (1) : 1  
5 7, 39 (1) : 1  
5 8, 40 (1) : 1  
6 1, 41 (1) : 1  
6 2, 42 (1) : 1  
6 3, 43 (1) : 1  
6 4, 44 (1) : 1  
6 5, 45 (1) : 1  
6 6, 46 (1) : 1  
6 7, 47 (1) : 1  
6 8, 48 (1) : 1  
7 1, 49 (1) : 1  
7 2, 50 (1) : 1  
7 3, 51 (1) : 1  
7 4, 52 (1) : 1  
7 5, 53 (1) : 1  
7 6, 54 (1) : 1  
7 7, 55 (1) : 1  
7 8, 56 (1) : 1  
8 1, 57 (1) : 1  
8 2, 58 (1) : 1  
8 3, 59 (1) : 1  
8 4, 60 (1) : 1  
8 5, 61 (1) : 1  
8 6, 62 (1) : 1  
8 7, 63 (1) : 1  
8 8, 64 (1) : 1



Kullanılan parametreler ile en iyi (optimum) sonuçlar elde edildi ve canlı düğümün bu turdaki doğruluğu, ileriki adımda sonucunu verecek olan Düşük Enerjili Uyumlu Kümeleme Hiyerarşisi (DEUKH) yönteminin uygulandığı turdan daha iyi olduğu gözlemlendi. DEUKH ve Kararlı Seçim Protokolü (KSP) (SEP-Stable Election Protocol) gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, elde edilen sonuç yüksek canlı ağ süresine sahiptir. Tablo 4.2, Bulanık'ta kullanılan parametreleri göstermektedir.

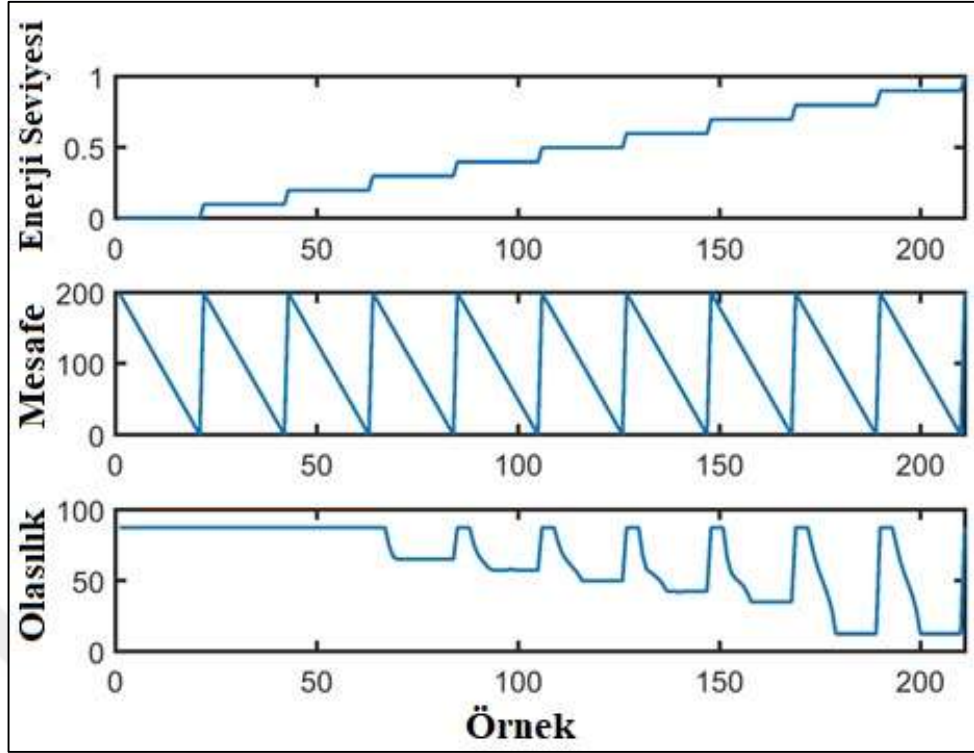
Tablo 4.2. *Bulanıkta kullanılan parametreler.*

| Bulanık                            |     |
|------------------------------------|-----|
| Girdi sayısı                       | 2   |
| Çıktı sayısı                       | 1   |
| Maksimum yineleme sayısı           | 100 |
| Girdiler için üyelik fonksiyonları | 3   |

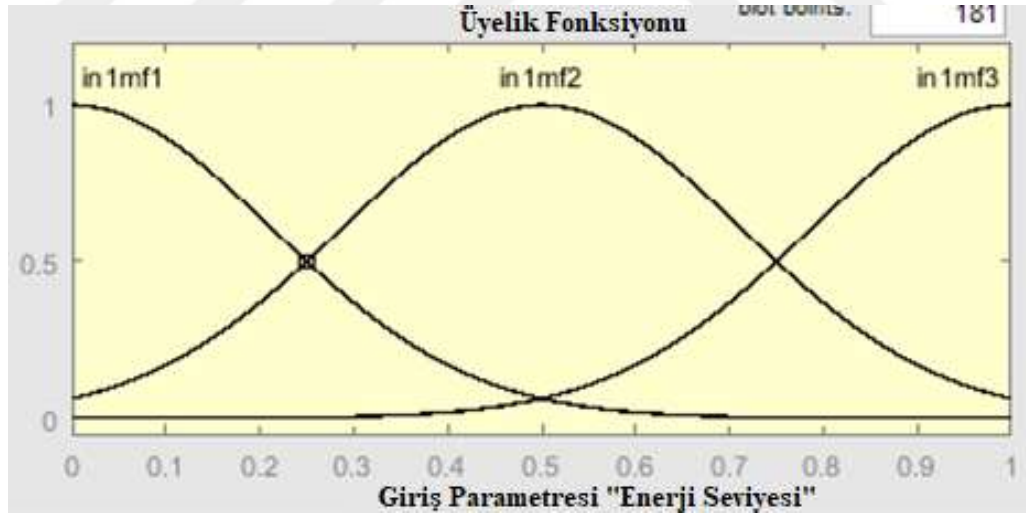
Bir sonraki bölümde, Bulanık Tabanlı Küme Başlı Seçimi, yönlendirme algoritması ve ağırlıklı güven değerlendirilmesini kullanarak önerilen algoritmanın değerlendirme yöntemine yer verilecektir. Bulgular MATLAB benzetim paketi kullanılarak değerlendirilmiştir.

#### 4.2. Benzetim Sonuçları

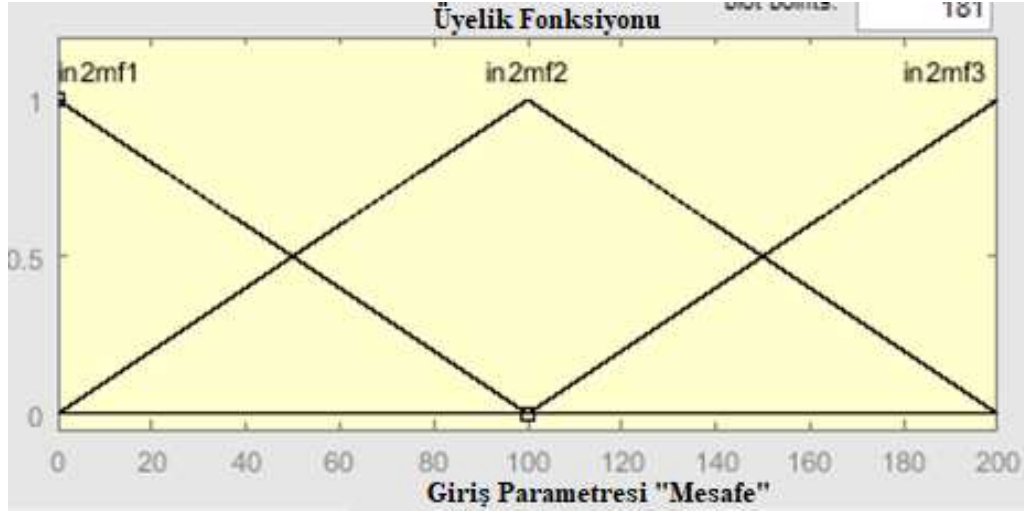
Şekil 4.3, UNBÇS ağı için giriş ve çıkış verilerini gösterir. Enerji seviyesi ve küme lideri ile sensör düğümleri arasındaki mesafe UNBÇS ağının girdileridir. Enerji seviyesi, her bir düğümün güç tüketimidir ve Şekil 4.4'te gösterildiği gibi Gauss Üyelik Fonksiyonu kullanılarak dağılır. Mesafe, Şekil 4.5'de gösterildiği gibi Üçgensel Üyelik Fonksiyonu kullanılarak dağıtılır. Olasılık, UNBÇS ağı için çıktıdır ve Şekil 4.6'da gösterildiği gibi sabit değerle dağıtılmıştır. Burada KB olarak maksimum olasılığı olan düğümü seçilir. Başlatma işleminden sonra, ağ 100 yineleme (iterasyon) için karma algoritma kullanılarak eğitilir ve son kurallar oluşturulur. Eğitim için 211 örnek kullanılmıştır.



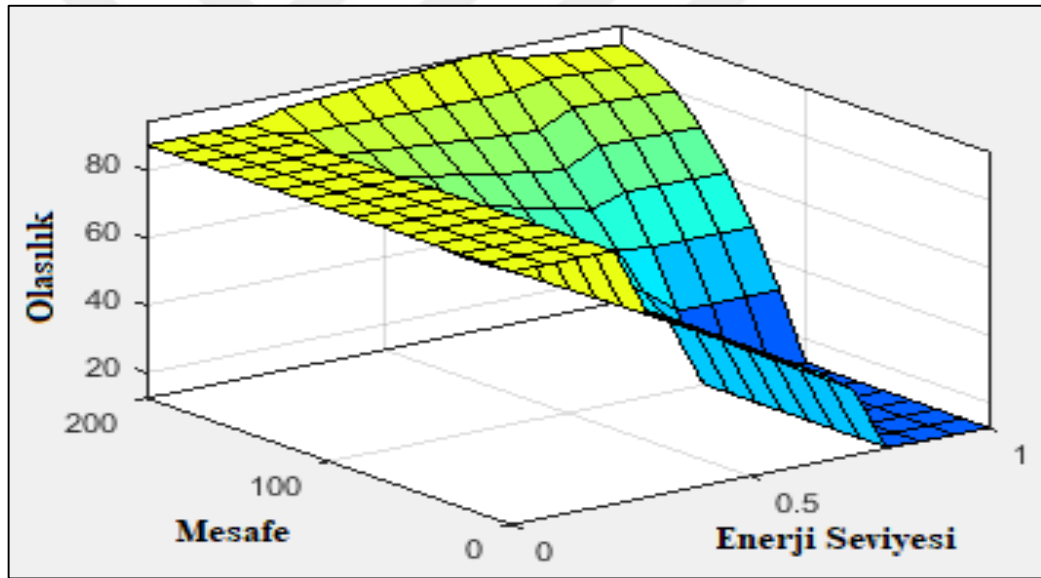
Şekil 4.3. UNBCS ağı için girdi ve çıktı verileri.



Şekil 4.4. Enerji Seviyeleri için Üyelik Fonksiyonu.

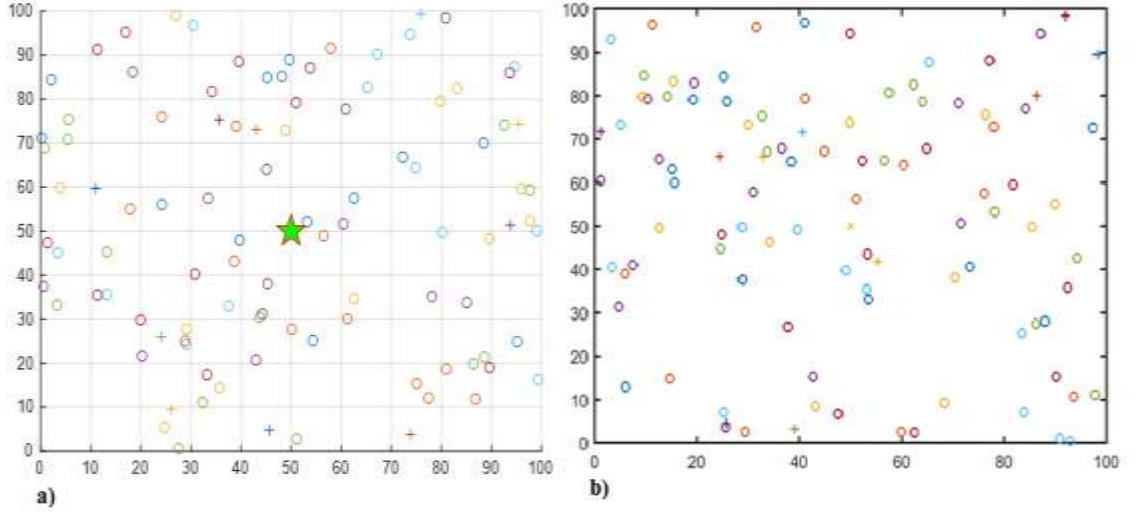


Şekil 4.5. Mesafe için Üyelik Fonksiyonu.



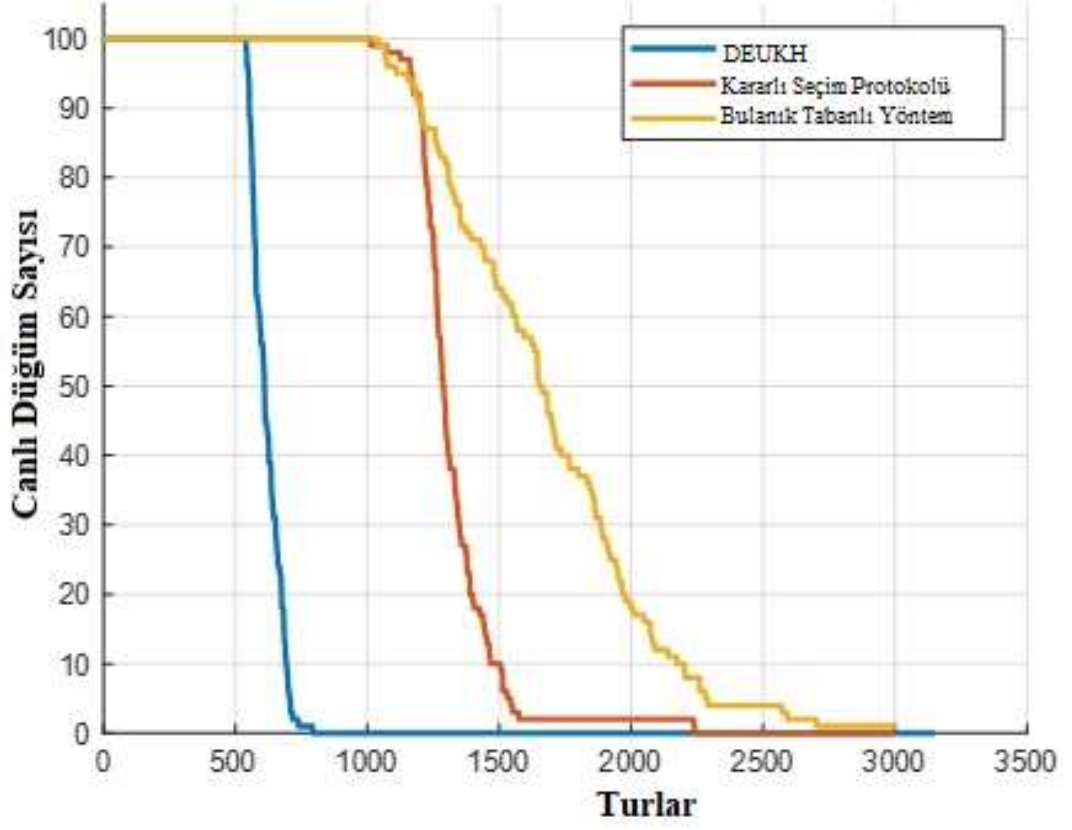
Şekil 4.6. Son olasılık kuralları.

UNBÇS ağının eğitiminden sonra kablosuz sensör ağı kurulur. Bu ağ Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Ağın alanı 100x100 m<sup>2</sup> olarak alınır. Bu KSA'da 'o' normal düğümü, '+' gelişmiş düğümü ve 'x' ağın baz istasyonunu belirtir. Normal ve gelişmiş düğümler alana rastgele dağıtılır ve baz istasyonunun konumu (50, 50) metredir. Her bir sensör düğümü, güven değeri olarak 1 başlangıç ağırlığına sahiptir ve bir düğümün güven değerinin ağırlığı, kümenin liderine yanlış veri gönderdiğinde 0.2 azalır. Bir düğümün güven değerinin ağırlığı 0.6 değerinin altına indiğinde, bu düğüm işaretlenir. Bu düğüm Şekil 4.7'de artı sembolü ile gösterilmiştir.

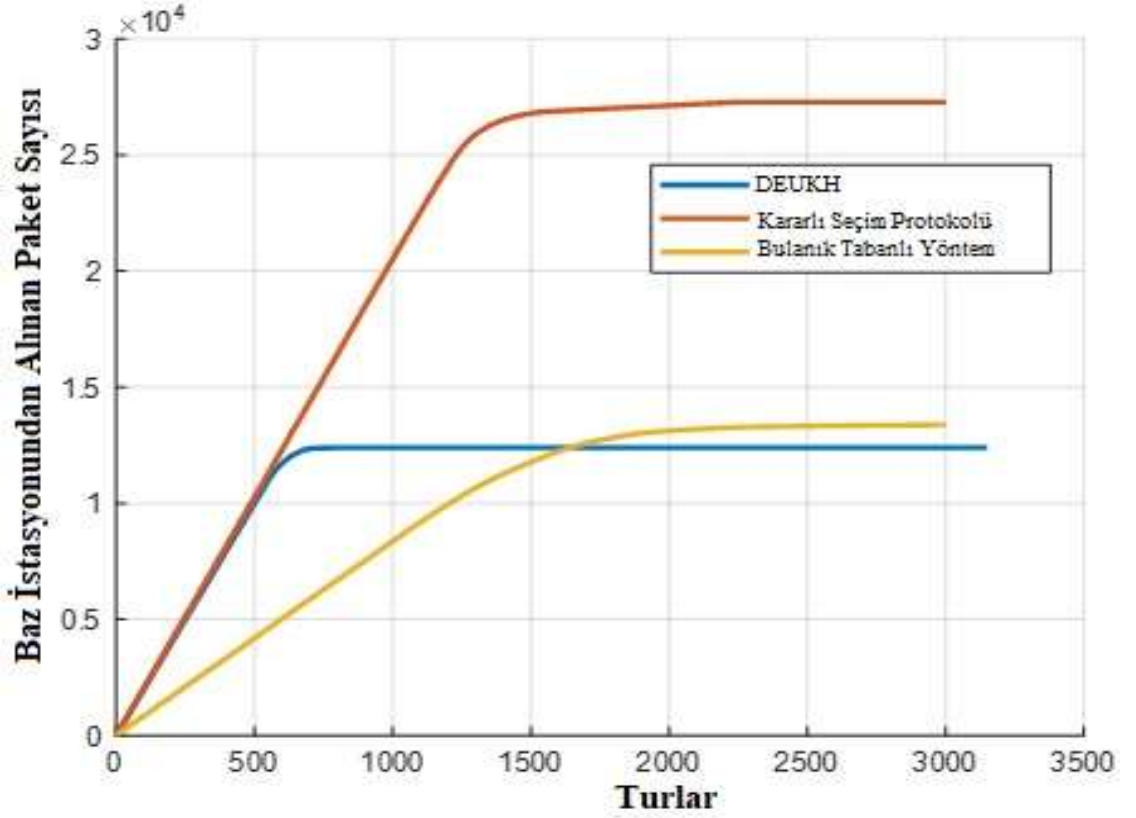


Şekil 4.7. a) Önerilen yöntem için başlangıç alanı, b) Kablosuz Sensör Ağı.

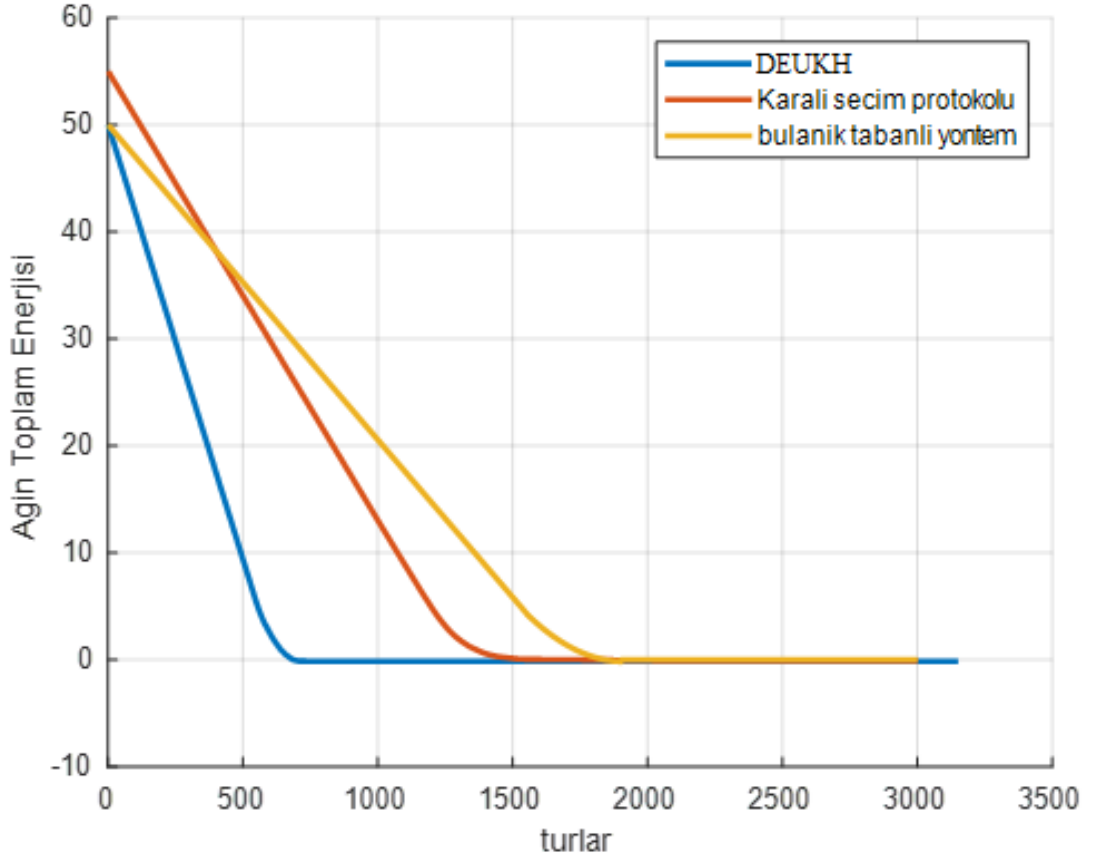
Başlatma işleminden sonra kablosuz sensör ağı turlara girer. Her turda sensörler çevreden algıladıkları bilgileri baz istasyonuna gönderirler. Veri gönderilirken, düğümler Küme Başları'na ellerindeki verileri gönderir ve Küme Başları bu düğümlerden veri toplar, işler ve sensörlerden toplanan verileri baz istasyonuna yönlendirir. Küme Başı sensör düğümlerinden topladığı verileri yönlendirirken, verileri kontrol eder ve sensör düğümlerinin güven değerini yeniden değerlendirir. Tur sayısına göre canlı düğüm sayısı benzetim sonuçları Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Baz istasyonunda tura karşı alınan paket sayısı da Şekil 4.9'da gösterilmektedir. En sonunda da, sensörlerin kullandığı her turdaki Enerji hesaplandı. Bu senaryo Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Canlı düğüm sayısına göre tur sayısı.



Şekil 4.9. Baz istasyonundan tur başına alınan paket sayısı.



Şekil 4.10. Ağın toplam enerjisi.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, bir sistemin ömrünün en fazla seviyeye çıkarılması için, alıcıların sistem etrafına yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Yine aynı yolla, alıcı etrafındaki düğüm sayısının azaltılması da sistemin ömrününün uzamasına etki etmektedir. Bu çalışmada, Kablosuz Sensör Ağların'ndaki kullanılabilir en küçük enerjiyi elde edebilmek için Bulanık Mantık kullanılmıştır. Bulanık Mantık uygulamasının çıktısı ise KB için şans değerini temsil etmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgularla, her bir sensörün KB olma olasılığının sensörlerin enerjisine ve mesafesine bağlı olduğu sonucu çıkmıştır.

## 5. SONUÇ

Bir sensör düğümünün en fazla enerji gereksinimi olan birimi, iletişim birimidir. Kablosuz Sensör Ağlar (KSA) için protokoller oluştururken, farklı teknikler veya yapılar planlarken, bu zorlayıcı enerji gereksinimi sorunu göz önünde bulundurulmalıdır. Şu ana kadar küme tabanlı KSA'lar üzerine farklı araştırmalar yapılmış, çeşitli stratejiler önerilmiştir. Bu çalışmada, küme temelli KSA'larda, farklı temel faktörlerin etkileri, canlılık kullanımı da dâhil olmak üzere incelenmiştir. Küme tabanlı KSA'larla ilgili genel kanı, genel sorunları hafifletmek için nihai hedefi göz önünde bulundurarak, alıcının yakınında bulunan grupların uzak gruplardan daha küçük olmaları gerektiğidir. Sistemin ömrünü etkileyebilecek diğer unsurlar seviye miktarı, göbek kalınlığı, iletişim radyo alıcı/vericisinin menzili, alıcıların sayısı ve alanıdır. Bu parametrelerin her biri, akla gelebilecek tüm kombinasyonlar için ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara dayanarak, maksimum sistem ömrünün, alıcıların sistem etrafına yerleştirilmesiyle elde edilebileceğini sonucu çıkmıştır. Göbek kalınlığının bir seviyeye kadar genişletilmesi, canlılık kullanımını etkileyen bir başka faktördür. Benzer şekilde, alıcıya yakın olan düğüm sayısının daha az olmasının, sistem ömrünü uzatacağı gözlenmiştir. Ayrıca, radyo alıcı/vericisinin daha uzun menzilli olmasının, canlılığın korunmasına, yani sistem ömrünün uzatılmasına ilişkin net bir yapıcı sonucu olmadığı da açıklığa kavuşturulmuştur.

Bu tezde, KSA'daki minimum enerjiyi elde etmek için Bulanık Mantık kullanıldı. En iyi kümelemeyi ve Küme Başları'nı (KB) bulmak için Mamdani Bulanık Yöntemini seçilmiştir. Bulanık kurallar için 9 kural kullanılmıştır. Bu kurallar küçük, orta ve yüksektir ve üçe üç kuralla toplam 9 kuraldan oluşmaktadır. İki girdi kullanılmıştır: Birincisi, her bir düğümün Enerji Seviyesi; ikincisi de düğümler arasındaki Mesafe'dir. Bulanık uygulamasının çıktısı, KB için şans değeridir. Bu sonuç da, her sensörün KB olma olasılığının, sensörlerin enerjisine ve mesafesine bağlı olduğu anlamına gelir. Bu modelle, KB tespit edilebileceği görülmüştür. Yönlendirme için Bulanık Mantık yöntemini kullanılmıştır.

Bu çalışmada nerilenen yöntem, gelecek çalışmalarda NS2 (Network Simulator) yazılımını da kullanarak donanım üzerine uygulanacaktır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan yöntem, derin öğrenme yöntemi olarak da daha geniş veri seti üzerine uygulanacaktır.





## KAYNAKLAR

- Al-Hamadi, H., & Chen, R. (2013). Redundancy management of multipath routing for intrusion tolerance in heterogeneous wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 10(2), 189-203.
- Alanis, D., Botsinis, P., Babar, Z., Ng, S. X., & Hanzo, L. (2015). Non-dominated quantum iterative routing optimization for wireless multihop networks. *IEEE Access*, 3, 1704-1728.
- Ali, O. A. M., Ali, A. Y., & Sumait, B. S. (2015). Comparison between the effects of different types of membership functions on fuzzy logic controller performance. *International Journal*, 76, 76-83.
- Anandh, S. J., & Baburaj, E. (2016). An Improved Energy Balanced Dissimilar Clustered Routing Architecture for Wireless Sensor Networks. *Circuit and Systems, Scientific Research*.
- Baek, S. J., & de Veciana, G. (2007). Spatial energy balancing through proactive multipath routing in wireless multihop networks. *IEEE/ACM Transactions on networking*, 15(1), 93-104.
- Cevik, T., & Ozyurt, F. (2015). Impacts of structural factors on energy consumption in cluster-based wireless sensor networks: a comprehensive analysis. *arXiv preprint arXiv:1512.03580*.
- Chamam, A., & Pierre, S. (2009). On the planning of wireless sensor networks: Energy-efficient clustering under the joint routing and coverage constraint. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 8(8), 1077-1086.
- Chen, S., Sinha, P., Shroff, N. B., & Joo, C. (2014). A simple asymptotically optimal joint energy allocation and routing scheme in rechargeable sensor networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 22(4), 1325-1336.
- Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2014). Performance evaluation of adaptive neural fuzzy inference system for sediment transport in sewers. *Water resources management*, 28(13), 4765-4779.
- El Khateb, A., Rahim, N. A., Selvaraj, J., & Uddin, M. N. (2014). Fuzzy-logic-controller-based SEPIC converter for maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(4), 2349-2358.
- Elbaşı, E., & Suat, Ö. (2012). *Secure data aggregation in wireless multimedia sensor networks via watermarking*. Paper presented at the Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2012 6th International Conference on.

- Emamgholizadeh, S., Moslemi, K., & Karami, G. (2014). Prediction the groundwater level of bastam plain (Iran) by artificial neural network (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Water resources management*, 28(15), 5433-5446.
- Ghaderi, M., Goeckel, D., Orda, A., & Dehghan, M. (2015). Minimum energy routing and jamming to thwart wireless network eavesdroppers. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14(7), 1433-1448.
- Guha, R. K., Gunter, C. A., & Sarkar, S. (2007). Fair coalitions for power-aware routing in wireless networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(2), 206-220.
- Gupta, H. P., Rao, S., Yadav, A. K., & Dutta, T. (2015). Geographic routing in clustered wireless sensor networks among obstacles. *IEEE Sensors Journal*, 15(5), 2984-2992.
- Gupta, S., & Bose, R. (2015). Energy-efficient joint routing and power allocation optimisation in bit error rate constrained multihop wireless networks. *IET communications*, 9(9), 1174-1181.
- Habibi, J., Ghrayeb, A., & Aghdam, A. G. (2013). Energy-efficient cooperative routing in wireless sensor networks: A mixed-integer optimization framework and explicit solution. *IEEE Transactions on Communications*, 61(8), 3424-3437.
- Hsu, C.-C., Liu, H.-H., Gómez, J. L. G., & Chou, C.-F. (2015). Delay-sensitive opportunistic routing for underwater sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 15(11), 6584-6591.
- Kamyabpour, N., & Hoang, D. B. (2011). Modeling overall energy consumption in Wireless Sensor Networks. *arXiv preprint arXiv:1112.5800*.
- Khouzani, M., & Sarkar, S. (2011). Maximum damage battery depletion attack in mobile sensor networks. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 56(10), 2358-2368.
- Kim, S.-J., Wang, X., & Madhian, M. (2007). Distributed joint routing and medium access control for lifetime maximization of wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 6(7).
- Li, C., Zou, J., Xiong, H., & Chen, C. W. (2011). Joint coding/routing optimization for distributed video sources in wireless visual sensor networks. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 21(2), 141-155.
- Lin, L., Shroff, N. B., & Srikant, R. (2007). Asymptotically optimal energy-aware routing for multihop wireless networks with renewable energy sources. *IEEE/ACM Transactions on networking*, 15(5), 1021-1034.

- Liu, T., Li, Q., & Liang, P. (2012). An energy-balancing clustering approach for gradient-based routing in wireless sensor networks. *Computer Communications*, 35(17), 2150-2161.
- Liu, X. (2012). A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 12(8), 11113. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/8/11113>.
- Logic, F. (2014). Foundations of fuzzy logic and semantic web languages.
- Long, J., Dong, M., Ota, K., & Liu, A. (2014). Achieving source location privacy and network lifetime maximization through tree-based diversionary routing in wireless sensor networks. *IEEE Access*, 2, 633-651.
- Luo, J., Hu, J., Wu, D., & Li, R. (2015). Opportunistic routing algorithm for relay node selection in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(1), 112-121.
- Luo, J., & Hubaux, J.-P. (2010). Joint sink mobility and routing to maximize the lifetime of wireless sensor networks: the case of constrained mobility. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 18(3), 871-884.
- Maddali, B. K. (2015). Core network supported multicast routing protocol for wireless sensor networks. *IET Wireless Sensor Systems*, 5(4), 175-182.
- Mann, P. S., & Singh, S. (2017). Improved metaheuristic based energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 57, 142-152.
- Mishra, B. K., & Keshri, N. (2013). Mathematical model on the transmission of worms in wireless sensor network. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4103-4111.
- Phan, K. T., Tellambura, C., Vorobyov, S. A., & Fan, R. (2008). Joint medium access control, routing and energy distribution in multi-hop wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7(12), 5244-5249.
- Ponnusamy, V. (2014). Energy analysis in Wireless Sensor Network: a comparison. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, 2(9), 328-338.
- Rahat, A. A., Everson, R. M., & Fieldsend, J. E. (2015). Hybrid evolutionary approaches to maximum lifetime routing and energy efficiency in sensor mesh networks. *Evolutionary computation*, 23(3), 481-507.
- Rana, A. (2017). Analyze Portrayl of SEP for KSA Using Matlab.

- Ravichandran, S., & Umamaheswari, M. (2015). Design and Development in Research of Adaptive Multipath Routing for Burden Harmonizing in MANET. *Asian Journal of Computer Science and Technology*, 4(2), 39-43.
- Sarkar, A., & Murugan, T. S. (2016). Routing protocols for wireless sensor networks: What the literature says? *Alexandria Engineering Journal*, 55(4), 3173-3183.
- Shah, S., & Beferull-Lozano, B. (2013). Joint sensor selection and multihop routing for distributed estimation in ad-hoc wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(24), 6355-6370.
- Shashank, A., Pratap, O. R., Kumar, S. P., & Goutam, S. (2016). Stability Analysis of SITR Model and Non Linear Dynamics in Wireless Sensor Network. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(28).
- Sood, P. (2018). A Fuzzy Logic Based Clustering Algorithm for Ksa to Extend the Network Lifetime. *Journal of Global Research in Computer Science*, 9(6), 19-25.
- Tang, D., Li, T., Ren, J., & Wu, J. (2015). Cost-aware secure routing (CASER) protocol design for wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(4), 960-973.
- Tang, S., & Li, W. (2011). An epidemic model with adaptive virus spread control for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Security and Networks*, 6(4), 201-210.
- Vaidyanathan, S., & Azar, A. T. (2016). Takagi-Sugeno fuzzy logic controller for Liu-Chen four-scroll chaotic system. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 4(2), 135-150.
- Valentini, G., Abbas, C. J. B., Villalba, L. G., & Astorga, L. (2010). Dynamic multi-objective routing algorithm: a multi-objective routing algorithm for the simple hybrid routing protocol on wireless sensor networks. *IET communications*, 4(14), 1732-1741.
- Wang, H., Peng, D., Wang, W., Sharif, H., & Chen, H.-H. (2008). Cross-layer routing optimization in multirate wireless sensor networks for distributed source coding based applications. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7(10).
- Yang, Y., Blum, R. S., & Sadler, B. M. (2009). Energy-efficient routing for signal detection in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 57(6), 2050-2063.
- Zhang, X., Wang, S., Zhao, Y., Xu, S., Wang, X., Gao, X., & Qiao, C. (2015). Multiobjective optimization for green network routing in game theoretical perspective. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(12), 2801-2814.

Zhou, H.-Y., Luo, D.-Y., Gao, Y., & Zuo, D.-C. (2011). Modeling of node energy consumption for wireless sensor networks. *Wireless Sensor Network*, 3(01), 18.

Zhu, X., Shen, L., & Yum, T.-S. P. (2009). Hausdorff clustering and minimum energy routing for wireless sensor networks. *IEEE transactions on vehicular technology*, 58(2), 990-997.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Akrm H. O. ALFIL  
Doğum Yeri ve Yılı : Tripoli, Libya, 05.01.1984  
Medeni Hali : Bekâr  
Yabancı Dili : İngilizce ve Türkçe  
E-posta : akrmhelal68@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : El-Hai El-Jeemihi Lisesi, Tripoli, Libya, 2003.  
Lisans : Ez Zeytune Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Bölümü, 2003-2009.

### Mesleki Deneyim

İş Yeri : Repsul Petrol Şirketi, Tripoli, Libya, 2012-devam.  
İş Yeri : El Huruuj Petrol Şirketi, Tripoli, Libya, 2009-2012.