



# **Kablosuz Çoklu Ortam Duyarga Ağlarında Gözetleme Uygulamaları için Füzyon-Tabanlı Çatı Tasarımı ve Geliştirilmesi**

**Program Kodu: 1001**

**Proje No: 114R082**

**Proje Yürütücüsü:**  
Prof. Dr. Adnan YAZICI

## **Arastirmacilar:**

Prof. Dr. Ahmet COŞAR  
Doç. Dr. Murat KOYUNCU  
Dr.Öğr.Üyesi Mustafa SERT  
Dr. Turgay YILMAZ

## ÖNSÖZ

Bu proje kapsamında, kablosuz çoklu ortam duyurga ağları için özellikle aşağıda verilen iki konuda çözüm üreten bir yaklaşım ve çatı (framework) geliştirilmesi amaçlanmıştır:

- **Halen kullanılan ağlara göre daha az enerji tüketen bir kablosuz duyurga ağı kümeleme algoritmasının geliştirilmesi:** Proje kapsamında yeni bir kümeleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, gözetleme uygulamaları da dahil olmak üzere uygulamadan bağımsız ve enerji-etkin çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritma, gerçek duyurga düğüm donanımları üzerinde de kolaylıkla çalışabilir nitelikte dağıtık ve hafif bir yapıda tasarlanmış eşit olmayan bir kümeleme yaklaşımı sergilemektedir. Tasarlanan kümeleme algoritması ile, çeşitli metotlarla konuşlandırılmış düğüm noktaları içeren kümelenebilir bir kablosuz duyurga ağdan, etkin olarak veri toplayabilecek kümelenebilir bir duyurga ağı elde edilebilmektedir. Kümeleme için uygun parametreler belirlenmiş ve bulanık mantık tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Kümeleme yarı çapı tespitinde ana istasyona uzaklık, düğüm noktası kalan enerjisi ve düğüm noktası göreceli bağlanabilirlik parametreleri, yönlendirme için ise link ortalama kalan enerjisi ve göreceli uzaklık parametreleri algoritma içerisinde kullanılmıştır.
- **Ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemlerin geliştirilmesi:** Duyurga düğümlerinden ana istasyona kadar üç seviyede değişik veri füzyon yöntemleri kullanarak nesne çıkarımı yapan ve bu sayede taşınan veri miktarını azaltarak duyurga ağın ömrünü uzatan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çerçevede, ilk seviyede PKÖ, sismik ve akustik duyurgalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Söz konusu skaler duyurgalardan gelen veriler füzyon işlemine sokularak duyurganın kontrol ettiği alanda insan ve araç gibi bir nesnenin olup olmadığı konusunda ilk karar oluşturulmaktadır. Bu karara göre ikinci seviyede çoklu ortam duyurgalarının (kamera ve mikrofon) uyandırılması gerçekleştirilmektedir. Kamera tarafından alınan görüntü ve mikrofon tarafından alınan ses işlenerek nesne tespiti yapılmaktadır. İkinci seviye füzyonu kapsamında görüntü ve sesteki çıkarılan bilgiler bir füzyon işleminden geçirilerek nesne sınıflandırılması doğruluk oranı artırılmaktadır. Duyurga düğümü üzerinde gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından üretilen özet bilgi ana istasyona iletilmektedir. Üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma işleminde farklı kiplerden elde edilen veriler ile kip içi ve kipler arası korelasyonlar da kullanılarak, daha gelişmiş bir tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem enerji ve kaynak kullanım maliyeti gerektirdiği için ana istasyonda yapılmaktadır.

Bu projenin özgün değeri, skaler duyurgalara ilave olarak çoklu ortam duyurgaları tarafından toplanan görüntü ve ses verilerinin duyurga düğümü içerisinde işlenerek ve füzyon edilerek potansiyel tehditlere yönelik anlamlı bilgiler üretilmesi ve bu sayede taşınacak verinin boyutunun azaltılması ile taşınacak verinin ağ üzerinde daha etkin taşınmasını sağlayan özgün kümeleme algoritmasının geliştirilmesinde yatmaktadır.

Proje öneri dokümanında yer alan planlı faaliyetlerin tamamı gerçekleştirilmiş ve proje başlangıcında hedeflenen noktaya ulaşılmıştır. Proje kapsamında, 6 adet uluslararası dergilerde (4 adet SCI-E, 1 adet SSCI, 1 adet ESCI indeksli) ve 9 adet konferanslarda (tamamı uluslararası konferans) olmak üzere toplam 15 adet yayın gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında projenin değişik süreçlerinde görev alan 6 doktora ve 2 lisansüstü öğrencisinin tez çalışmasına imkân sağlanmıştır (iki doktora tezi tamamlandı, altısı devam ediyor).

Bu proje, BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİNİ DESTEKLEME PROGRAMI kapsamında TÜBİTAK tarafından 114R082 kod numarasıyla desteklenmiştir.



# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	10
3.1 Sistem Mimarisi .....	10
3.2 Birinci Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları .....	13
3.3 İkinci Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları.....	14
3.3.1 Kamera Aktivasyonu, Görüntü Alınması, Öznitelik Çıkarılması ve Görüntü Verisinin Sınıflandırılması .....	14
3.3.2 Sismik/Titreşim Veri Toplama/Sınıflandırma .....	17
3.3.3 Akustik/Ses Veri Toplama/Sınıflandırma.....	18
3.3.4 İkinci Seviye Veri Füzyonu.....	21
3.4 Üçüncü Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları.....	23
3.4.1 Kip İçi ve Kipler Arası Bilgi Füzyonu Çalışmaları.....	24
3.4.2 Duyarga Ağı Simülasyonu, Büyük Veri Üretimi ve İşlenmesi Çalışmaları.....	34
3.4.3 Videodan İçerik Çıkarımı, Depolanması ve Sorgulanması Çalışmaları.....	35
3.5 Kümeleme Algoritmasının Geliştirilmesi.....	36
4. BULGULAR.....	52
5. SONUÇ.....	54

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Özellikler ve sınıflandırma metotları .....	15
Tablo 2. Sınıflandırma performansı ve doğruluk dereceleri .....	16
Tablo 3. Duyarga düğümü akım ölçümleri .....	16
Tablo 4. Sismik sensörü veri kümesi örnek sayıları .....	18
Tablo 5. Sismik sensör deney sonuçları .....	18
Tablo 6. Ses veri kümesi dağılımı.....	19
Tablo 7. İnsan, hayvan ve araç seslerinin akustik sınıflandırma başarımları.....	20
Tablo 8. Mikrofon veri kümesi örnek sayıları .....	20
Tablo 9. Akustik sensör deney sonuçları .....	20
Tablo 10. Füzyon test sonucu .....	23
Tablo 11. TRECVID 2011 veri kümesi özellikleri .....	32
Tablo 12. Test konfigürasyonları .....	33
Tablo 13. DFCA protokolünde uygulanan bulanık kurallar.....	39
Tablo 14. Kümeleme çalışmalarında yaygın kullanılan parametreler .....	44
Tablo 15. TTDFP birinci aşamada uygulanan bulanık kurallar.....	48
Tablo 16. TTDFP ikinci aşamada uygulanan bulanık kurallar .....	49

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Sistem mimarisi .....	11
Şekil 2. Sensör düğümünün önden görünüşü .....	12
Şekil 3. Birinci seviye veri füzyon ve kamera aktivasyon algoritması .....	13
Şekil 4. Uygulamada kullanılan algoritmalar .....	15
Şekil 5. Güç tüketimi test sonuçları .....	17
Şekil 6. Titreşim sensörü deney ortamı .....	17
Şekil 7. Mikrofonlu duyarga düğümü .....	21
Şekil 8. Duyarga düğümündeki ses uygulamasının akış şeması .....	22
Şekil 9. Ana uygulamanın yeni akışı .....	22
Şeki 10. Genel füzyon çerçevesi .....	24
Şekil 11. Kelime torbaları tabanlı füzyon için iş akışı .....	26
Şekil 12. Tek kip için ifade oluşturma algoritması .....	27
Şekil 13. Çok kipli ifade oluşturma algoritması .....	29
Şekil 14. Kipler arası analiz için örnek bir graf .....	31
Şekil 15. Tüm test konfigürasyonları için MAP karşılaştırması .....	33
Şekil 16. Tüm konseptler için MAP karşılaştırmaları .....	34
Şekil 17. DFCA protokolünün algoritması .....	38
Şekil 18. Kümeleme tur (round) sayısına göre FND – HND metrik değerleri .....	39
Şekil 19. Kümeleme tur (round) sayısına göre canlı (alive) düğüm noktası sayıları .....	40
Şekil 20. Kümeleme tur (round) sayısına göre toplam kalan enerji (TRE) değerleri .....	40
Şekil 21. Senaryo 1 test sonuçları .....	42
Şekil 22. Senaryo 2 test sonuçları .....	42
Şekil 23. Senaryo 3 test sonuçları .....	43
Şekil 24. Senaryo 4 test sonuçları .....	43
Şekil 25. Kümeleme algoritması .....	45
Şekil 26. Dağıtık bulanık kümeleme aşaması .....	47
Şekil 27. En iyileme yaklaşımı .....	47
Şekil 28. Bulanık yönlendirme aşaması .....	49
Şekil 29. TTDFP kullanılarak kümelenemiş ağın t anındaki Voronoi grafiği .....	50
Şekil 30. TTDFP algoritmasının diğer algoritmalarla karşılaştırması .....	51



## ÖZET

Bu projede, halen kullanılan ağlara göre daha az enerji tüketen bir kablosuz duyarga ağı kümeleme algoritmasının ve ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda, gerçek duyarga düğüm donanımları üzerinde kolaylıkla çalışabilir nitelikte dağıtık ve hafif bir yapıda ve eşit olmayan kümeleme yaklaşımı sergileyen bulanık mantık tabanlı yeni bir kümeleme algoritması geliştirilmiştir. Ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltmak ve doğruluk oranını artırmak konusunda ise duyarga düğümlerinden ana istasyona kadar üç seviyede değişik veri füzyon yöntemleri kullanarak nesne çıkarımı yapan ve bu sayede taşınan veri miktarını azaltarak duyarga ağın ömrünü uzatan bir yöntem geliştirilmiştir. İlk seviyede skaler duyargalardan gelen veriler füzyon işlemine sokularak duyarganın kontrol ettiği alanda bir nesnenin olup olmadığı konusunda ilk karar oluşturulmaktadır. İkinci seviye füzyonu kapsamında kamera tarafından alınan görüntü ve mikrofon tarafından kaydedilen sesten çıkarılan bilgiler tümleştirilerek nesne sınıflandırılma doğruluk oranı artırılmaktadır. Üretilen özet bilgi ana istasyona iletilmektedir. Ana istasyonda gerçekleştirilen üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma işleminde farklı kiplerden elde edilen veriler ile kip içi ve kipler arası korelasyonlar da kullanılarak, daha gelişmiş bir tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Üç yıl olarak başlatılan proje 3 aylık uzatmayla birlikte 39 ayda tamamlanmıştır. Projede, duyarga ağları, bulanık mantık ve çoklu ortam uygulamaları konusunda uzmanlaşmış beş araştırmacı görev almıştır. Proje kapsamında projenin değişik süreçlerinde görev alan 6 doktora ve 2 lisansüstü öğrencisinin tez çalışmasına imkân sağlanmıştır. Projede yapılan çalışmaların akademik dünyada önemli bir boşluğu doldurduğu değerlendirilmektedir. Proje sürecinde 6 adet dergilerde ve 9 adet konferanslarda olmak üzere toplam 15 adet yayın yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** çoklu ortam, bilgi füzyonu, sınıflandırma, kümeleme, bulanıklık, kablosuz duyarga ağlar



## ABSTRACT

In this project, a wireless sensor network clustering algorithm which consumes less energy than currently used networks and methods that increase the accuracy rate while reducing the amount of information to be transferred to the base station have been studied. In this context, a new distributed and lightweight fuzzy logic-based clustering algorithm with unequal clustering approach has been developed. In order to reduce the amount of information to be transferred to the base station and to increase the accuracy, a method extracting objects using data fusion methods at three different levels from sensor nodes to the base station and reducing the amount of data carried in this way has been developed to extend the lifetime of a sensor network. At the first level, the data from scalar sensors are fused to decide whether or not there is an object in the controlled area. In the context of the second level fusion, information extracted from visual and audio data are fused to increase object classification accuracy. In the third level fusion and classification process performed in the main station, a more advanced recognition process is performed using intra and inter-mode correlations between data obtained from different channels.

The project has been terminated in 39 months with a three-months extension. In the project, five researchers, who are experts on multimedia applications, fuzzy logic and wireless sensor networks, have been worked. An opportunity is provided for 6 PhD and 2 MS students, who have contributed to the project during different terms of the project, to work on and finish their thesis successfully. It is evaluated that the studies done in the project fill a big gap in the academic literature. During project, 6 journal papers and 9 international conference papers, which make 15 in total, are published.

**Keywords:** multimedia, information fusion, classification, clustering, fuzziness, wireless sensor networks

# 1. GİRİŞ

Son yıllarda, çoklu ortam verisinin Kablosuz Duyarga Ağ'larda toplanarak kullanılmasına olan ilgi birçok değişik uygulamada artmıştır. Bu ilgiye neden olan gelişmelerin başında duyarga teknolojileri konusunda kaydedilen ilerlemeler ve CMOS kamera gibi pahalı olmayan ve az enerji tüketen çoklu ortam içerik sağlayıcı duyargaların düğümlere entegre edilmesi sayılabilir. Böylelikle söz konusu duyarga ağlarda, çoklu ortam içeriğinin depolanması, işlenmesi, ilişkilendirilmesi ve füzyona tabi tutulabilmesi artık mümkün olmuştur. Çoklu ortam kabiliyetine sahip kablosuz duyarga ağlara, Kablosuz Çoklu Ortam Duyarga Ağı (KÇODA) denilmektedir. Gözetleme uygulamaları, akıllı şehirler ve evler, çevre izleme, hasta bakım ve kontrol tıp uygulamaları, güvenlik, komuta kontrol ve yangın tespit sistemleri KÇODA uygulamalarına verilebilecek bazı örneklerdir. Her ne kadar çoklu ortam içeriği bu tip ağlarda işlenebilir hale gelmiş olsa da çoklu ortam kablosuz duyarga ağların karşı karşıya kaldığı bazı kısıtlar söz konusudur. KÇODA'lar içerdikleri algılayıcı düğümlerin henüz kısıtlı hesaplama güçleri, küçük depolama kapasiteleri ve güç besleme kaynaklarının kısa ömürlü oluşu yönleriyle geleneksel ağ sistemlerinden farklılık göstermektedirler. Beklenen servis kalitesi ve gerçek ya da yakın gerçek zamanlı veri iletim ihtiyaçları da KÇODA'ların uygulamaları tarafından göz önüne alınması gereken problemlerdir.

Bu proje kapsamında, KÇODA'lardaki yukarıda bahsedilen problemleri çözen yeni bir yaklaşım ve çatı (framework) geliştirilmesi amaçlanmıştır. Projede iki ana konu üzerinde çalışılmıştır:

- **Halen kullanılan ağlara göre daha az enerji tüketen bir kablosuz duyarga ağı kümeleme algoritmasının geliştirilmesi:** Proje kapsamında yeni bir kümeleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, gözetleme uygulamaları da dahil olmak üzere uygulamadan bağımsız ve enerji-etkin çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritma, gerçek duyarga düğüm donanımları üzerinde de kolaylıkla çalışabilir nitelikte dağıtık ve hafif bir yapıda tasarlanmış eşit olmayan bir kümeleme yaklaşımı sergilemektedir. Tasarlanan kümeleme algoritması ile, çeşitli metotlarla konuşlandırılmış düğüm noktaları içeren kümelenmemiş bir kablosuz duyarga ağdan, etkin olarak veri toplayabilecek kümelenmiş bir duyarga ağı elde edilebilmektedir. Kümeleme için uygun parametreler belirlenmiş ve bulanık mantık tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Kümeleme yarı çapı tespitinde ana istasyona uzaklık, düğüm noktası kalan enerjisi ve düğüm noktası görelî bağlanabilirlik parametreleri, yönlendirme için ise link ortalama kalan enerjisi ve görelî uzaklık parametreleri algoritma içerisinde kullanılmıştır.
- **Ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemlerin geliştirilmesi:** Duyarga düğümlerinden ana istasyona kadar üç seviyede değişik veri füzyon yöntemleri kullanarak nesne çıkarımı yapan ve bu sayede taşınan veri miktarını azaltarak duyarga ağın ömrünü uzatan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çerçevede, ilk seviyede PKÖ (PIR), sismik (titreşim) ve akustik duyargalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. İlk seviyede söz konusu skaler duyargalardan gelen veriler füzyon işlemine sokularak duyarganın kontrol ettiği alanda insan ve araç gibi bir nesnenin olup olmadığı konusunda ilk karar oluşturulmaktadır. Bu karara göre bir sonraki seviyede çoklu ortam duyargalarının (kamera ve mikrofon) uyandırılması gerçekleştirilmektedir. Kamera tarafından alınan görüntü ve mikrofon tarafından alınan ses işlenerek kontrol edilen alandaki nesneyle ilgili daha doğru bilgiye ulaşılabilmektedir. İkinci seviye füzyonu kapsamında görüntü ve sesteki çıkarılan bilgiler bir füzyon işleminden geçirilerek nesne sınıflandırılması doğruluk oranı artırılmaktadır. Duyarga



düğümü üzerinde gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından üretilen özet bilgi ana istasyona Zigbee kablosuz protokolü ile iletilmektedir. Üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma işlemi ana istasyonda gerçekleştirilmektedir. Burada farklı kiplerden elde edilen veriler ile kip içi ve kipler arası korelasyonlar da kullanılarak, daha gelişmiş bir tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem enerji ve kaynak kullanım maliyeti gerektirdiği için ana istasyonda yapılmaktadır. Ayrıca, ana istasyona aktarılan büyük boyutlu sensör verilerinin modellenmesi, depolanması, sorgulanması, çoklu ortam verisinden anlamsal bilgi çıkarılması konularında da bazı çalışmalar yürütülmüştür.

Yukarıda özetlenen projemizi gerçekleştirmek üzere proje önerisinde sunulan iş-zaman çizelgesi birbirlerini takip eden veya birbirlerine paralel yürüyen yedi iş paketi (listesi aşağıdadır) olarak tanımlanmış ve proje bu plana uygun olarak yürütülmüştür.

- İş paketi 1- Hazırlık
- İş paketi 2- Birinci seviye füzyon ve sınıflandırma çalışmaları
- İş paketi 3 - İkinci seviye füzyon ve sınıflandırma çalışmaları
- İş paketi 4 – Kümeleme algoritmasının geliştirilmesi
- İş paketi 5 - Üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma çalışmaları
- İş paketi 6 – Donanım gerçekleştirilmesi ve test ortamının kurulması
- İş paketi 7 – Veri toplanması, çatı testleri ve iyileştirmeler

Proje sonunda, yukarıda verilen iş paketlerinin tamamı bitirilmiştir. Proje boyunca uluslararası dergi ve kongreler için makale ve bildiri hazırlama çalışmaları iş paketlerinden bağımsız sürekli bir faaliyet olarak yürütülmüştür. Gerekli birikim sağlandıkça yeni makale ve bildiriler üretilmiştir.

Proje konusuyla ilgili çalışmaları kapsayan bir literatür özeti bir sonraki bölümde verilmektedir. Proje kapsamında yapılan ayrıntılı Ar-Ge çalışmaları ve sağlanan ilerlemeler Gereç ve Yöntem bölümünde sunulmaktadır. Projede elde edilen sonuçlar Bulgular bölümünde özetlenmektedir. Sonuç bölümünde projenin genel değerlendirmesi yapılmakta ve bu çalışmanın devamı niteliğinde olası araştırma konuları irdelenmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### **Kablosuz çoklu ortam duyarga ağları ile oluşturulan gözetleme sistemleri:**

Kablosuz duyarga şebekelerine artan ilgi büyük ölçüde fiziksel ortamdan bilgi toplayıp basit işlemlere tabi tutan ve işlediği bilgiyi uzak merkezlere iletebilen küçük cihazları içeren büyük ölçekli gözetleme ağı uygulamalarına dayandırılabilir (Akyıldız, 2007). Akıllı bir gözetleme uygulaması geliştirilmesinde farklı aşamalarda çözülmesi gereken zorluklarla karşılaşılacaktır. Sistemi akıllı hale getiren sınıflandırma işlemi bunlardan birisidir. Çoklu ortam duyargalarını içeren akıllı gözetleme ağları üzerine yapılan araştırmaların birçoğunda tehdidin tespiti ve sınıflandırılması için farklı yaklaşımlar kullanıldığı görülmektedir. Lin ve Wei (2007) sokak ortamında üç sınıfla ilgilenen (araç, motosiklet, yaya), tespit ve sınıflandırma yapabilen bir gözetleme sistemi önermişlerdir. Sistem kapsamında tespit ve takip, tanıma ve sınıflandırma fonksiyonları gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma için en-boy

oranı ve yürüme hızı özelliklerinden faydalanılmıştır. Tespit ve takip için arka plan çıkarımı yöntemi tercih edilmiştir. Nesne sınıflandırma için ise en-boy oranı ile hız özellikleri kullanılmıştır. Kural tabanlı yapılan bu sınıflandırma işlemi sonucunda yaya için %87,5 motosiklet için %98,4, araç içinse %94 başarı sağlandığı görülmüştür. Ancak bu başarımın herhangi bir enerji kısıtlaması olmayan, trafik ışık direklerine monte edilmiş yüksek çözünürlükte sabit kamera görüntüleri kullanılarak elde edildiği unutulmamalıdır.

Boragno ve diğerleri (2008) ise video gözetleme uygulamalarını ortam bağımlı ve ortam bağımsız uygulamalar olarak ikiye ayırmıştır. Ortam bağımlı uygulamaların öğrenme aşamasında gözetlemeyi yapacak kameranın görüntüleri ile sistem eğitilirken ortam bağımsız uygulamada tespit edilmesi olası tüm sınıflar için sistem eğitilmiştir. Ortam bağımsız uygulama için en sık karşılaşılan dokuz nesne sınıfı üzerinde durulmuştur. Bunlar yaya, bisiklet, grup, kalabalık, araç, kamyonet, kamyon ve otobüs olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma için en, boy, en-boy oranı, alan, çevre-alan oranı ağırlık merkezinin yeri ve hız özellikleri kullanılmıştır. Farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak yapılan denemelerde öğrenmeye dayalı ortam bağımlı algoritmaların daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Sayısal video teknolojisinin ilerlemesi ile nesne sınıflandırmada en, boy, nesne şeklinin dağılımı gibi basit özelliklerin yanında daha detaylı özelliklerin de kullanımı mümkün hale gelmiştir. Bu detaylı özellikler sayesinde kameranın görüş açısındaki değişikliklere bağlı kalmaksızın sınıflandırma yapılması mümkün olabilmektedir. Brown (2004) çalışmasında belirli bir kamera açısına bağlı kalmaksızın sınıflandırma yapılması için bir yöntem önermiştir. Önerdiği yöntem ile nesnelerin insan ve araç sınıflarına ayrılmasını öngörmektedir. Sistem üç fazdan oluşmaktadır. Birinci fazda k-NN kullanılarak sınıflandırma yapılmaktadır. Bunun için dağınıklık, dağınıklığın zaman içindeki değişimi, elips eksenlerinin oranı ve ağırlık merkezi hız özelliklerinden faydalanılmaktadır. İkinci fazda özelliklerin normalizasyonu yapılarak gerekirse önceki özelliklerin normalize edilmiş halleri ilave özellikler olarak eklenmektedir. Son safhada da normalize edilmiş özelliklerin de dâhil olduğu nihai sınıflandırma yapılmaktadır. Yapılan testler sonucunda normalize edilmiş özelliklerin sistem doğruluğuna %5 oranında katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Büyük alanları kontrol edebilmek için yoğun insan müdahalesinin gerektiği durumlarda akıllı gözetleme kavramı bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Sun ve diğerleri (2011) çalışmalarında çoklu ortam ve sayısal duyargaların beraber kullanıldığı bir sınır kontrol sistemi önermişlerdir. Sistem üç katmandan oluşmaktadır. İlk katmanda kaynak kısıtı olan sismik/vibrasyon duyargaları yer almaktadır. İkinci katmanda ise daha güçlü ve çoklu ortam kabiliyetine sahip duyargalar yer alırlar. İlk katmandaki duyargalar elde ettikleri bilgileri işlemek için ikinci katmandaki duyargalara iletmektedirler. İkinci katmandaki duyargalar gelen verileri analiz ederek sonuçları uzak kullanıcılara iletmektedirler. Son katmanda ise insansız hava araçları ve robotlar yer almaktadır. Bunlar da üzerlerindeki kameralar vasıtası ile ilave kapsama alanı yaratmaktadırlar.

Çoklu ortam duyargaların kablosuz duyarga ağına entegre edildiği diğer bir çalışma da Chen ve diğerleri (2008) tarafından yapılmıştır. Konum bilgilerini tutan kablosuz duyargalar elde ettikleri verileri merkez sunucuya göndermektedirler. Merkez sunucu gelen bilgiler doğrultusunda ilgili kamera düğümünü uyararak görüntü alma işlemini başlatmaktadır. Duyarga düğümleri kendi aralarında, içinde sinyal şiddeti bilgisi de olan veri paketlerini paylaşmaktadırlar. Sinyal şiddeti en fazla olan duyarga düğümü olaya en yakın düğüm olarak seçilmekte ve sadece bu düğüm olay bilgisini merkez istasyona göndermektedir.

Kararlı ve değişmez özelliklerin gözetleme uygulamalarında nesne sınıflandırma kapsamında kullanılması bu alandaki bir başka sıcak konudur. Kim ve diğerleri (2012) mobil cihazlar üzerinde verimli bir şekilde çalışabilecek bir çoklu nesne tanıma yöntemi ortaya koymuşlardır. Çalışmaları kapsamında nesne sınıflandırma işlemi için SURF (Speeded Up Robust Features) algoritmasının çıkardığı tanımlayıcı bilgileri kullanmışlardır. Sınıflandırma işleminden önce sistem belirlenen nesne tiplerini tanıyabilmek için eğitilmiştir. Eğitim

setindeki nesnelerin ilgi noktalarına ait istatistiksel bilgiler çıkarılarak temsil edici ilgi noktaları tespit edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında tespit edilen nesneye ait ilgi noktaları eğitim setinde çıkarılan temsil eden ilgi noktaları ile karşılaştırılmıştır. Eşleşme oranı belirlenen bir eşiğin üstünde ise nesnenin sınıfı tespit edilmiş olmaktadır. Uygulamanın etkinliğinin artırılması amacıyla temsil edici ilgi noktalarına ağırlıklar atanmış ve bazı ilgi noktaları birleştirilmek suretiyle eşleşme süresinin düşürülmesi ve performansın artırılması amaçlanmıştır. Ağırlık kullanımının doğruluğu artırdığı buna karşılık birleştirme işleminin ise doğruluğu azalttığı tespit edilmiştir.

Gözetleme sistemlerinde nesne çıkarımı ile ilgili bir diğer çalışmada Singh ve diğerleri (2009), ikili arka plan yöntemi kullanarak izlenecek nesneyi tespit etmeye çalışmışlardır. Bu sayede kameranın görüş açısındaki terk edilmiş nesnelerin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. İstatistiksel olarak güncel tutulan arka plan görüntüsüne ilaveten zaman geçtikçe arka planın parçası olan nesneler için ayrı bir arka plan görüntüsü tutulmuş ve iki arka planın farkı ile terk edilmiş nesnelerin ortaya çıkarılması sağlanmıştır. PETS ve AVSS veri setleri ile yapılan testler sonucunda terk edilmiş nesnelerin tespiti için %82,5 oranında başarı sağlanmıştır.

Zheng ve diğerleri (2009) yaptıkları çalışmada video gözetleme sistemlerinde hareket eden nesneler için çerçeve çıkarımı ve bölge birleştirmeye dayalı bir yöntem önermişlerdir. Çerçeve çıkarımı sonunda elde edilen fark resminde morfolojik görüntü işlemleri uygulanarak temizlenmesi sağlanmış, bu işlemler ard arda iki defa uygulanmak suretiyle hareket eden nesnelerin en kararlı şekillerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Ağırlık merkezleri birbirlerine yakın olan bölgelerin birleştirilmesi yoluyla tek bir nesne görüntüsü elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çoklu ortam duyarga gözetleme ağı kapsamında, donanım tasarımı içeren çalışmalar arasında en dikkat çekici örneklerden biri Kandhalu ve diğerlerinin (2009) çalışmasıdır. Çalışma kapsamında Blackfin Core Modülü tabanlı bir duyarga düğümü oluşturulmuş, farklı iletişim ara yüzleri ile bu duyarga düğümü duyarga ağına ve ana istasyona bağlanmıştır. Duyarga düğümü üzerine yerleştirilen kamera vasıtası ile elde ettiği görüntü mikro işlemci ile işlenerek sonuçların XML formatında merkeze iletilmesi sağlanmıştır. Ayrıca düğüm ile bütünleştirilen FireFly platformu vasıtası ile sayısal duyarga ağına bağlanılmış ve buradan gelen bilgilerin de bir ağ geçidi gibi merkeze iletilmesi temin edilmiştir. Nesne tespiti için arka plan çıkarımı kullanılmış olmasına rağmen nesne sınıflandırma için kullanılan yöntemle ilgili detaylı bilgi bu yayın metninde verilmemiştir.

Seema ve diğerleri (2011) farklı araştırma merkezlerinde geliştirilen kablosuz çoklu ortam duyarga platformlarını inceleyip belirledikleri kıstaslara göre kıyaslamasını yapan bir derleme çalışması yayınlamışlardır. Çalışma kapsamında duyarga platformlarını genel amaçlı platformlar, özel amaçlı platformlar ve dışa bağımlı platformlar olarak 3 ana grupta toplamışlardır. Her bir gruba ait seçilen platformları kendi içlerinde esneklik, işlemci, güç, hafıza/depolama, I/O, iletişim, çoklu ortam yetenekleri, işletim sistemi ve maliyet kıstaslarına göre değerlendirmişlerdir.

Öztaarak ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışma kapsamında video duyargası tarafından alınan görüntüden çerçeve farkı (frame differencing) yöntemi ile hareket eden nesnelerin çıkarımı ve en-boy oranına dayanan, insan, araç ve hayvanlar için kural tabanlı bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca kameranın odak uzaklığına ve sınıflandırılan nesnenin ortalama boy bilgisine dayanan nesnenin yer tespiti (localization) işlemi de gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan bir ana merkezde çoklu ortam duyargalarından gelen veriler birleştirilerek nesne izleme ve alarm üretimi fonksiyonları yerine getirilmiş, önerilen yöntemler ve geliştirilen algoritmalar benzetim ortamında test edilerek sistemin doğruluğu yanında enerji tüketim durumu da çalışma sonuçlarında sunulmuştur.

Başka bir çalışmada, Alhilal ve diğerleri (2014) çoklu ortam duyargalarında görüntü tabanlı nesne tanımlaması için nesne şekil özelliklerini kullanan bir yaklaşım önermektedir. Çalışma,

görüntü işleme teknikleri kullanarak hedef nesnelere tanımlamak ve kullanıcılara bildirmek için karmaşıklık seviyesi düşük basit bir yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Önerilen yöntem mikro denetleyiciler için bir emülatör olan WinAVR'de uygulanmıştır. Yazarlar, yöntemlerinin görüntü aktarımına kıyasla düşük güçle çalışmayı sürdürürken belirli hedefleri tanımlama için yüksek performans gösterdiğini iddia etmektedir.

Ur Rehman ve diğerleri (2016) çoklu ortam duyuraya ağırları için bir nesne varlığı algılama ve görüntü aktarımı yaklaşımı önermektedir. Bir sahnede nesne algılama için olasılıksal bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bir nesnenin varlığı tespit edildiğinde, sadece nesneyi içeren alan 2D-DWT kodlaması kullanılarak gönderilir. Önerilen yaklaşım simüle edilmiştir ve yazarlar önerilen yaklaşımın düğüm enerjisinin %95'ini koruduğunu iddia etmektedir.

Redondi ve diğerleri (2016) Video Sensör Ağları bağlamında geleneksel "Compress-then-Analyze (CTA)" paradigması yerine "Analyze-then-Compress (ATC)" paradigmasının başarısını ortaya koyan bir yöntem önermektedir. Çalışmalarında, BeagleBone bilgisayarı bir Logitech USB kamera ile donatılmış görsel duyuraya düğümü olarak kullanıyorlar. Duyuraya düğümü, görsel içeriği sıkıştırılabilir ve ardından IEEE 802.15.4 arabirimi üzerinden merkezi bir toplayıcıya iletebilir veya ilgili öznelikleri çıkarabilir ve yalnızca bu öznelikleri iletebilir. Çalışma, ATC paradigmasının elde edilen kare hızı açısından geleneksel CTA paradigmasını geride bıraktığını ve görsel analiz görevleri açısından aynı performansı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, bu projede de tercih edilen çoklu ortam duyuraya ağırları için düğüm içi işlem (in-node processing) yaklaşımının seçimini desteklemektedir.

Bir KÇODA, kameralar ve/veya mikrofonlarla donatılmış bir cihaz topluluğu olarak tanımlanmasına rağmen, literatürde mevcut çalışmalar daha çok görsel veri üzerinde odaklanmış görünmektedir. Ses verisini kullanan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Örnek bir çalışmada Singh ve diğerleri (2018) baltanın akustik deseninin yardımı ile bir ormandaki ağaç kesme olayını saptama üzerine çalışmışlardır. Önerilen sistemde duyuraya düğümleri ormana dağıtılmadan önce farklı sesler için eğitilirler. Olay algılama aşamasında, duyuraya düğümü ilk önce arka planı filtrelemek için sinyali işler. Daha sonra eğitim aşamasında seçilen özelliklere dayanarak akustik desenler sınıflandırılır. Çalışmada, k-NN, Gizli Markov Modeli ve Destek Vektör Makinesi gibi farklı sınıflandırıcılar performansları açısından karşılaştırılmaktadır.

### **Veri füzyonu ile ilgili çalışmalar:**

Poje kapsamında duyuraya ağırları üzerinde füzyon yardımıyla nesne tanıma yapılmaktadır. Projenin füzyon yaklaşımı aslında çok kipli bilgi füzyonu ile örtüşmekte ve bu amaçla duyuragardan elde edilen veriler ancak özneliklere dönüştürüldükten sonra ve sınıflandırma öncesinde ve sonrasında füzyon operasyonları gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda, bu bölümde bilgi füzyonu hakkında genel bir değerlendirmeye ek olarak çok kipli bilgi füzyonu hakkında da kısa bir literatür analizi verilmiştir.

Örüntü tanıma literatüründeki erken zamanlardaki çalışmalar daha çok başarılı bir sınıflandırıcı tasarlanması üzerine iken, daha sonraları birden fazla sayıda sınıflandırıcı ile daha küçük boyutlu verileri daha yüksek performansla sınıflandırıp sonuçlarını birleştirmenin daha başarılı sonuçlar verebileceği fikri ortaya atılmış ve böylece bilgi füzyonu çalışmaları ortaya çıkmıştır (Xu vd., 1992). Füzyon çalışmalarının ilk örneklerine, 1960'larda, yapay sinir ağırları literatüründe rastlanır (Kludas vd., 2009). 2000'lere kadar ortaya konmuş çalışmalar genellikle çok sayıda sınıflandırıcının sonuçlarının birleştirilmesini amaçlamış (Kittler vd., 1998), çok kipliliği dikkate almamış (Kludas vd., 2007) ve yalnızca tek bir özneliği farklı sınıflandırıcılarla kullanıp tümleştirme operasyonu yapmışlardır (Kittler vd., 1998). Daha sonraları farklı sınıflandırıcıların farklı özneliklerle kullanılmasının daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur (Duin ve Tax, 2000; Kittler vd., 1998; Kuncheva, 2002). 2000'lerde ve sonrasında bilgi füzyonu alanı daha ilgi çekici hale gelmiş, hatta bu alana özel dergiler yayınlanmaya, düzenli çalıştaylar ve konferanslar düzenlenmeye başlanmıştır. Füzyon alanındaki güncel çalışmalarda füzyon kavramı sınıflandırıcıların birleştirilmesinden bilginin

birleştirilmesine (tümleştirilmesine) kaymıştır. Burada “bilgi” ile ifade edilen, ham veri, öznitelikler, kipler (modaliteler) olabileceği gibi, sınıflandırma işlemi sonrasında elde edilen sıralama, sınıflandırma sonucu (karar) da olabilmektedir. Füzyonun popülerliğine ve çok kipli bilgilerin (en güzel örneği çoklu ortam verilerdir) günlük hayatta kullanımının artmasına paralel olarak, çok kiplilik ve çok kipli verilerin tümleştirilmesi de önem kazanmaya başlamıştır (Poh ve Kittler, 2010; Snoek vd., 2005). Ek olarak, 2000'lere kadar olan çalışmalar genellikle birbirini tamamlayıcı (complementary) bilgilerin tümleştirilmesi üzerine yoğunlaşmışken, 2000'den sonra birbiriyle ilintili (correlated) / birbirine bağımlı (dependent) / tekrarlı (redundant) verilerin de füzyonda katkı sağlayabileceği ortaya konmuş ve bunlar üzerine çalışmalar yapılmıştır (Kludas, 2007; Kludas vd., 2009).

Bilgi füzyonu yöntemleri, hangi aşamada yapıldıklarına göre iki grupta incelenmektedir: Erken Füzyon (Early Fusion) ve Geç Füzyon (Late Fusion) (Jiang vd., 2013). Her ne kadar erken füzyonun gerçek anlamı özniteliklerin bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmeden önce herhangi bir yöntemle tümleştirilmesi olsa da, literatürde sıklıkla mevcut tüm özniteliklerin tek bir öznitelik vektörü içerisinde birleştirilmesi anlamında da kullanılmaktadır. Benzer şekilde geç füzyonun gerçek anlamı da sınıflandırma işlemi gerçekleştirildikten sonra, sınıflandırma sonuçlarının tümleştirilmesi olmasına rağmen, en sık kullanılan geç füzyon yöntemi olan doğrusal ağırlıklı ortalama yöntemi, geç füzyon ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar erken ve geç füzyon arasında açık bir tercih ilan edememektedir, yine de erken füzyon öznitelik vektörlerinin çok boyutlu olması durumunda boyutluluk sorunu (curse of dimensionality) olabildiğinden ve geç füzyonun uygulanması kolay olduğundan, geç füzyon yöntemi daha fazla ilgi çekmekte ve kullanılmaktadır (Jiang vd., 2013). Fakat geç füzyon yönteminde de kullanılacak ağırlıkların tespiti önemli bir sorun olarak ortaya çıkabilmekte, doğru ağırlıklar kullanılmadığında füzyon sonucu katkı elde edilememektedir. Ağırlıkların tespiti için yapılmış bazı başarılı çalışmalar şunlardır: (Fumera ve Roli, 2005; Huang vd., 2013; Jiang vd., 2011; Wu vd., 2004; Yılmaz vd., 2014).

Çok kipli füzyon üzerine yapılan çalışmalar, birleştirme aşamasında kullanılan yöntem açısından incelendiğinde, temel olarak 3 ana grup altında toplanabilir (Atrey, 2010): Kural tabanlı (Rule-based) füzyon yöntemleri, sınıflandırma tabanlı füzyon yöntemleri ve tahmin tabanlı (Estimation-based) füzyon yöntemleri.

Kural tabanlı yöntemler, çok kipli bilgiyi tümleştirmek için bazı ön tanımlı kuralları kullanırlar. Bu tipteki yöntemler basit, fakat basitliğine rağmen makul bir başarı oranı sağladığından, en sık kullanılan yöntemler olmuşlardır. Bu yöntemlerin en sık kullanılanları, Doğrusal Ağırlıklı Ortalama (Linear Weighted Fusion), MAX, MIN, AND, OR ve Oy Çokluğu (Majority Voting) yöntemleridir (Atrey, 2010). Mevcut çalışmalardan bazıları şunlardır: Wang ve diğerleri (2003) tarafından yapılan çalışmada, kişi izleme/takip için videodaki renk, hareket ve doku kipleri kullanılmış ve Doğrusal Ağırlıklı Ortalama yöntemiyle birleştirilmiştir. Doğrusal Ağırlık Ortalama yöntemini kullanan başka bir çalışma da Kankanhalli ve diğerlerinin (2006) çalışmasıdır. Bu çalışmada da videodaki renk, hareket ve doku kipleri kullanılmıştır. Çalışma, trafik izleme, yüz tanıma ve kişi tespiti amacıyla yapılmıştır. Yan ve arkadaşları (2004) aynı yöntemle videodaki metin (altyazı, video OCR), ses, görüntü (renk, kenar, doku) ve hareket kiplerini birleştirmiş ve bu yöntemi video erişim sistemleri için kullanmışlardır. Oy Çokluğu yöntemini kullanan çalışmalara örnek olarak ise Radova ve Psutka (1997)'nin çalışması örnek gösterilebilir. Bu çalışmada, farklı ses kaynakları tümleştirilerek konuşmacı tanıma üzerine çalışılmıştır.

Sınıflandırma tabanlı yöntemler, çok kipli veriyi tümleştirmek için çeşitli sınıflandırıcıları kullanır. Bu yöntemlerin en sık kullanılanları, Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines), Bayes Çıkarımı (Bayesian inference), Dempster-Shafer teorisi, Dinamik Bayesian Ağları (Dynamic Bayesian networks), Yapay Sinir Ağları (Neural Networks) ve Maksimum Entropi Modeli (Maximum Entropy Model)'dir. Destek Vektör Makineleri'nin kullanıldığı bazı çalışmalar şunlardır: Adams ve diğerleri (2003) mantıksal kavram tanıma amacıyla yaptıkları çalışmada görsel (renk ve şekil), ses (MFCC) ve metin kiplerini Destek

Vektör Makinesi sınıflandırıcıyla birleştirmiştir. Benzer şekilde, Wu ve diğerleri (2004) görüntü ve ses kiplerini birleştirerek çoklu ortam veri analizi gerçekleştirmiştir. Aguilar ve diğerleri (2003) ise yine aynı füzyon yöntemiyle, biyometrik doğrulama amacıyla parmak izi, imza, yüz gibi çeşitli biyometrik kipleri birleştirmişlerdir. Xu ve Chua (2006) ile Atrey ve diğerleri (2006) ise çalışmalarında Bayes çıkarımı yöntemi ile tümleştirme yapmayı tercih etmişlerdir. Xu ve Chua (2006) ses, görüntü ve metin kiplerini kullanarak video analizi yapmıştır. Atrey ve diğerleri (2006) ses (ZCR, LPC, LFCC) ve görüntü (nesne konumu ve alanı) bilgilerini, gözetleme amaçlı olay tespiti için birleştirmişlerdir. Dempster–Shafer teorisini kullanan çalışmalara örnek olarak ise Guirouet ve diğerlerinin (2005) yaptığı çalışma verilebilir. Bu çalışmada, ses ve görsel kipler video sınıflandırması yapmak için kullanılmıştır. Bir diğer popüler yöntem olan Dinamik Bayesian Ağları yöntemi için ise, Beal ve diğerlerinin (2003) nesne izleme/takibi için ses ve görüntü kipleri birleştirdikleri çalışma, Wang ve diğerlerinin (2000) video sınıflandırması için ses (cepstral vector), görsel (gri-seviyeleri histogram farkları ve hareket öznitelikleri) kipleri birleştirdikleri çalışma, Chaisorn ve diğerlerinin (2003) ses (MFCC ve algısal öznitelikler) ve görüntü (renk, yüz, video metinleri ve hareket) kiplerini tümleştirerek, haber videolarında hikâye bölütlemesi yaptıkları çalışma ve Town'un (2007) insan izleme/takibi için görüntü ve ultrasonic duyargalardan elde edilen kipleri kullandığı çalışma örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak, Zou ve Bhanu (2005) ve Gandetto ve diğerleri (2003) tümleştirme için Yapay Sinir Ağları yöntemini, Magalhaes ve Ruger (2007) de Maksimum Entropi Modelini tercih etmişlerdir. Zou ve Bhanu (2005), insan izleme/takip için yaptıkları çalışmada ses ve görüntü kiplerini birleştirirken, Gandetto ve diğerleri (2003) ise bilgisayar kullanan insanların aktivitelerini izlemek için bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu doğrultuda işlemci yükü, network yükü, kamera görüntüleri, oturma açma bilgileri gibi kipleri kullanmışlardır. Maksimum Entropy Modelini kullanan Magalhaes ve Ruger (2007) ise mantıksal görüntü indeksleme için metin ve görüntü kiplerini kullanmışlardır.

Tahmin tabanlı yöntemler ise, genellikle çok kipli veri kullanılarak hareket eden nesnelerin durumlarını daha iyi tahmin etmek için kullanılır. En sık kullanılan yöntemler, Kalman süzgeci ve Parçacık Süzgeci füzyon metotlarıdır (Atrey vd., 2010). Kalman süzgeci yöntemi için Zhou ve Aggarwal'ın (2006) insan ve taşıtları takip/izleme için yaptıkları ve videodan çıkardıkları uzamsal pozisyon, şekil ve renk kipleri tümleştirdikleri çalışma ile Talantzis ve diğerlerinin (2006) yaptığı, ses (DOA) ve görsel (pozisyon, hız, hedef boyutu) kipleri birleştirerek insan takip/izleme yaptıkları çalışma örnek olarak verilebilir. Parçacık Süzgeci yöntemi için ise Zotkin ve diğerlerinin (2002) gerçekleştirdiği konuşmacı takibi amaçlı çalışma örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada, ses (TDOA), görüntü (deri rengi, şekil ve renk histogramları) kipleri tümleştirilmiştir.

Yukarıda özetlenen literatür çalışmalarından çıkarılan en açık sonuç, otomatik bilgi çıkarımı için birden fazla kaynağın/kipin kullanılması durumunda doğruluk oranının arttığıdır. Bu nedenle temel olarak gözetleme amacına sahip olan projemizde, birbirinden farklı tipte duyargalar dâhil edilmekte ve bu duyargalardan elde edilen bilgilerin tümleştirilmesiyle daha etkin tanıma ve bilgi çıkarımı yapılmaktadır. Buna ek olarak, verilen çalışmalardan çıkarılabilecek diğer bir sonuç da çalışmaların genellikle tek bir aşamada tümleştirme işlemini gerçekleştirdiğidir. Diğer bir deyişle, çalışmalarda ya erken füzyon ya da geç füzyon kullanılmaktadır. Projemiz kapsamında hem erken ve hem de geç füzyonun, uygulama işleyişinin farklı aşamalarında kullanılmıştır. Projemizde önerilen çözümün literatürdeki çalışmalardan ayrıştığı diğer bir nokta ise, mevcut çok kipli füzyon çalışmalarında genellikle ya birbirini tamamlayıcı (complementary) ya da birbiriyle ilintili (correlated) / birbirine bağımlı (dependent) / tekrarlı (redundant) verilerin kullanılıyor olması, projemizde ise her iki tipteki verilerden de füzyon aşamasında katkı sağlanabilmesi amacıyla füzyon çerçevesinin buna uygun olarak tasarlanmasıdır.

## Kablosuz duyurga ağlarda kümeleme yaklaşım ve algoritmaları:

Kablosuz duyurga ağlarda kullanılan kümeleme yaklaşım ve algoritmaları, kümeleme yarıçapları eşit (equal) olan ve eşit olmayan (unequal/uneven) olmak üzere temelde ikiye ayrılmaktadır. Sınıflandırmadaki bu isimlendirme, algoritmaların işleyişi sonucunda ortaya çıkan kümelerin büyüklüğü ile ilgilidir. Eşit kümelemede, oluşan kümelerin şekil ve menzili yaklaşık olarak aynıdır ve bu kümeleme şeklinde literatürde sıcak noktalar (hotspots) olarak bilinen problem ortaya çıkmaktadır. Bu problem, ana istasyona yakın olan küme başlarının (cluster head), üzerinden aktarılan yoğun trafik dolayısıyla erken ölümünü (pilin bitmesini) ifade etmektedir. Bu probleme çözüm olarak önerilen eşit olmayan kümeleme algoritmalarında ise oluşturulan kümelerin şekil ve menzilleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bunun yanı sıra bu tip ağlarda düğüm noktalarının ilk konuşlandırma yerleri, istemli veya istemsiz sebeplerle değişebilmektedir. Düğüm noktalarının yerleri zaman içerisinde değişebilen bu tip özel duyurga ağlara *evrim geçiren ağlar* denilmektedir. Bu tip özel ağlardaki yer değişikliğinden ötürü kümeleme algoritmalarının bu değişkenliği göz önüne alınması sonucu veri toplanamayan ve iletilemeyen alanlar oluştuğu tespit edilmiştir. Gözetleme uygulamaları alanında canlı düğüm noktası sayısının çok olması, ilgilenilen alanın kesintisiz gözetlenmesini sağlayacağından ve böylelikle ağın kullanım ömrü uzayacağından, eşit olmayan kümeleme algoritmalarının kullanılmasının gerekliliği açıktır. Kümeleme algoritmaları konusunda literatür taraması niteliğinde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Abbasi ve Younis, 2007; Younis vd., 2006). Bu çalışmalarda mevcut algoritmalar özelliklerine göre detaylı olarak incelenmiştir. İncelenen algoritmalarından dikkat çekici olanlar aşağıdaki paragraflarda sunulmuştur.

Kümeleme algoritmaları arasında en bilineni Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) algoritmasıdır (Heinzelman vd., 2000). LEACH, Küme Başı (KB) seçiminde yerel kararları göz önüne alan dağıtık bir algoritmadır. Olasılık modelini temel alarak KB seçimini gerçekleştirir ve KB'larını enerji tüketimini dengelemek adına periyodik olarak değiştirir. Düğüm noktalarının dağılımını ve her bir düğümde kalan enerjiyi göz önüne almaması nedeniyle ağ ömrü açısından verimli bir algoritma değildir.

Düğümlerin eşitliği ilkesini temel varsayım olarak görüp çok atlamalı (multi-hop) ağlar için tasarlanan bir diğer algoritma Hybrid Energy-Efficient Distributed (HEED) algoritmasıdır (Younis ve Fahmy, 2004). KB seçiminde iki aşamalı parametre kontrolü yapılmaktadır. İlk aşamada olasılıksal KB seçiminde düğüm noktasının kalan enerjisi göz önüne alınmaktadır. İlk safhada beraberlik oluşur ise, düğüm derecesi, komşulara uzaklık ve küme içi enerji tüketimi gibi ikinci safha parametreler kontrol edilir. Yeni konuşlandırılan duyurga ağların kümelenebilmesi için, iyi bir kümelenebilmenin kısıtlı bir ağ modeli için etkin olarak hesaplanabilirliği Khun ve diğerleri (2004) tarafından savunulmuştur. Bu çalışmada bir düğüm noktasının KB olarak seçilebilmesinin düğüm noktasının bağlanabilirliği (connectivity) ile ilişkili olduğu vurgulanmış ve bu nedenle KB olmak için iyi aday olan baskın düğüm noktaları bulunmaya çalışılmıştır.

Kablosuz duyurga ağlarda periyodik veri toplama uygulamaları için ise Energy Efficient Clustering Scheme (EECS) algoritması önerilmiştir (Ye vd., 2005). LEACH benzeri bir protokol olan EECS, sabit sayıdaki KB seçiminde düğüm noktasının kalan enerji verisini kullanmaktadır; ancak, küme oluşturma safhasında yük tüm KB'ler üzerinde dengelenmektedir. EECS dağıtık bir mimari sergilemekte olup yapılan deneysel karşılaştırmalarda LEACH algoritmasına göre %35 daha enerji-etkin olduğu gösterilmiştir.

EEUC (Energy-Efficient Unequal Clustering) (Li vd., 2005) dağıtık çalışan, eşit olmayan bir kümeleme algoritmasıdır. Algoritmada her düğüm noktası önceden atanmış bir yarışma yarıçapına sahiptir ve KB'ları yerel yarışma esasına göre seçilmektedir. Düğüm noktası yarışma yarıçapı ana istasyona yaklaştıkça azalmaktadır. Eşit olmayan bir kümeleme algoritması olmasına ilave olarak, her kümeleme turunda düğüm noktaları KB seçim

mücadelesine katılma ya da katılmama yönünde olasılıksal bir yaklaşım sergilediği için aynı zamanda olasılıksal (random) bir yaklaşımdır.

Kümeleme olgusunda çok-amaçlı (multi-objective) iyileme sağlayacak yaklaşımlar da denenmiştir ve Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) (Ali vd., 2012) algoritması bunlardan biridir. Bu algortmada hem küme sayısı hem de ağ içerisinde enerji tüketimi optimize edilmeye çalışılmıştır. Düğüm noktalarının dereceleri, düğümün yayın gönderme gücü ve düğüm noktalarının kalan batarya enerjileri bu işlem için kümeleme algoritmasında kullanılan üç parametredir.

Diğer bir çalışmada, düğüm noktalarının bağlanabilirlik (birbiri ile haberleşme menziline) temeline dayalı olarak LEACH protokolü üzerinde iyileştirme sağlayacak olan Density-Based Clustering Protocol (DBCP) algoritması literatüre tanıtılmıştır (Qiao, 2009). Bu protokolde, düğüm noktalarının göreceli yoğunluğu KB seçiminde bir metrik olarak tanıtılmıştır. KB seçim turlarında yoğun (dense) alanlar içerisinde yer alan düğüm noktaları daha büyük oranda KB olarak seçilme olasılığına sahiptir.

Xu vd. (2013) tarafından sunulan Density-based Energy-efficient Clustering Algorithm (DECA) protokolü her düğüm noktasının yoğunluğunu tanımlamakta ve bu veriyi düğüm noktalarının kalan enerjisi ile birlikte KB seçiminde kullanmaktadır. Tüm bu kümeleme algortmalarında en iyi KB seçimi üzerinde durulduğu açıktır. Bunun sebebi, her seçim turunda KB enerji-etkin ve mümkün olduğunca uygun düğüm noktası olarak seçilir ise, şebeke içerisinde enerji tüketimi azaltılabilecek ve böylelikle tüketim tüm şebeke içerisinde dengelenebilecektir.

Kablosuz duyurga ağlarda karşılaşılan seçilen kümeleme parametrelerindeki anlamsal belirsizlikler (uzak düğümler, az enerjisi olan düğümler gibi) nedeniyle, bazı çalışmalarda (Bağcı ve Yazıcı, 2013; Gupta vd., 2005; Kim vd., 2008) kümeleme algortmalarına bulanık verileri işleme yeteneği kazandırma yoluna gidilmiştir. Bu yaklaşımlarda bulanık mantık, büyük çoğunlukla giriş parametrelerinin daha iyi bir kombinasyonunu oluşturarak en iyi (optimum) bir çıktı, kümeleme bağlamında KB seçimi, elde etmede kullanılmaktadır. Gupta ve diğerleri (2005) tarafından izlenen yaklaşımda, KB seçimi üç giriş parametresi göz önüne alınarak ana istasyonda gerçekleştirilmektedir. Bu durum protokolü merkezi (centralized) bir algortma yapmaktadır. CHEF (Cluster Head Election using Fuzzy logic) (Kim vd., 2008) algortması, Gupta vd. (2005) çalışması ile benzerlik göstermekte, fakat burada KB seçimi, ana istasyonun merkezi kontrolüne gerek duymadan dağıtık bir şekilde yapılmaktadır. Bu algortmada, düğüm noktası enerjisi ve yerel uzaklık kullanılan iki giriş parametresidir.

Tek metriğe (kritere) dayalı KB seçiminin uygun bir sonuç üretmemesi üzerine sıcak noktalar problemine çözüm olması ve duyurga ağların kullanım ömrünü uzatması maksatlarıyla Energy-Aware Unequal Clustering with Fuzzy (EAUCF) algortması Bağcı ve Yazıcı (2013) tarafından literatüre kazandırılmıştır. EAUCF bulanık mantık kullanan ve eşit olmayan bir düğüm kümeleme algortmasıdır. EAUCF da kullanılan parametreler düğüm noktalarının kalan enerjileri ve ana istasyona olan uzaklıktır.

Bir başka ilgili çalışma, KÇODA'ların ömrünü uzatmak için süper KB'ları kullanan bulanık mantık tabanlı bir kümeleme algortmasıdır (Nayak ve Devulapalli, 2016). Burada, bir süper KB, küme başları arasından seçilir ve sadece bu süper KB paketleri ana istasyona gönderebilir. Bununla birlikte, doğrudan iletişim için tasarlanmıştır ve karşılaştırmalar sadece LEACH'e karşı yapılmıştır.



## 3. GEREÇ VE YÖNTEM

### 3.1 Sistem Mimarisi

Bu projede önerilen mimari, dış mekân uygulamaları için kablosuz çoklu ortam duyargaları ve skaler duyargalardan oluşan çok katmanlı bir otomatik gözetleme sistemidir. Sistemin mimari yapısı Şekil 1’de verilmektedir. Düğüm seviyesinde sistem iki katmandan oluşmaktadır. İlk katman akustik, titreşim ve hareket algılama kapasitesine sahip skaler duyargaları içermektedir. Bu katman, video işleme yeteneğine sahip çoklu ortam duyargalarından oluşan ikinci katmanı aktifleştirmektedir.

Düğüm noktasında yapılan ilk operasyon gözetleme alanına giren nesnenin skaler duyargalar tarafından tespit edilmesi ve sonrasında çoklu ortam duyargalarının aktifleştirilmesidir. Skaler duyargalar, duyarga düğümüne dijital sinyaller sağlarlar. Skaler duyargalardan gelen sinyaller kural tabanlı karar verme işleminde birleştirilir (füzyon edilir) ve sonrasında duyarga düğümü mikrofona ve kamerasının aktifleştirilip aktifleştirilmeyeceğine karar verilir. Aynı zamanda çoklu ortam düğümleri, skaler duyargalardan gelen sinyallerin önceden tanımlanmış bir zaman aralığında kararlı olup olmadığını kontrol ederek işlem yapar ve böylece gereksiz işlemlerin önüne geçilir.

İlk katmandaki skaler duyargalar, potansiyel tehlike oluşturan nesneye dair ilk tespiti gerçekleştirir. Böylece üst katmana sınırlı doğrulukta semantik veri sağlamak mümkün olmaktadır. İlk katmanda nesnelerin skaler duyargalarla tespit edilmesinden sonra, ilgili çoklu ortam duyargaları aktif hale gelir. İkinci katmanda skaler verilere ilave olarak video kamera tarafından elde edilen görüntü ve mikrofona tarafından elde edilen ses de kullanılarak kontrol edilen bölgeye giren nesneyle ilgili anlamsal bilginin doğruluğu artırılmaya çalışılır.

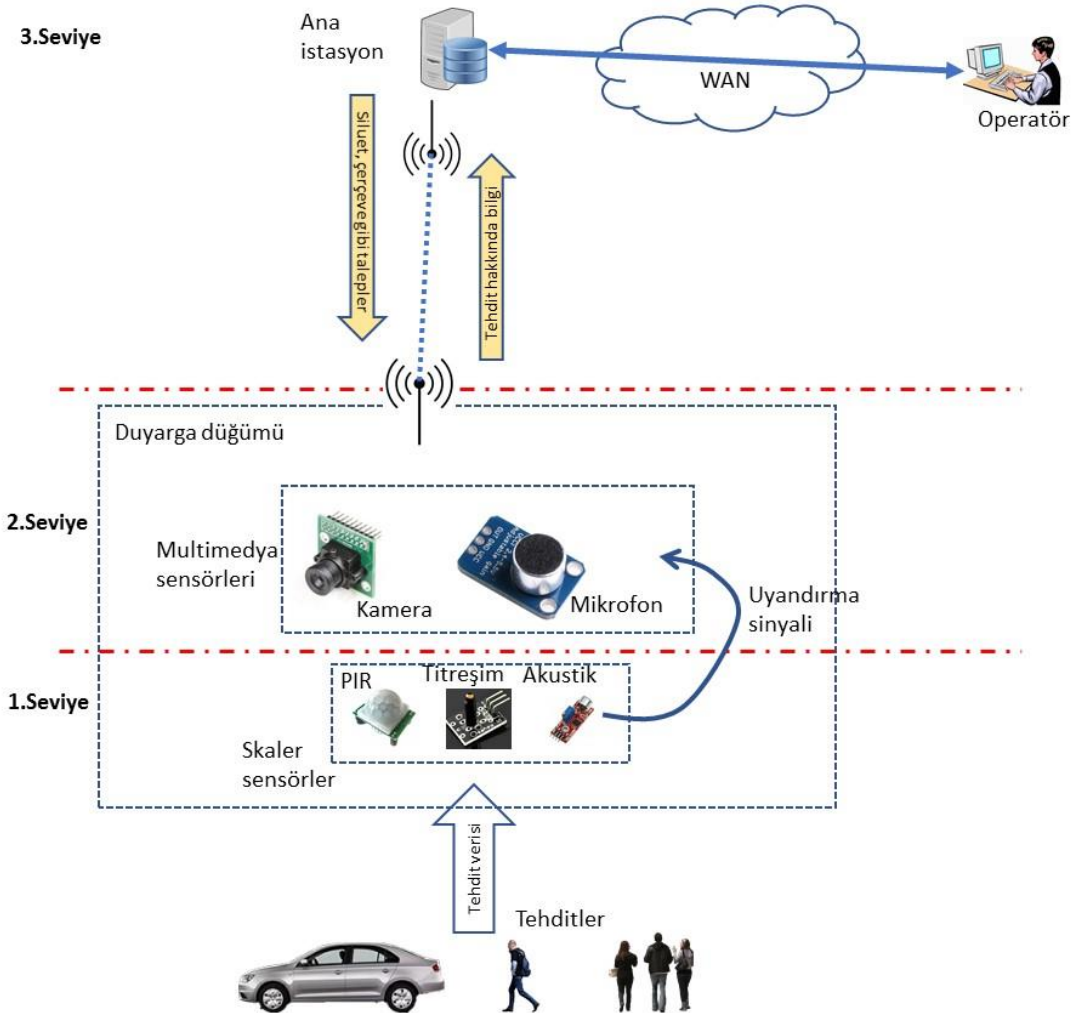
Duyarga düğümü, operasyon öncesinde iki ana görev gerçekleştirir. Bunlardan ilki, otomatik sınıflandırma yapabilmek amacıyla her nesne kategorisinin özelliklerini öğrenmek için sistemin kendini eğitmesidir. Öğrenme veri seti, önceden kaydedilmiş video görüntü ve ses verisinden meydana gelmektedir. Duyarga düğümü çalıştırıldığında öğrenme veri setini kullanarak nesne sınıflarının belirlenen özneliklerini öğrenir. İkinci ana görev ise, görüntü için düğümün istatistiksel olarak güncellenen arka plan modeli üretmesidir. Operasyon öncesinde sabit arka plan tespit edilir ve daha sonraki işlemlerde kullanılmak üzere hafızada tutulur.

Kameranın aktif olmasından sonra, çoklu ortam duyarga düğümü çerçevedeki nesnelerin çıkarımı ve tanımlanması için görüntü işleme operasyonlarına başlar. Nesne sınıflandırması yapabilmek için çoklu ortam düğümleri, duyarga düğümlerinin sınıflandırması beklenen her nesne kategorisine ait birçok resimden oluşan örnek bir görüntü veri seti kullanılarak eğitilirler. Yeni bir nesne video verisinden çıkarılırken, yeni nesnenin özellikleri öğrenilmiş nesne özellikleriyle eşleştirilir ve en çok uyan kategoriye göre değerlendirilir. Ses verisinin işlenmesi için de benzer durum söz konusudur. Önceden eğitilen düğüm noktası aldığı sesi eğitim verilerine göre sınıflandırır. Görsel ve işitsel verinin sınıflandırma sonuçları füzyon işleminden geçirilerek çıkarılan semantik bilginin doğruluğu artırılır. Duyarga düğümü, ham çoklu ortam verisini göndermek yerine çoklu ortam verisinden çıkardığı semantik bilgiyi gönderir.

Çoklu ortam düğümleri veri göndermek için kümeler oluşturur. Duyarga düğümleri, küme başına bağlanır ve verilerini küme başına kablosuz ara yüz kullanarak gönderir. Güç tüketimini sınırlandırmak için duyarga düğümleri arasında seri radyo frekans tabanlı iletişim kullanılır. Duyarga düğümleri, sınıflandırma sonuçlarını metin-tabanlı bir formatta gönderir.

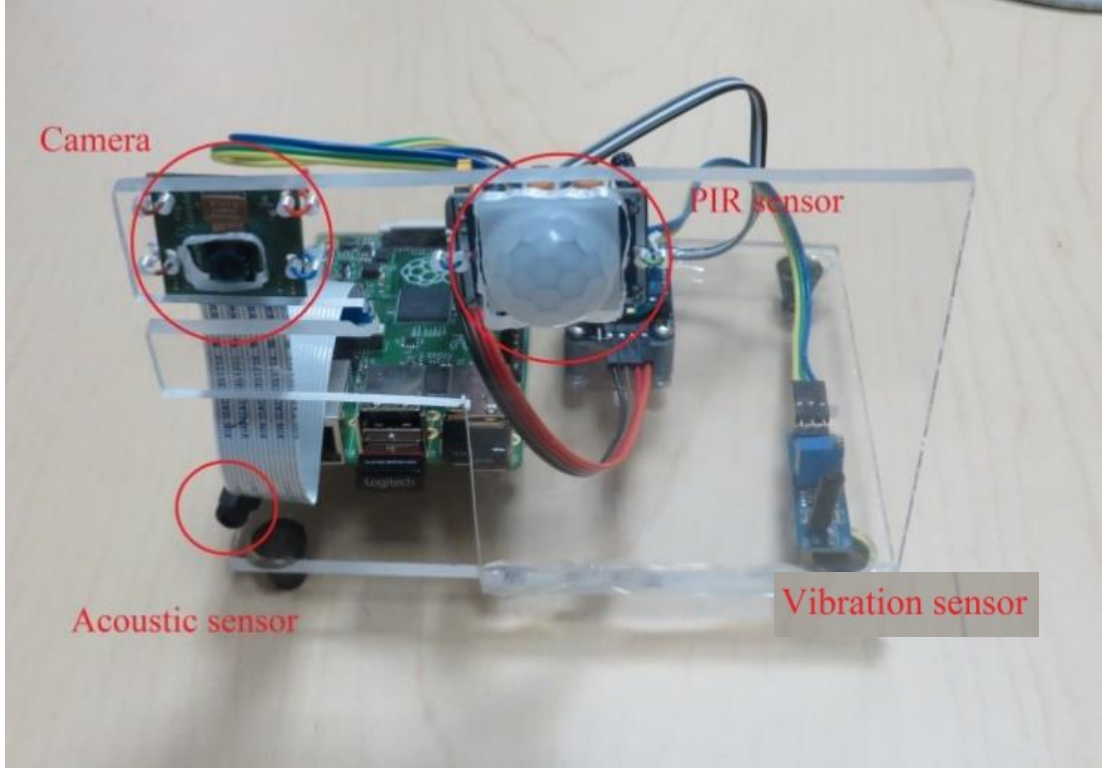
Böylece düğümler tarafından transfer edilen ve alınan verinin miktarı minimize edilerek önemli miktarda güç korunur. Düğümler, sistem kullanıcısı istediği takdirde siluet veya ön plan görüntüsü gibi çoklu ortam verisinin üretilmesi ve gönderilmesi için de tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Küme başı düğümü, kümenin verisini gönderdiği gibi kendi verisini de ana istasyona gönderir. Farklı düğümlerden alınan veriler ana istasyonda bir araya getirilir. Ana istasyon, verileri kendi veri tabanında saklar ve operatörler için erişilebilir hale getirir. Bu toplanmış verinin işlenmesiyle, ağ çapında çıkarımlar yapabilmek ve hangi aksiyonun uygun olduğuna karar verebilmek mümkün hale gelmektedir.



Şekil 1. Sistem mimarisi

Yukarıda açıklanan mimari yapıyı oluşturan temel birim Kablosuz Çoklu Ortam Duyarga Düğümleridir. Proje kapsamında toplamda 10 adet düğüm oluşturulması öngörülmüştür. Bu çerçevede proje başlangıcında araştırmalar yapılmış, piyasada mevcut tek kartlı bilgisayarlar değişik açılardan karşılaştırılmış ve sonuç olarak Raspberry Pi Model B+ kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, düğüm noktası için ihtiyaç duyulan kamera, PIR, akustik sensör, titreşim sensörü, Xbee haberleşme modülü, SD kart ve batarya temin edilerek resmi Şekil 2'de gösterilen prototip düğüm noktaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Sensör düğümünün önden görünüşü

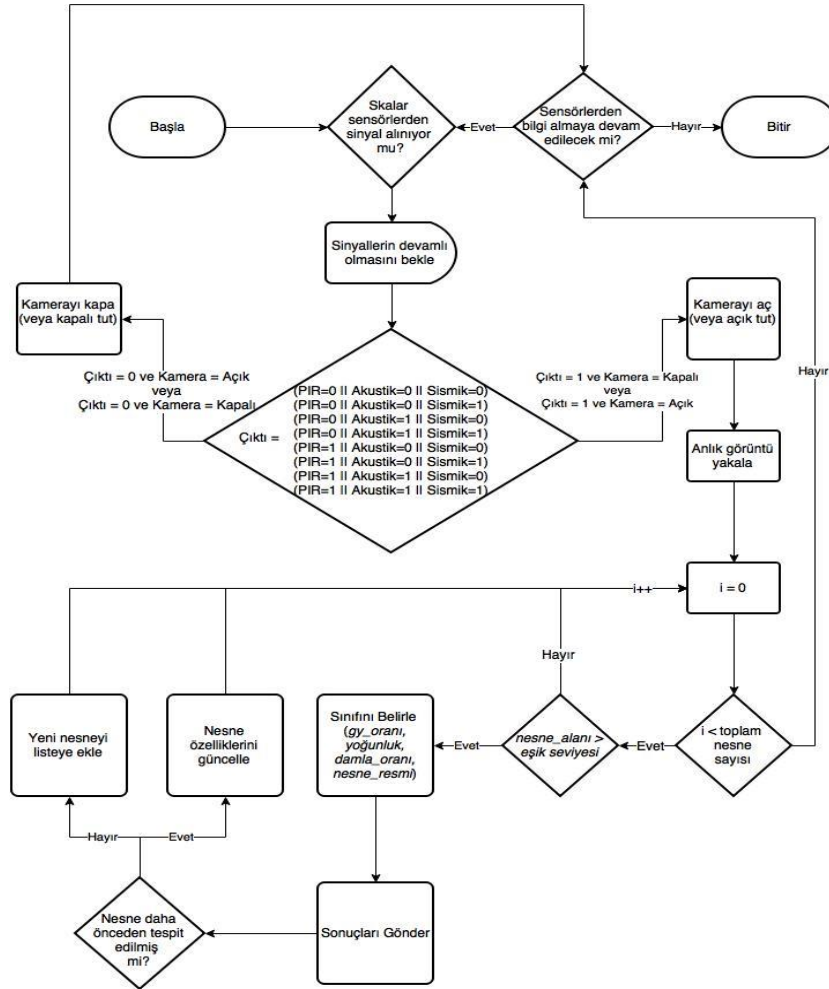
**Sensör düğümlerinin geliştirilmesinde kullanılan önemli yazılımlar ise şöyledir:**

- İşletim sistemi olarak Debian'dan türetilen Raspbian Linux kullanılmaktadır.
- Geliştirilen algoritmalar C programlama dilinde kodlanmakta ve gcc derleyicisi ile derlenmektedir.
- Open Fire XMPP sunucu: XMPP protokolünü kullanan, anlık mesajlaşma ve grup sohbet sunucusudur. Duyarga düğümleri, Open Fire sunucusunu kullanarak mesaj gönderebilirler.
- Spark XMPP istemci: XMPP protokolünü kullanan, metin ile iletişime izin veren anlık mesajlaşma istemcisidir. Merkezi yönetim konsolundan Spark işlevselliğinin çeşitli parçalarının kontrolü veya mesajların görüntülenmesi gibi ekstra özellikler sağlamak adına Open Fire sunucusu ile birlikte kullanılmaktadır.
- XCTU: XBee RF modülünün yapılandırılması ve test edilmesini sağlayan Digi RF modülü ile etkileşime girmesi için tasarlanmış bir uygulamadır.
- OpenCV: Resim işleme fonksiyonları için kullanılmaktadır.
- Filezilla: Dosya transferleri için kullanılmaktadır.
- Putty/SSH: Sensör düğümlerine bağlanmak ve yönetmek için kullanılmaktadır.

Proje sürecinde açıklanan mimari yapıya uygun olarak çalışmalar yapılmıştır. Bundan sonraki alt bölümlerde yapılan işler sırasıyla ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır.

### 3.2 Birinci Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları

Birinci seviye füzyon ve sınıflandırma işleminin amacı, duyurga düğümünün gözlemlediği ortamda, düğümde yüksek enerji tüketimine yol açan kamera ve mikrofonun aktif yapılmasını gerektiren bir nesnenin olup olmadığına karar vermektir. Nesne tespiti yapılmadığı durumda kamera ve mikrofon uyku modunda kalarak enerji tasarrufu sağlanmakta, skaler sensörlerle izleme sürecine devam edilmektedir. Nesne tespiti durumunda ise çoklu ortam sensörleri aktif yapılarak hem kamera ve hem de mikrofondan gelen bilgiler kullanılarak 2'nci seviye sınıflandırma ve füzyon aşamasına geçilmektedir. Birinci seviye füzyon ve sınıflandırma işlemi için basit, düğüm noktasına fazla yük getirmeyen ve sürekli çalışacağı için minimum enerji tüketimine yol açacak bir yöntem tespit edilmeye çalışılmış ve sonuç olarak kural tabanlı veri füzyon yönteminin uygulanmasına ve nesne tespiti durumunda çoklu ortam duyargalarının aktivasyonunun sağlanmasına karar verilmiştir. Kamera aktivasyonu için kullanılan algoritmanın akış şeması Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Birinci seviye veri füzyon ve kamera aktivasyon algoritması

Algoritmaya dair akış şemasında görüldüğü gibi başlangıçta PIR, akustik ve sismik duyargalardan yüksek frekanslı sinyaller tespit edilir. Bu sinyaller kararlı (stable) hale gelene kadar beklenir. Bekleme sonucunda girdi olarak PIR, akustik ve sismik duyargalardan alınan 0 ve 1 değerleri kurala dayalı sınıflandırmaya sokulur. Yapılan test ve değerlendirmeler sonucunda, aşağıda listelenen kurallar çerçevesinde ilgi alanına giren bir nesnenin olup

olmadığına karar verilmesi ve buna bağlı olarak da kameranın açılıp/kapanması kararlaştırılarak duyurga düğümlerde uygulanmıştır.

- K01: Eğer (PIR = 0, Akustik = 0, Sismik = 0, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Hayır  
K02: Eğer (PIR = 0, Akustik = 0, Sismik = 1, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K03: Eğer (PIR = 0, Akustik = 1, Sismik = 0, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K04: Eğer (PIR = 0, Akustik = 1, Sismik = 1, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K05: Eğer (PIR = 1, Akustik = 0, Sismik = 0, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K06: Eğer (PIR = 1, Akustik = 0, Sismik = 1, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K07: Eğer (PIR = 1, Akustik = 1, Sismik = 0, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K08: Eğer (PIR = 1, Akustik = 1, Sismik = 1, Kamera = 0) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K09: Eğer (PIR = 0, Akustik = 0, Sismik = 0, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Hayır  
K10: Eğer (PIR = 0, Akustik = 0, Sismik = 1, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K11: Eğer (PIR = 0, Akustik = 1, Sismik = 0, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K12: Eğer (PIR = 0, Akustik = 1, Sismik = 1, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K13: Eğer (PIR = 1, Akustik = 0, Sismik = 0, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K14: Eğer (PIR = 1, Akustik = 0, Sismik = 1, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K15: Eğer (PIR = 1, Akustik = 1, Sismik = 0, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet  
K16: Eğer (PIR = 1, Akustik = 1, Sismik = 1, Kamera = 1) ise Kamerayı\_Aç = Evet

### **3.3 İkinci Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları**

Bu kapsamda, görüntü verisi, titreşim verisi ve ses verisi üzerinde ayrıntıları aşağıda verilen çalışmalar yürütülmüştür. PKÖ (PIR) verisi ise sadece 1 veya 0 değeri içerdiği için ilave çalışmaya gerek duyulmamıştır.

#### **3.3.1 Kamera Aktivasyonu, Görüntü Alınması, Öznitelik Çıkarılması ve Görüntü Verisinin Sınıflandırılması**

Kamera aktivasyonu yukarıda açıklandığı şekilde uygulanmıştır. Kamera açıldıktan sonra anlık görüntü alınır ve CCA (Connected Component Analysis – Bağlı Bileşen Analizi) kullanılarak alınan anlık görüntüden ön tarafta yer alan nesnelere çıkartılır. Çıkartılan nesnelere kapladığı alan belirli bir eşik seviyesinin altında kalıyorsa, o nesnelere beklenenden küçük nesnelere olarak kabul edilir ve dikkate alınmaz. Eğer nesnelere kapladığı alan belirli bir eşik seviyesinin üstündeyse nesnenin resmine dayanarak 2'nci seviye sınıflandırma aşamasına geçilir.

Duyurga düğümünde nesne çıkarımı ve sınıflandırma operasyonlarının gerçekleştirilmesi için bir C++ uygulaması geliştirilmiştir. Uygulama görüntü işleme fonksiyonları için OpenCV Kütüphanesini kullanmaktadır. Gloop XMPP İstemci Kütüphanesi de çıkış düğümüne mesaj göndermek ve kullanıcılardan komut almak için kullanılmaktadır. Skalere duyurga çıktılarının okunması için ek kütüphane de eklenmiştir.

Geliştirilen uygulamada kullanılan algoritmalar Şekil 4'de verilmiştir. Görüntü işleme ile ilgili yapılan ana işlemler Algoritma 1'de, kameranın durumuna karar verme işlemi Algoritma 2'de ve sınıflandırma işlemine dair bilgiler Algoritma 3'de özetlenmiştir.

Algoritma1: Ana uygulama bloğu	Algoritma2: Kamera durumuna karar verilmesi	Algoritma3: Sınıflandırma
<b>GİRDİLER:</b> PIR, Akustik ve Titreşim Duyargası çıktıları <b>ÇIKTILAR:</b> Tespit edilen nesne raporu <pre> if (kameraDurumu(PIR, AS, VIB, Durum) == KAPALI) // Kamera durumuna karar verilir Uyu() else kamerayıAç() görüntüyüYakala() arkaplan_modelini_güncelle() // arka planı güncel tut önplan_nesnelerini_çikar() // CCA kullanarak for each önplan_nesnesi if (nesne_bölgesi &gt; eşik değeri) // küçük nesnelere filtrele sınıfınıÇek (gy_oranı,yoğunluk,damla_oranı, nesne_resmi) sonuçlarıGönder() // sonuçları çıkış düğümü ya da geçit kapısı duyargasına gönder if (nesne_önceden_tespit_edilmiş) // nesne önceden tespit edilmiş mi kontrol et nesne_özelliklerini_güncelle() else aktif_nesne_listesine_ekle() // yeni nesne endif endif endif endif </pre>	<b>GİRDİLER:</b> Kamera durumu, PIR, AS, VIB <b>ÇIKTILAR:</b> Yeni durum <pre> kameraDurumu (PIR,AS, VIB, Durum) if(PIR veya AS veya VIB) // Skaler duyarılardan yüksek sinyal varsa if(Kamera KAPALI) bekle() // Bekle if(PIR veya AS veya VIB) // Hala aktif return AÇIK // Kamerayı aç else // yanlış alarm return KAPALI // Kamerayı kapalı tut endif else if(Kamera AÇIK) return AÇIK // Kamerayı açık tutarak tespit etmeye devam et endif elseif (!PIR ve !AS ve !VIB) return KAPALI // Alarm yok, kamerayı kapat. endif </pre>	<b>GİRDİLER:</b> Genişlik/yükseklik oranı, damla-bölge oranı, yoğunluk <b>ÇIKTILAR:</b> Nesne sınıfı <pre> sınıfınıÇek (gy_oranı, yoğunluk, damla_oranı, nesne_resmi) etiket=svm_tahminEt(gy_oranı,yoğunluk, damla_oranı) // yeni nesnenin etiketini tespit et if (etiket == "araba") // sonuç arabadır. return (etiket) else // BoSURF ile SVM uygula return (getSVMBoW(nesne_resmi)) // en iyi eşlesen komşunun etiketini döndür </pre>

Şekil 4. Uygulamada kullanılan algoritmalar

**Sınıflandırma doğruluk derecesi ve performansı:** Önerilen sistemin sınıflandırma performansı, duyarga düğümü ile kaydedilen sokak gözetleme videoları kullanılarak nesne tespiti ve sınıflandırma uygulamasının yürütülmesiyle test edilmiştir. Tüm videolar H264 formatında, 5 fps oranında ve 320 x 240 çözünürlükle çekilmiştir. Öğrenme veri seti, 4 video dosyasından kesilerek elde edilen 285 insan, 254 grup ve 270 araba resminden meydana gelmektedir. 1105 çerçeveden (220 saniye) oluşan diğer video dosyası ise test için kullanılmıştır. Tablo 1’de özetlendiği üzere sınıflandırma için 5 farklı model test edilmiştir. Kesinlik ve duyarlılık değerleri, ground truth kullanılarak her nesne tipi için hesaplanmıştır. Sınıflandırma testlerinin sonuçlarına Tablo-2’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Öznitelik ve sınıflandırma metotları

Model	Öznitelikler	Metot
1	Genişlik/yükseklik oranı, Yoğunluk, Damla oranı	KNN
2	Genişlik/yükseklik oranı, Yoğunluk, Damla oranı, Bag of Words Descriptor (SURF)	KNN SVM
3	Genişlik/yükseklik oranı, Yoğunluk, Damla oranı	SVM
4	Genişlik/yükseklik oranı, Yoğunluk, Damla oranı, Bag of Words Descriptor (SURF)	SVM SVM
5	Bag of Words Descriptor (SURF)	SVM

**Tablo 2. Sınıflandırma performansı ve doğruluk dereceleri**

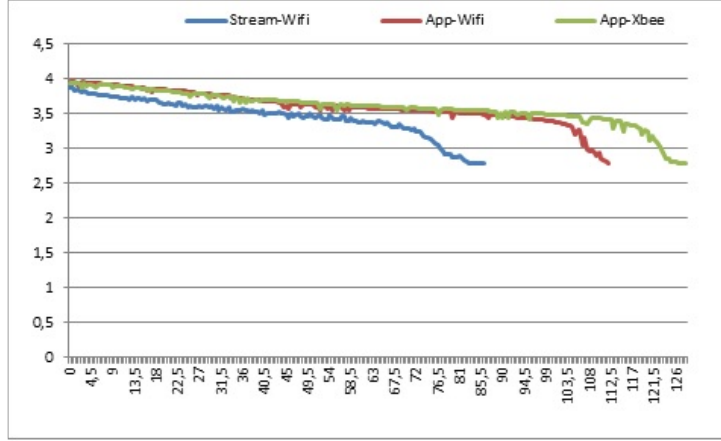
Model	Süre	Performans		
		Nesne	Duyarlılık (recall)	Kesinlik (Precision)
1	56 s	İnsan	%35	%51
		Grup	%71	%47
		Araba	%95	%85
2	59 s	İnsan	%39	%55
		Grup	%71	%50
		Araba	%96	%84
3	56 s	İnsan	%32	%55
		Grup	%84	%50
		Araba	%93	%86
4	62 s	İnsan	%48	%57
		Grup	%77	%50
		Araba	%93	%86
5	96 s	İnsan	%45	%49
		Grup	%61	%50
		Araba	%68	%87

**Duyarga Düğümü Güç Tüketimi:** Duyarga düğümü, cep telefonlarında da kullanılan 3.7-V 1326-mAh Li-ion batarya kullanılarak test edilmiştir. Deneyin amacı, çeşitli modlarda çalışan duyarga düğümünün güç tüketimini ve hangi modun daha enerji etkin olduğunu hesaplayabilmektir. Güç tüketimini test etmeden önce, farklı koşullar altında düğümün çektiği akım değerleri ölçülmüştür; bu değerlere Tablo 3'te yer verilmiştir.

**Tablo 3. Duyarga düğümü akım ölçümleri**

Durum	Ölçülen Akım
İletişim cihazı yok. Uygulama yok.	179 mA
Sadece Ethernet bağlı	220 mA (+41 mA)
Sadece Wi-Fi bağlı	250 - 280 mA (+70 mA - +100 mA)
Sadece Zig-Bee bağlı	208 mA (+29 mA)
Kamera açık	279 mA (+100 mA)
VLC (160 X 120 çözünürlüklü, 5fps, H264) ile akış	245 mA (+65 mA)

Duyarga düğümlerinin güç tüketimi üç farklı modda karşılaştırılmıştır. İlk mod olan Wi-Fi ile akışta, yakalanan videoların Wi-Fi adaptörü kullanılarak sürekli akışı sağlanır. İkinci mod olan Wi-Fi kullanılan uygulamamızda, kamerayı sürekli açık tutmak yerine, düğümdeki skaler duyargalar tarafından alarm tespit edildiğinde kamera açılır. Yakalanan çerçeveler işlenir ve semantik sonuçlar iş istasyonuna Wi-Fi ara yüzü kullanılarak gönderilir. Üçüncü mod olan ZigBee kullanan uygulamamızda ise ikinci moda göre tek fark, ZigBee ara yüzünün kullanılmasıdır. Şekil 5'te gösterildiği üzere güç tüketimi, 3. modda en az seviyede olmaktadır. Wi-Fi cihazı tarafından kullanılan 70 mA ile karşılaştırıldığında ZigBee tarafından kullanılan 30 mA, %14 güç tasarrufu sağlamakta, bu da 3. modu en enerji tasarruflu mod yapmaktadır.

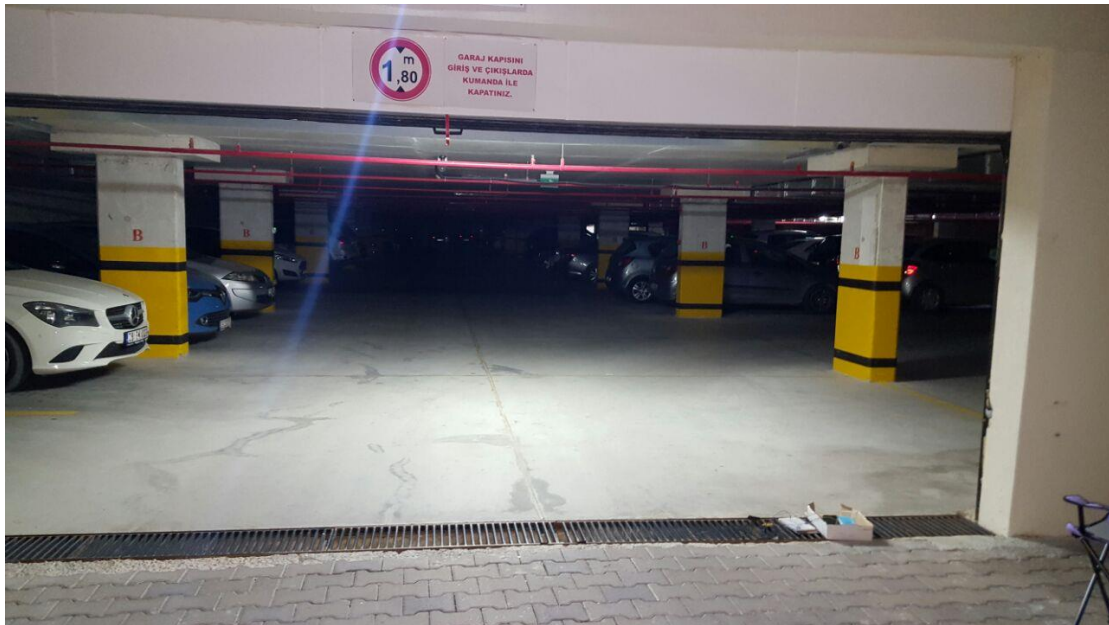


Şekil 5. Güç tüketimi test sonuçları

Birinci seviye (skaler sensörler) ve ikinci seviyede sadece görüntü verisinin işlendiği kısmı içeren çalışmalarımızdan iki adet makale üretilmiştir (Civelek ve Yazıcı, 2016; Civelek ve Yazıcı, 2017).

### 3.3.2 Sismik/Titreşim Veri Toplama/Sınıflandırma

Sismik/titreşim duyargasından toplanan verilerin sınıflandırılması için sınıflandırıcı olarak DVM (SVM) yöntemi seçilmiş ve değerlendirme için 5 katlı çapraz doğrulama metoduna başvurulmuştur. Sismik titreşim duyargası olarak LM393 model titreşim sensörü seçilmiştir. Bu duyarganın özelliklerine göre sensor titreşim algıladığında çıkış sinyali düşük, algılamadığında ise çıkış sinyali yüksek olmaktadır. Duyarga üzerinde bulunan potansiyometre ile hassasiyet değeri ayarlanabilmektedir. Duyarganın titreşimini algılayabilmesi için; kurulan devre bir kapalı garaj girişinde mazgal üzerine yerleştirilmiş ve veriler bu şekilde toplanmıştır. Bu şekilde bir deney ortamının kurulmasının sebebi ise sensor cihazın titreşimi algılaması için farklılıkları tespit edebileceği bir ortam üzerinde kurulu olması gerekliliğidir. Kurulan deney düzeneği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Titreşim sensörü deney ortamı



Kullanılan sensör 0-5 volt arasında bir analog sinyal üretmekte ve kullanılan analog-dijital dönüştürücü 10 bit olduğundan, ölçülen değerler 0 ile  $2^{10} = 1024$  arasındaki değerlere dönüştürülmektedir. Bu durumda titreşim yokken cihaz 1024, titreşimin en yüksek seviyesinde 0 değerlerini göstermektedir. Böyle bir test ortamında; araçlar için aracın büyüklüğüne göre 650-695 aralığında değerler alındığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, insan ve insan grupları için de ölçümler yapılmıştır. İnsan grupları için 670-680 aralığında, bir kişinin normal yürümesi durumunda ise 750-800 aralığında değerler okunmaktadır.

Titreşim sensöründen elde edilen verilerin sınıflandırılması sürecinde kategoriler insan, grup (insan topluluğu) ve araç olarak belirlenmiştir. Titreşim sensörü ile toplanan veriler ve örneklem sayıları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Sismik sensörü veri kümesi örnek sayıları

Sınıf	Toplanan Örnek Sayısı
Grup	117
Araç	463
İnsan	496

Toplanan verilerin analog-dijital dönüştürücü sonucu elde edilen sayısal değerleri öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak ise DVM metodu ile 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir. Deney kümesi üzerinde elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Sismik sensör deney sonuçları

	Grup	Araç	İnsan
Kesinlik (%)	31.76%	81.93%	98.7%
Duyarlılık (%)	24.14%	86.87%	99.1%
F-ölçütü (%)	27.33%	84.32%	98.9%

Sonuçlar değerlendirildiğinde titreşim sensörü mazgal üzerindeki titreşimleri algılamaktadır. Bu durumda birden fazla kişinin mazgal üzerinden geçerken yarattığı titreşim ile 10 km/saat hızla mazgal üzerinden geçen arabanın yarattığı titreşim birbirine çok yakın değerlerde olduğundan sınıflandırıcı tarafından karıştırılmaktadır. Bu nedenle kullanılan sismik titreşim sensörünün insan grubu ve aracı ayırt etme işleminde yeterli olamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu çeşit bir sınıflandırma yapılabilmesi için daha farklı sensörlerin (örneğin GeoPhone) kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir. Ulaşılan bu sonuç nedeniyle, titreşim sensörü sonucunun ikinci seviye füzyon işleminde kullanılmamasına karar verilmiştir.

### 3.3.3 Akustik/Ses Veri Toplama/Sınıflandırma

Piyasada akustik sensör olarak mevcut olan duyargalar tedarik edilip incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonunda bu sensörlerin projede hedeflediğimiz amaç için yeterli olmadığı sonucuna varılarak duyarga düğümüne bir mikrofon eklenmesine karar verilmiştir. Analog çıktı üreten mikrofonun çıktısını sayasallaştırmak için 12 bitlik 1 kanallı MCP3201 analog-dijital dönüştürücü kullanılmıştır.

Öncelikle sesten nesne çıkarımı yapacak modelin düğüm noktası üzerine koymadan önce PC ortamında test edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. İnsan, hayvan ve araç olmak üzere üç farklı nesne sesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ana ses sınıflarını tanımlayan alt ses sınıfları için bir taksonomi oluşturulmuştur. Oluşturulan taksonomi, ses kategorileri,

örnek sayıları ve süreleri Tablo 6'da sunulmuştur. Söz konusu sesler farklı ses kütüphanelerinden derlenmiştir.

Öznitelik olarak ses tanıma uygulamalarındaki başarımı nedeniyle ses özneliği olarak Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) kullanılmasına karar verilmiştir. Temel olarak MFCC, insan kulağının algıladığı şekilde bir model yaratmaktadır. MFCC yönteminde, ses sinyali bir bütün olarak işlenmektense, daha etkili olarak çerçevelere bölünerek işlenir. Çerçeveleme yöntemi olarak Hamming yöntemi kullanılmıştır. MFCC özneliği, ses klbinin 30ms uzunluğundaki her bir çerçevesi için 10ms atlamalarla gerçekleştirilmiştir. Her çerçeveden 13 katsayılı MFCC özneliği çıkarılmıştır. Veri kümesindeki her ses klbi için MFCC öznelikleri hesaplanmış ve çıkarılan öznelik vektörleri sınıflandırıcı eğitimi ve test aşamalarında kullanılmıştır.

Tablo 6. Ses veri kümesi dağılımı

Sınıf	Ses İçeriği	Örnek Sayısı	Süre (sa:dk:sn)	Toplam Örnek Sayısı
Araç	Otobüs	78	00:39:00	312
	Araba	78	00:39:00	
	Tren	78	00:39:00	
	Tramvay/Metro	78	00:39:00	
İnsan	Alkışlama	48	00:10:01	300
	Topluluk/Grup	65	00:10:14	
	Ayak Sesi	42	00:12:49	
	Konuşma (Kadın/Erkek)	104	00:07:11	
	Gülme (Kadın/Erkek)	41	00:13:16	
Hayvan	Kedi	18	00:02:43	315
	Kuş	72	00:05:32	
	At, domuz, koyun v.b.	38	00:03:50	
	Köpek	152	00:26:05	
	İnek	35	00:04:16	

Sınıflandırıcı tasarımı olarak yine literatürde yaygın kullanımı ve başarımlarından dolayı Destek Vektör Makineleri (DVM) belirlenmiştir. DVM yönteminin uygulanması için MATLAB ortamında LIBSVM kütüphanesi kullanılmıştır. DVM özünde bir ikili sınıflandırma algoritmasıdır. Projedeki çok-sınıflı gereksinimi karşılayabilmek için DVM algoritması bire-karşı-hepsi yöntemi kullanılarak çoklu sınıflandırma problemine uyarlanmıştır. Çalışmada insan, hayvan ve araç kategorileri için 3 olasılıksal DVM modeli tasarlanmıştır. Test aşamasında sınıf kararı, en yüksek olasılık değerine sahip model olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırıcı tasarımı değerlendirilmek için 5 katlı çapraz doğrulama (five-fold cross validation) kullanılmıştır. Bu sayede var olan tüm veri kümesi kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Buna göre veri kümesi 5 parçaya bölünmüş, her defasında 1 grup test için ayrılmış ve geri kalan 4 grup model eğitime dahil olmuştur. Bir önceki aşamada test için kullanılan grup, daha sonraki aşamada model eğitime dahil edilmiş, model eğitiminde kullanılan gruptan biri de test için ayrılmıştır. Bu sürecin 5 defa tekrar etmesi sonucunda, her bir kümenin hem test hem de eğitim aşamasında kullanılması sağlanmıştır.

İnsan, hayvan ve araç olarak belirlenmiş 3 farklı sınıf için elde edilen test sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

*Tablo 7. İnsan, hayvan ve araç seslerinin akustik sınıflandırma başarımları*

	İnsan	Hayvan	Araç
Kesinlik (%)	99.17	66.46	100
Duyarlılık (%)	73.69	98.94	97.76
F- Ölçütü (%)	84.56	79.15	98.88

Sonuçlara göre, tasarlanan sınıflandırıcı tüm kategorilerde yüksek duyarlık (Recall) başarımına sahiptir. En düşük geri getirim başarımı %73.69 ile insan kategorisinde olmasına rağmen, insan olarak tahminlenen kliplerin kesinliği (precision) yüksektir (%99.17). Araç sınıfının hem duyarlık hem de kesinlik değerleri oldukça iyi ölçülmüştür. Hayvan sınıfında duyarlık başarımı yüksek olmasına rağmen kesinlik değeri, diğer kategorilere kıyasla görece düşük ölçülmüştür. Bu duruma, hayvan seslerinin zenginliği ve veri kümesine yeterince yansıtılmamış olması gösterilebilir.

Bir sonraki aşamada testler duyarga düğümü üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen model duyarga düğümü üzerine kurulmuştur. Duyarga düğümüne bağlanan mikrofon çalıştırılarak gelen seslerin kaydı ve arkasından sınıflandırılması yapılmıştır. Bu testler için Tablo 8'de görülen daraltılmış yeni bir test seti oluşturulmuştur. Bu ses kayıtları yakın mesafeden bir başka cihaz tarafından oynatılmıştır. Düğüm noktası mikrofonu tarafından yakalanan sesler kaydedilerek öznetelik çıkarımı ve sınıflandırma işlemlerinden geçirilmiştir.

*Tablo 8. Mikrofon veri kümesi örnek sayıları*

Sınıf	Toplanan Örnek Sayısı
Hayvan	265
İnsan	245
Araç	219

Veriler üzerinde yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen nihai sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Sonuçlara göre; tasarlanan sistem, mikrofondan toplanan veriler için tüm kategorilerde iyi sonuçlar vermektedir.

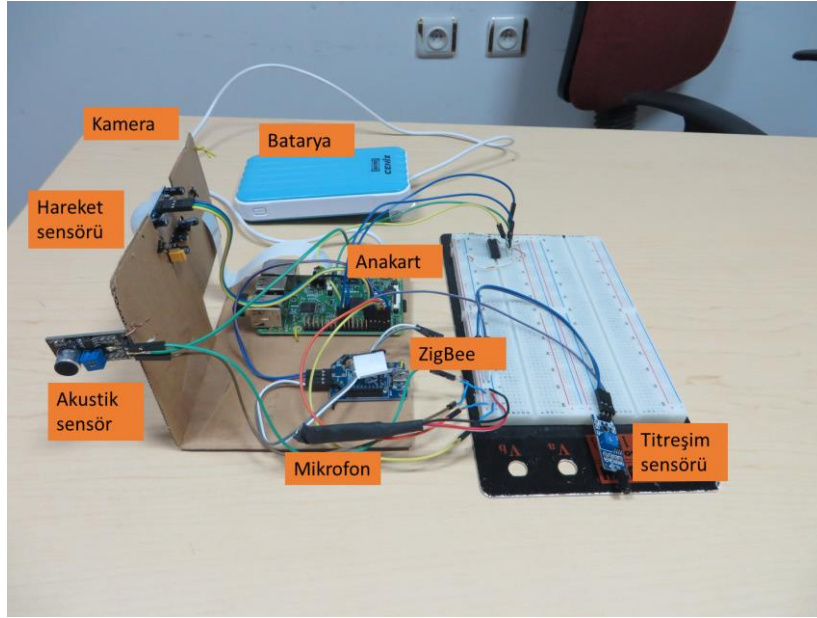
*Tablo 9. Akustik sensör deney sonuçları*

	İnsan	Hayvan	Araç
Kesinlik (%)	87.76%	90.56%	95.16%
Duyarlılık (%)	87.83%	88.15%	98.17%
F-ölçütü (%)	87.79%	89.32%	96.67%

Akustik sensörlerle ilgili yapmış olduğumuz çalışmalardan bir adet konferans yayını üretilmiştir (Küçükbay, Sert ve Yazıcı, 2017).

### 3.3.4 İkinci Seviye Veri Füzyonu

Bu amaç için görüntü ve ses verisi kullanılmıştır. Duyarga düğümü üzerindeki skaler sensörlere (PIR, Akustik ve titreşim) ilave olarak görüntü almak üzere kamera ve ses almak üzere mikrofon entegre edilmiştir. Skaler sensörler, kamera ve mikrofonun aktif hale gelmesi için kullanılmaktadır. Başlangıçta akustik sensör verisinin sınıflandırma amaçlı kullanılması planlanmış olmasına karşın, mevcut akustik sensörden yeterli kalitede ses alınamaması nedeniyle, ilave bir mikrofon düğümüne eklenmiş ve mikrofondan alınan ses sınıflandırma amaçlı kullanılmıştır. Mikrofonlu sensör düğümü ile ilgili bir resim ise Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Mikrofonlu duyarga düğümü

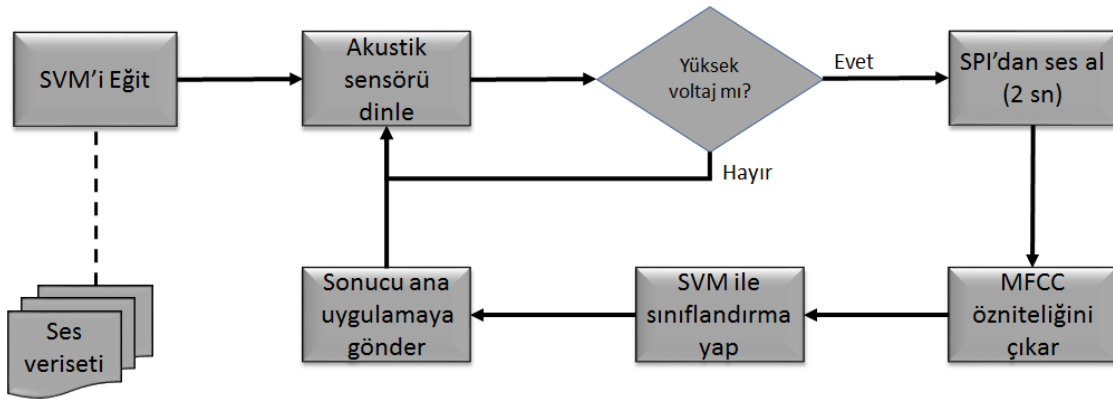
Mikrofon, kameraya ilave ikinci multimedya cihazı olarak duyarga düğümüne eklenmiştir. Bu şekilde, çevresel sesleri toplamak ve bu toplanan ses verilerine dayalı ek sınıflandırma yapmak mümkün hale gelmiştir. 2 tür ses sınıfı üzerinde çalışılmıştır: insan (tek veya grup olarak) ve araç. Yapılan ses sınıflandırması 2 amaç için kullanılmıştır: 1) Ses sınıflandırma sonucuna bağlı olarak kamerayı etkinleştirmek (ses sınıflandırma sonucu insan ya da araç ise kamera etkinleştirilir); 2) Ses sınıflandırma sonucu, düğümün sınıflandırmasının genel performansını artırmak için video sınıflandırma sonucuyla birlikte füzyon işlemine alınmıştır.

RPi'nin SPI pimlerinden gelen ses verilerini yakalayan ve onu sınıflandıran ek bir uygulama geliştirilerek sensör düğümü içerisine yerleştirilmiştir. Sınıflandırma DVM (SVM) kullanılarak yapıldığı için, uygulama ilk başlatıldığında eğitim işlemiyle başlamaktadır. Eğitim veri seti, düğümün kendisi tarafından toplanan insan ve araç sınıflarında kaydedilmiş çeşitli seslerden oluşmaktadır. Kaydedilen seslerin 13 Mel frekanslı cepstral katsayıları (MFCC) alınarak bir virgülle ayrılmış değer (CSV) dosyasında eğitim seti olarak saklanmaktadır. Her ses sınıfı (insan ve araç) için bir CSV dosyası oluşturulmuştur. Uygulama bu CSV dosyalarını kullanarak kendini eğitir ve sınıfların MFCC özelliklerini öğrenir.

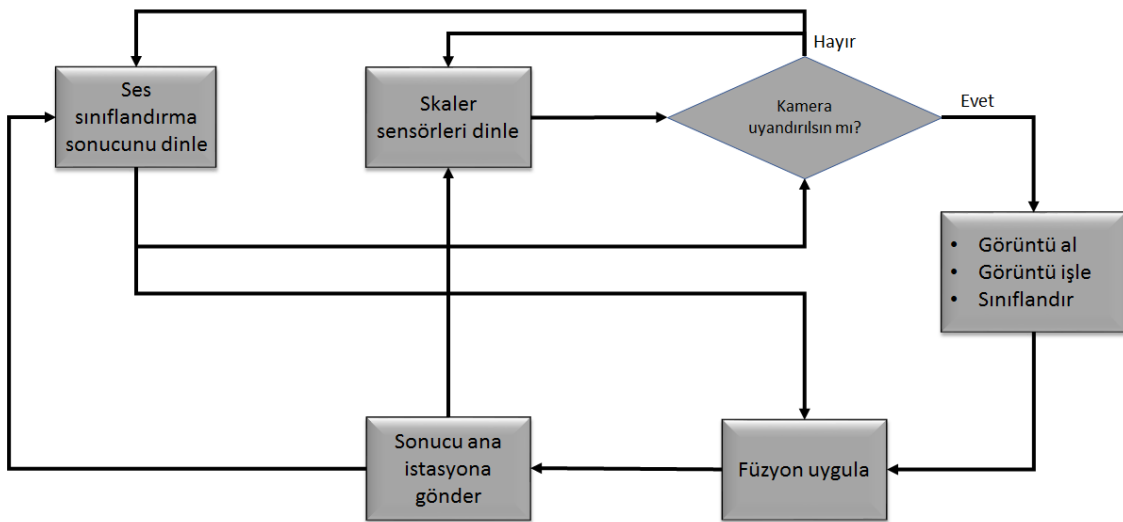
Duyarga düğümünde herhangi bir tehdit olmadığı zamanlarda sadece skaler sensörler aktif durumdadır. Mikrofon ve kamera ise pasif durumdadır. Yeni konfigürasyonda, mikrofon akustik sensör tarafından aktif duruma getirilmektedir. Mikrofon tarafından alınan ses

işlenerek ses kaynağı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Mikrofonun ilave edilmesiyle birlikte, kameranın aktivasyonu mikrofondan alınan sesin işlenmesi sonucu ortaya çıkan bilgiye de bağlanmıştır. Dolayısıyla, kamera skaler sensörlerden (PIR ve titreşim) gelen verilerin değerlendirilmesi sonucu aktif hale gelebilmektedir. Buna ilave olarak, kameranın mikrofondan alınan sesin değerlendirilmesi sonucunda aktif hale getirilmesi de eklenmiştir. İlave edilen bu özellik şöyle çalışmaktadır:

Ses uygulaması, mikrofon pasif durumda iken akustik sensörün çıkışını sürekli dinler. Akustik sensörden yüksek bir sinyal alındığında uygulama, MCP800 ADC'nin ve mikrofonun bağlı olduğu RPi'nin SPI'sından ham ses verilerini yakalamaya başlar ve belirli bir süre ses verisini yakalamaya devam eder (testlerde süre 2 saniye olarak uygulanmıştır). Yaklaşık 10 KHz frekansta ve 16 bit çözünürlükte (yaklaşık Pulse Code Modulation-PCM ses kalitesindedir) ham ses verisi arabelleğe alınır. Toplanan verilerin MFCC özellikleri çıkarılır ve sınıfını tahmin etmek için DVM'ye gönderilir. MFCC özelliklerinin tam matrisini vermek yerine, matristeki her sütunun ortalama değeri hesaplanır ve sınıflandırmada 13 katsayılı MFCC değerli vektör kullanılır. Ses sınıflandırmasının sonucu bir UDP socketi vasıtasıyla ana uygulamaya gönderilir. Ses uygulamasının akış şeması Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Duyarga düğümündeki ses uygulamasının akış şeması



Şekil 9. Ana uygulamanın yeni akışı

Güncellenen yeni uygulamada akustik sensörden gelen sinyal artık kamerayı etkinleştirmek için kullanılmamaktadır. Bunun yerine, ses uygulamasından gelen sınıflandırma sonucu,

kameranın etkinleştirilmesi için ek ölçüt olarak kullanılmaktadır. Akustik sensör herhangi bir ses aldığı anda, mikrofonu aktif hale getirmektedir. Mikrofondan alınan ses sınıflandırma işleminden geçirilmektedir. Sınıflandırma sonucunda ilgili sınıflardan birisinin tespit edilmesi durumunda (testlerde insan ve araç kullanılmıştır) kamera çalıştırılmaktadır. Kameranın PIR ve titreşim sensörleriyle aktivasyonu ise devam etmektedir. Ana uygulamadaki yeni akış şeması Şekil 9'da verilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği üzere, ses sınıflandırma sonucu, düğümün sınıflandırmasının genel performansını artırmak için video sınıflandırma sonucuyla birlikte füzyon işlemine alınmıştır. Bu kapsamda görüntü verisinden elde edilen sınıflandırma sonucu ile sestenden elde edilen sınıflandırma sonucu kullanılmıştır. Hareket (PIR) ve titreşim sensör sonuçları gerek sınıflandırma sonucunda yeterli seviyede bilgi içermemesi gerekse testlerin yapılmasındaki güçlükler nedeniyle ikinci seviye füzyon işlemine alınmamış, sadece kameranın aktivasyonu için kullanılmışlardır. Füzyon yöntemi olarak, ses sınıflandırma sonuçlarını ve video sınıflandırma sonuçlarını birleştiren bir karar fonksiyonu temelli yüksek seviyeli füzyon uygulanmıştır. Karar fonksiyonu aşağıdaki formülde verilmiştir:

$$d(\vec{v}_n, a_n) = \begin{cases} \vec{v}_n + a_n & \text{sesten insan ve araç tespit edildiğinde} \\ \vec{v}_n & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Burada  $\vec{v}_n$ , video karesinin işlenmesinden sonra tespit edilen nesne sınıflarının listesini ve  $a_n$  ses işlemeden sonra tespit edilen nesne sınıfını göstermektedir.

Uygulamanın tamamlanmasından sonra, gerçekleştirilen geç füzyon işleminin nesne sınıflandırmasına katkısını görmek için testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 10'da sunulmuştur. Tabloda, öncelikle sadece görüntüden elde edilen sonucun kullanılması durumundaki duyarlık (recall) ve kesinlik (precision) değerleri görülmektedir. Alt sırada ise görüntü ve sestenden elde edilen sınıflandırma sonuçlarının birleştirilmesi durumunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Görüldüğü üzere, geç füzyon işleminin uygulanması duyurğa düğümünde yapılan sınıflandırma işleminin performansının artırılmasına önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle insan (tek veya grup olarak) sınıfının tespitinde, şayet ses mevcut ise, füzyon işlemi başarının artırılmasında önemli rol oynamaktadır.

Tablo 10. Füzyon test sonucu

	İnsan		Araç	
	Duyarlık	Kesinlik	Duyarlık	Kesinlik
<b>Sadece görüntü ile</b>	0,58	0,77	0,92	0,93
<b>Geç füzyon (görüntü+ses)</b>	0,77	0,87	0,99	0,90

### 3.4 Üçüncü Seviye Füzyon ve Sınıflandırma Çalışmaları

Üçüncü seviye ana istasyonu ifade etmektedir. Ana istasyon tüm verilerin toplandığı, işlendiği ve sorgulandığı merkezdir. Merkeze önceki bölümlerde anlatıldığı gibi duyurğa düğümler tarafından çıkarımı yapılan semantik bilgi (nesne bilgisi) aktarılabileceği gibi ilave olarak istendiğinde görüntü ve sestenden çıkarılan öznitelikler, siluet, çerçeve ve gerektiğinde ham video da aktarılabilir. Dolayısıyla, ana merkezin tüm bu verileri depolama, işleme ve sorgulama yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Diğer taraftan, ana merkezde duyurğa düğümlerinde olduğu gibi kapasite ve enerji kısıtlaması söz konusu değildir. Bu başlık altında yapılan çalışmaları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kip içi ve kipler arası bilgi füzyonu çalışmaları

- Duyurga ağı simülasyonu, büyük veri üretimi ve işlenmesi çalışmaları
- Videodan içerik çıkarımı, depolanması ve sorgulanması çalışmaları

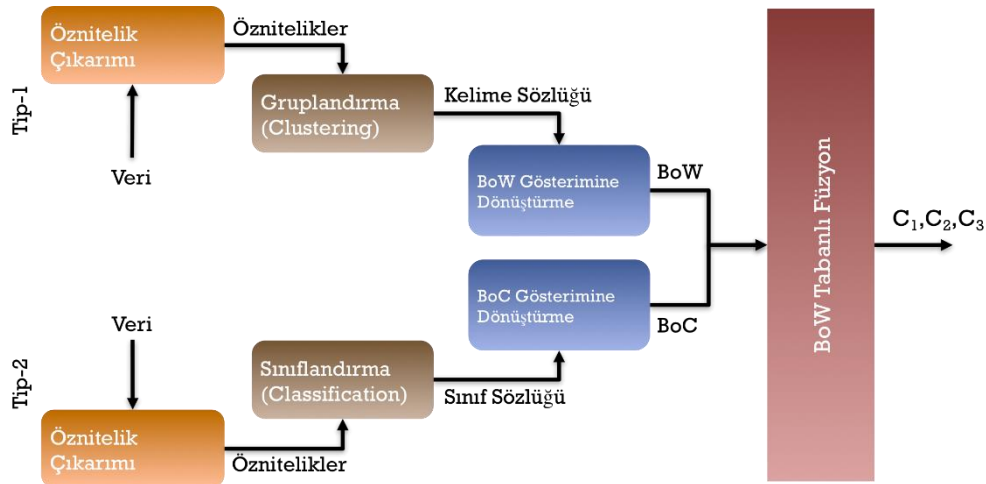
### 3.4.1 Kip İçi ve Kipler Arası Bilgi Füzyonu Çalışmaları

Üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma işleminde farklı kiplerden elde edilen veriler ile kip içi ve kipler arası korelasyonlar da kullanılarak, daha gelişmiş bir tanıma işleminin gerçekleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu işlem daha fazla enerji ve kaynak kullanım maliyeti gerektirdiği için ana istasyonda gerçekleştirilmektedir. Bu iş kapsamında yapılmakta olan işler şöyledir: 1) Kelime torbaları tabanlı füzyon yapısının gerçekleştirilmesi, 2) Tekil Kiplerden Bilgi Öğrenme, 3) Kip içi korelasyon çalışmaları, 4) Kipler arası korelasyon çalışmaları.

#### Kelime torbaları tabanlı füzyon yapısının gerçekleştirilmesi:

Çoklu ortam ve çok-kipli bilgi erişimi literatüründeki en güncel çalışmalarda kelime torbaları yöntemi sıklıkla kullanılmakta (Jiang vd., 2010) ve bu yöntemle başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Bu doğrultuda, üçüncü seviye veri füzyonu için, literatürdeki en son gelişmeler doğrultusunda kelime torbaları (Bag of Words - BoW) modeliyle uyumlu çalışacak, özgün bir yöntem geliştirilmiştir.

BoW modeli, alt seviye öznitelikler ve üst düzey kavramlar arasındaki orta düzey bir bilgidir. Dolayısıyla, alt seviye özniteliklerde bulunan değerli bilgileri yine de kullanabilir, ancak üst düzey kavramlar gibi özellikler de içerir; çünkü kelimeler, kavramlardaki parçaları veya bölgeleri temsil eder.



Şeki 10. Genel füzyon çerçevesi

Önerilen yaklaşım, tüm girdilerin BoW şeklinde olduğunu varsaymaktadır. Ancak, herhangi bir bilgiyi BoW formuna dönüştürmek karmaşık bir işlem değildir. Füzyon girişleri, aşağıda tartışıldığı gibi iki tipte analiz edilebilir. İşlenecek her türlü bilgiyi BoW formatına çevirmek kaydıyla, BoW'a dayalı genel bir füzyon çerçevesi Şeki 10'da özetlenmiştir.

- Tip-1 (alt seviye öznitelikleri ile çalışma): Değişken olsun veya olmasın, seyrek veya yoğun örneklerden çıkarılan alt seviye öznitelikler füzyon için girdi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, bazı anahtar noktalara veya yerel parçalara gereksinim

vardır. Anahtar noktaları elde ettikten sonra, kelimeleri bir kelime haznesi (sözlük) yapmak için kümelendirilir. Ardından, eğitim verileri sözlüğü kullanılarak BoW formatına dönüştürülür. Yerel parçalar yoluyla gösterilemeyen diğer herhangi bir bilgi türü, aşağıda verilen ikinci tip olarak işlenir.

- Tip-2 (Üst düzey öznitelikler ile çalışma): Üst düzey öznitelikler (kavramlar) füzyon için ikinci girdi türüdür. Multimedya verilerinin eğitim kümesinde oluşan üst düzey özniteliklerin tamamı sözlük ve her üst düzey konseptin bir kelime olacağı varsayılır. Bundan sonra veriler kolayca BoW formatına dönüştürülebilir. Bu yolla, sınıflandırıcının türüne veya sınıflandırıcının hedef sınıf türlerine bağlı olarak birçok kelime torbası üretebilir ve bunlar birleştirilir: nesnelere torbası, etkinlikler torbası, işlem torbası, yüzler torbası, silüet torbası, v.b. Üst düzey kavramların doğrudan kullanımına ek olarak, yerel parçalarla gösterilemeyen her türlü veri de tip-2 olarak kabul edilebilir. Bu tür veri öncelikle bazı tanımlanmış üst düzey kavramlara sınıflandırılır ve daha sonra BoW biçimine dönüştürülür. Daha fazla üst düzey kavramlara ve başarılı bir sınıflandırma yöntemine sahip olmak füzyon performansı için önemli konulardır.

Üçüncü seviye veri füzyonu için yukarıda tanımlanan genel füzyon çerçevesi kullanılarak, hem birinci ve ikinci seviye sınıflandırma sonuçları (duyarga düğümünde yapılan sınıflandırma sonuçları), hem de kamera duyargasından elde edilen SIFT, SURF, STIP (görsel) veya mikrofondan elde edilen MFCC, ZCR (işitsel) gibi güncel çoklu ortam bilgi erişimi çalışmalarında sıkça kullanılan, daha gelişmiş ve genellikle kelime torbaları modeliyle birlikte kullanılan özniteliklerin aynı tümeleştirme sürecinde birleştirilebilmesi mümkündür.

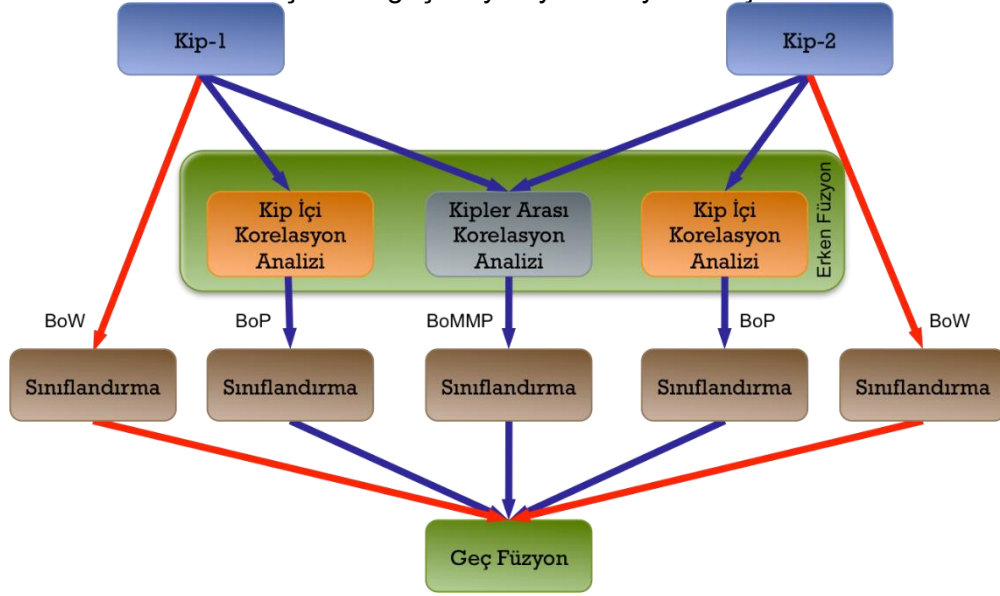
Genel Füzyon Çerçevesinde uygulanan torba modeli yöntemine ek olarak, füzyon işlemlerinde farklı kiplerde yer alan bilgilerden hem tamamlayıcı (complementary) ve hem de ilintili (correlated) olanların kullanılabilmesi ve bu sayede füzyon sonucu elde edilecek katkının maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, kullanılan her bir kip BoW modeline dönüştürüldükten sonra, her kipi sınıflandırma sonucuna ek olarak, kip-içi korelasyonlar ve kipler-arası korelasyonlar da füzyon işlemine dâhil edilmiştir. Kip-içi korelasyonların kullanımı belirli bir kipteki kelime torbaları modelindeki çeşitli nesne tipleri için birlikte bulunan kelimelerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde, kipler-arası korelasyon işlemi de farklı kiplerde yer alan kelimelerin birlikte bulunabilme durumlarını ortaya çıkarmaktadır. Basit bir örnek vermek gerekirse; hedef sınıfımızın otomobil olduğu durumda görsel kipten elde edilecek kelimeler (her bir kelime aslında lokal bir öznitelik olduğundan) otomobilin çeşitli ilgi noktalarını tanımlamaktadır (far, tekerler, ayna, vs.). İşitsel kipten ise otomobilin ses sinyalleriyle ilişkili olarak çeşitli kelimeler üretilmektedir. Kip-içi korelasyon analizi yapılarak otomobilin üzerindeki ilgi noktalarını tanımlayan kelimelerin ilişkilendirilmesi, otomobilin sesini ifade eden kelimelerin birbiriyle ilişkilendirilmesi ve nihayet kipler-arası analiz ile de görüntü ve seslerdeki kelimelerin birbiriyle ilişkilendirilebilmesi, daha etkin bir tanıma işlemi için faydalı bilgilerin açığa çıkmasını sağlamaktadır.

Bu amaçla izlenecek olan ve Şekil 11'de şematik olarak gösterilen yöntem temel olarak aşağıda verilen dört adımdan oluşmaktadır.

1. Her kip için sınıflandırma yapılması
2. Her kip için kip içi korelasyon analizi yapılması ve elde edilen bilginin sınıflandırılması
3. Farklı kipler için kipler arası korelasyon yapılması ve elde edilen bilginin sınıflandırılması



#### 4. Tüm sınıflandırma sonuçlarının geç füzyon yöntemiyle birleştirilmesi



Şekil 11. Kelime torbaları tabanlı füzyon için iş akışı

#### Tekil kiplerden bilgi öğrenme

Bütünleştirme/füzyon işleminden önce füzyonsuz performansın çok önemli olduğu, füzyon işleminin ise tanıma performansını artırdığı bilinmelidir. Bu nedenle her bir kip (modalite) için öğrenme süreci olabildiğince etkili olmalıdır. Bu projede, Jiang ve diğerlerinin (2010) önerdiği yaklaşım aşağıda özetlenen şekliyle kullanılmıştır:

- Sınıflandırıcı ve çekirdek (kernel) seçimi: Destek Vektör Makinesi (SVM), kelime torbaları tabanlı sınıflandırma için en popüler sınıflandırıcılardan biridir. SVM'ler için uygun bir çekirdek fonksiyonunun seçimi, sınıflandırma performansı için kritik bir konudur. Literatürde, mevcut çalışmalar genellikle Doğrusal Çekirdek, Histogram Kesişim Çekirdeği, Gauss Radyal Taban Fonksiyonu (RBF) Çekirdeği ve  $\chi^2$ -RBF Çekirdeğini tercih etmektedir. Jiang ve diğerleri (2010) deneysel olarak,  $\chi^2$ -RBF Çekirdeğinin kelime torbaları tabanlı özellik vektörlerinin sınıflandırması için kullanıldığında diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Bu nedenle, sınıflandırma için  $\chi^2$ -RBF çekirdekleri ile SVM kullanımı tercih edilmiştir. Sınıflandırma prosedürü ile ilgili başka bir konu, çok sınıflı sınıflandırmanın nasıl ele alınacağıdır. Çoklu ortam/multimedya verilerinin genellikle çok etiketli olduğu dikkate alındığında, sınıflandırma prosedürü buna uygun olarak çok sınıflı ve çoklu etiketli olmalıdır. Böyle bir amaç için, k adet farklı sınıf etiketi için k adet sınıflandırıcının eğitildiği, herkese-karşı-bir (one-against-all) yaklaşımı tercih edilmiştir.
- Ağırlıklandırma şeması: Kelime torbaları cinsinden ağırlıklandırma, multimedya dokümanlarındaki kelimelerin tekrarı hakkındaki istatistiksel bilgilerdir. En temel şema, her bir belgede bir kelimenin varlığını/yokluğunu gösteren ikili ağırlıktır. Daha karmaşık şemalar, ikili ağırlıktan daha üstün performans gösteren terim frekansı (TF) ve/veya terim frekansı-ters belge frekansını (TF-IDF) içerir. Bu çalışmada TF ağırlıklandırma tercih edilmiştir.
- Kelime hazinesi büyüklüğü: Kelime torbaları modellemesi için, kelime kümelenmesi kümelenme sürecinde kilit noktadır. Küçük boyutlu bir kelime hazinesine sahip olmak,

farklılıkları ayırt etmede sıkıntıya yol açabilir, zira birbirleriyle benzer olmamasına rağmen, aynı kümeye iki kilit noktası atanabilir. Aksine, büyük bir kelime hazinesi daha az genellenebilir, gürültüye karşı daha az toleranslıdır ve fazla işlem sürecine neden olur. Literatürdeki çalışmalar, 100 ila 10.000 arasında geniş bir kelime hazinesi boyutuyla çalışmaktadır. Jiang ve diğerleri (2010), karmaşık ağırlıklandırma şemaları kullanıldığında, kelime hazinesi büyüklüğünün etkisinin daha az anlamlı olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle orta seviye bir boyut tercih edilmiştir (4096).

### Kip içi korelasyon analizi:

Kip içi (intramodal) korelasyon için, her kip ayrı ayrı işlenir. Belirli bir nesnenin ya da bir sahnenin parçalarının genellikle o nesnenin/sahnenin farklı örneklerinde birlikte bulunduğu düşünüldüğünde, birlikte ortaya çıkan kelimelerin gruplandırılması iyi bir fikirdir. Bu nedenle, kelimeleri sık sık birlikte tekrar eden ifadeler (kelime grupları) kullanmayı öneriyoruz. Birlikte geçen kelimeleri bulmak için eğitim veri setinde bir madencilik ve graf tabanlı algoritma (Şekil 12) kullanılmıştır. Algoritma sayesinde, her bir kip için sözcüklerden bazı anlamlı ifadeler bulmaya çalışılır. Böylece, her bir kip içindeki intramodal ilişkileri ortaya çıkarılır. Burada, her bir sınıfa ait örneklerin ayrı ayrı işlenmesi gerektiğine dikkat edilmelidir. Bu, algoritmanın her bir sınıf için ayrı ayrı çalıştırılması anlamına gelir. Sık tekrar eden kelime madenciliği yaparken, sık desenlerin destek eşikleri farklı sınıflarda oldukça farklıdır. Bundan dolayı her bir sınıf için sınıfa özel destek eşikleri uygulanmalıdır.

---

```
Input: Multimedia documents  $\mathcal{D} = \{d_i\}_{i=1}^t$ , vocabulary  $\mathcal{W} = \{w_i\}_{i=1}^m$ , minimum support for
itemsets  $freqThr$ , threshold for graph pruning  $neiThr$ , depth threshold for graph
pruning  $h$ 

Output: Phrases list  $P$ 

1 begin
   // Mining
2    $T \leftarrow \langle \rangle$ ; //Initialize transactions list
3   for  $d_i \in \mathcal{D}$  do
4      $b_i \leftarrow extractBoW(d_i, \mathcal{W})$ ;
5      $t_i \leftarrow generateTransaction(b_i)$ ;
6      $T \leftarrow add(T, t_i)$ ; //Add a new transaction
7   end
8    $I \leftarrow findFreqItemsets(T, freqThr, 2)$ ; //2-itemsets,  $sup > freqThr$ 
   // Phrase extraction
9    $G(V, E) \leftarrow constructGraph(\mathcal{W}, I)$ ;
10   $P \leftarrow \langle \rangle$ ; //Initialize phrases list
11  for  $v_i \in V$  do
12     $N \leftarrow selectNN(v_i, neiThr, h)$ ; //NN within  $h$ -depth,  $sup(v_i, v_j) \geq neiThr$ 
13     $phr_i \leftarrow \{v\} + N$ ;
14     $add(P, phr_i)$ ;
15  end
16 end
```

---

Şekil 12. Tek kip için ifade oluşturma algoritması

Algoritma iki bölümden oluşur: madencilik ve ifade çıkarma. İlk kısım, sık kullanılan kelimeler madenciliği (FIM) işlemini gerçekleştirmeyi ve sık kullanılan ikili kelimelerin destek değerlerini hesaplamayı gerçekleştirir. Bu amaçla, tüm multimedya belgelerinin tüm kelime torbaları öznitelik vektörleri (yani videolar veya video çekimleri) işlenir ve her belge için bir işlem

oluşturulur. Her işlem ilgili öznitelik vektöründe var olan kelimeleri içerir. Burada, var olan bir kelime sıfırdan büyük ağırlıkları olan sözcükleri ifade eder. İşlem listesi oluşturulduktan sonra, elde edilen işlem listesinden sık tekrarlayan ikilileri hesaplamak için bir FIM operasyonu gerçekleştirilir. Her ikili, iki kelimedenden oluşan bir settir. İkililerin destek değeri karşılık gelen iki kelimenin birlikte oluşma olasılığıdır.

Algoritmanın ikinci kısmı bir graf oluşturma işlemi içermektedir. İfadeleri ayıklamak ve her bir ifadenin içerdiği kelimeleri bulmak için ikili destek değerleri ve kelime hazinesini kullanarak bir graf gösterimi oluşturulur. Grafta, kelimeler düğüm noktaları olarak kabul edilir ve ayrıtlar ikili setlerin destek değerlerini gösterir. Bu gösterim tercihi iki varsayıma dayanmaktadır; (i) birkaç çekimde/videoda birlikte ortaya çıkan farklı kelimeler aynı ifadeyle kabul edilebilir; (ii) kelimeler için birlikte bulunma durumu yakınlıktan daha önemli olduğu için, destek değeri ifadeleri oluştururken mesafeye göre daha iyi bir metriktir.

Grafı oluşturduktan sonra, graf işlenerek ifadeler çıkarılır. Grafın verimli kullanımı için alternatif yaklaşımlar uygulanabilir. Amacın kelime grafiğinden sözcük grubunu (ifade) çıkarmak olduğunu düşünürsek, grafta maksimum kliklerin bulunması geçerli bir fikirdir. Ancak, aşağıdaki kısıtlamaları dikkate alınması gerekir: (i) Klik karar problemi NP-complete bir problemdir, (ii) kelimeler kullanılarak oluşturulan graf ve ikili destekleri büyük boyutlu bir tam graftır (4096 kelime bir kelime hazinesi kullanıyoruz), (iii) ayrıtların budanması mümkündür, ancak, budama için düşük bir eşik grafiğin yoğun olarak bağlanmasını yol açacağı, yüksek bir eşik ise değerli bilgilerin kaybına neden olabileceği dikkate alınmalıdır, (iv) bir maksimum klik bulunması yeterli değildir; kelimeler arasındaki adalet için, her kelime için (ya da en sık olanlar için) en büyük bir klik hesaplanmalıdır. Maksimum klik hesaplaması için mevcut sezgisel tarama yöntemleri bile sorununuz için zamansal olarak etkili değildir. Bu nedenle, ifade çıkarma görevi için k-en yakın komşular (k-NN) yaklaşımına dayanan alternatif bir sezgisel yöntem kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen ifade çıkarma işinde, kelime hazinesindeki her kelimenin en yakın komşuları aşağıdaki gereklilikler göz önüne alınarak seçilir; (i) komşu, kelimeye göre h derinliği içinde olmalıdır, (ii) iki kelime arasındaki destek değeri eşik değerinden daha büyük olmalıdır. Böylece, kelime hazinesindeki her kelime için en çok birlikte bulunan kelimeler tespit edilir. Sonuçlar her bir kelime için klik olmamasına rağmen, ifade (kelime grubu) olarak kullanılmaya devam etmek için hala anlamlıdır.

Yukarıda verilen prosedürle ifadeler elde ettikten sonra, ifade tabanlı özellik vektörleri eğitim ve test verilerinden çıkarılmalıdır. Her bir ifadenin birden fazla kelime içerdiğini düşünürsek, her ifade için bazı sayısal değerleri atamak için bir toplama yöntemine gereksinimimiz vardır. Bu amaçla, basit ortalama yaklaşımı tercih ediyoruz. Bu yaklaşımda, her bir ifadedeki kelimelerin TF değerlerinin ortalaması, ifade değeri olarak hesaplanır. Toplama görevini gerçekleştirdikten sonra, her bir eğitim ve test belgesi için ifade tabanlı öznitelik vektörleri elde edilir. Çıkarılan ifadeye dayalı öznitelik vektörleri SVM eğitimi için kullanılır. Test verileri,  $\chi^2$ -RBF çekirdek tabanlı SVM sınıflandırıcı ile sınıflandırılır.

### **Kipler arası korelasyon analizi:**

Sorunun kipler arası (intermodal) korelasyon keşif kısmı için, tüm kipler birlikte işlenir ve farklı kiplerde kelimeler ve ifadeler arasındaki korelasyon kullanılır. Kip içi korelasyon analizi için verilen fikir, kipler arası işleme için de geçerlidir. Farklı kanallar (modaliteler) olsa da toplanan belirli bir sahnenin algılanan verileri genellikle o sahnenin farklı örneklerinde meydana gelen bazı parçalara sahiptir. Örneğin, 'araba' videolarının farklı örnekleri işlenirse, bir araca ait olan bazı ses sinyalleri ile birlikte bir arabanın o bölümlerini gösteren birkaç görsel kelimenin ortaya çıkması büyük olasılıktır

**Input:** Modalities  $\mathcal{M} = \{m_i\}_{i=1}^n$ , multimedia documents  $\mathcal{D} = \{d_i\}_{i=1}^t$ , phrase vocabulary list of all modalities  
 $PW = \langle PW^i \rangle_{i=1}^n$  s.t. each phrase vocabulary  $PW^i = \{phr_j\}_{j=1}^r$

**Output:** Multimodal phrases list  $MMP$

```

1 begin
  // Correlation calculation
2 for  $d_k \in \mathcal{D}$  do
3   for  $m_i \in \mathcal{M}$  do
4      $P^i \leftarrow getPhraseVector(d_k, m_i)$ ;
5     for  $p_a \in P^i$  do
6        $mean[m_i][p_a] \leftarrow mean[m_i][p_a] + value(p_a)/size(\mathcal{D})$ 
7     end
8   end
9 end
10 for  $d_k \in \mathcal{D}$  do
11   foreach  $\{m_i, m_j\} \in \mathcal{M} \times \mathcal{M}, i \neq j$  do
12      $P^i \leftarrow getPhraseVector(d_k, m_i)$ ;
13      $P^j \leftarrow getPhraseVector(d_k, m_j)$ ;
14     for  $\{p_a, p_b\} \in P^i \times P^j, p_a \in P^i \wedge p_b \in P^j$  do //Pearson's corr.coeff.calculation
15        $partX \leftarrow value(p_a) - mean[m_i][p_a]$ ;
16        $partY \leftarrow value(p_b) - mean[m_i][p_b]$ ;
17        $partCov \leftarrow partX \times partY$ ;
18        $cov[m_i][m_j][p_a][p_b] \leftarrow cov[m_i][m_j][p_a][p_b] + partCov$ ;
19        $stdDev[m_i][p_a] \leftarrow sdtDev[m_i][p_a] + partX^2$ ;
20        $stdDev[m_j][p_b] \leftarrow sdtDev[m_j][p_b] + partY^2$ ;
21     end
22   end
23 end
24 foreach  $\{m_i, m_j\} \in \mathcal{M} \times \mathcal{M}, i \neq j$  do
25   foreach  $\langle phr_k, phr_l \rangle \in PW^i \times PW^j, phr_k \in PW^i \wedge phr_l \in PW^j$  do
26      $r[m_i][m_j][phr_k][phr_l] \leftarrow cov[m_i][m_j][phr_k][phr_l]/(stdDev[m_i][phr_k] \cdot stdDev[m_j][phr_l])^{1/2}$ 
27   end
28 end
  // Phrase extraction
29  $MMP \leftarrow \langle \rangle$ ; //Initialize multimodal phrases list
30 for  $m_i \in \mathcal{M}$  do
31   for  $phr_k \in PW^i$  do
32      $mmPhr_i \leftarrow \{phr_j\}$ ;
33     for  $m_j \in \mathcal{M} - m_i$  do
34        $phr_l \leftarrow argMax(r[m_i][m_j][phr_k])$ ; //Get max correlated phrase
35        $mmPhr_i \leftarrow mmPhr_i + \{phr_l\}$ ;
36     end
37      $add(MMP, mmPhr_i)$ ;
38   end
39 end
40 end

```

Şekil 13. Çok kipli ifade oluşturma algoritması

Çok kipli ifadeleri bulmak için, eğitim veri setine bir korelasyon ve graf tabanlı gruplama algoritması (Şekil 13) uygulanmıştır. Algoritma yoluyla, öncelikle, farklı kiplere ait ifade çiftleri arası korelasyon hesaplanır. Daha sonra, her kipten sadece bir ifade seçerek ilişkili olduğu diğer kip ifadeleri belirlenir ve bu yolla çok modlu ifade grupları oluşturulur. Kip içi analiz ile benzer şekilde, verilen algoritma her bir sınıf için ayrı ayrı yürütülür. Böylece, her kip için kipler arası ilişkiler ortaya çıkarılmış olur.

Algoritma iki bölümden oluşur: korelasyon hesaplama ve ifade çıkarma. İlk kısım, farklı kiplerin ifadeleri arasındaki korelasyonu hesaplamayı yapar. Korelasyon, Pearson korelasyon katsayısına göre hesaplanmıştır. İki değişken arasındaki Pearson korelasyon katsayısı, iki değişkenin standart sapmalarının çarpımı ile bölünmüş kovaryansı olarak tanımlanır. X ve Y değişkenleri için, örnek Pearson korelasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Eğitim için kullanılan çoklu ortam belgelerinin sayısının çok büyük olabileceği göz önüne alındığında, işlemek için tüm belgeleri belleğe yüklenmesinin mümkün olmadığı durumlarda, algoritmanın belgeleri sırayla işlemesi gerekir. Böylece algoritma tüm belgelerin iki kez üzerinden geçer. İlk aşamada, her bir kipteki tüm ifadeler için ortalama değerler hesaplanır ve bir dizide saklanır. İkinci aşamada korelasyon katsayısını hesaplamak için gerekli olan kovaryans (pay) ve standart sapma (payda) hesaplamaları gerçekleştirilir. Bu hesaplamalardan sonra, üçüncü adımda tüm kiplerin tüm ifadelerinin üzerinden geçerek gerçekleştirilir. Bu adımda, tüm ifade çiftleri için son Pearson korelasyon katsayıları elde edilir.

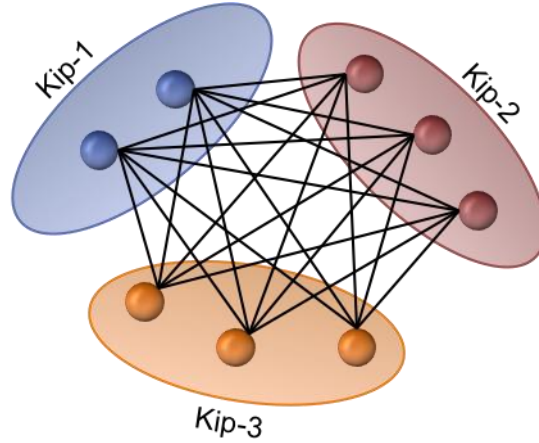
Algoritmanın ikinci kısmı, tüm ifadeler için her bir kipte en ilişkili ifadeleri bulmayı ve çok kipli ifadelerin listesini oluşturmayı sağlar. Her çok kipli ifadedeki ifade sayıları sınırlıdır ve kiplerin sayısına eşittir. Kip içi korelasyon analizinde yapıldığı gibi, ifade çıkarımını gerçekleştirmek için graf düğümleri olarak tüm kiplerin ifadelerini dahil ederek bir graf oluşturmak mümkündür. Böyle bir graf birkaç alt graf içerir ve her alt graf farklı bir kiplin düğümlerinden oluşur. Çok kipli ifade çıkarma için, graftaki her bir ifade için her bir alt graftan en yakın komşu seçilir. En yakın 1 komşuyu seçmekle ilgilendiğimiz düşünüldüğünde, algoritma grafik yapısından bahsetmeden daha basit bir sunumla verilir. Aslında, 1-en yakın komşu seçimi veya algoritmada verilen argMax işlemi bir yığın veri yapısı ile kolaylıkla uygulanabilir. Kısaca, ilişkili korelasyon katsayıları dizisi, maksimum korelasyonlu ifade çiftlerini bulmak için kullanılır. Böylece, çok kipli ifadeler listesi oluşturulur.

Yukarıda belirtilen prosedür ile çok kipli ifadeler elde ettikten sonra, çok kipli ifadeler için öznitelik vektörleri eğitim ve test verilerinden çıkarılmalıdır. Kip içi analiz ile benzer şekilde, birden çok ifadeyi çok kipli ifade içine toplamak ve her bir ifadeye sayısal değer atamak için basit ortalama yaklaşımı kullanılır. İfadelerin TF değerlerinin ortalamasını aldıktan ve bu değerleri çok kipli ifade değerleri olarak atadıktan sonra, her bir eğitim ve test dokümanı için çok modlu ifade temelli öznitelik vektörleri elde edilir.

Kipler arası analiz için öğrenme prosedürü de yukarıda açıklandığı şekilde yapılır. Öğrenme ve sorgulama için çıkarılan çok kipli ifade tabanlı öznitelik vektörleri kullanılır. Veriler,  $\chi^2$ -RBF çekirdek tabanlı SVM sınıflandırıcı ile sınıflandırılmıştır.

Önerilen kipler arası korelasyon analizi yaklaşımı aşağıdaki yönlerden kip içi analiz yaklaşımından farklıdır:

- Kipler arası analiz, tek bir kipin kelimelerine dayanır ve kelime grubu olarak ifadeleri çıkarır. Her bir ifadede, dahil edilen kelime sayısı için bir sınır yoktur. Öte yandan, kipler arası analiz kelimelere dayanmaz, kelime öbekleri arasındaki ilişkiden yararlanır ve ifadeler çıkarır. Ayrıca her gruptaki ifade sayısı (multimodal ifade) sınırlıdır ve kiplerin sayısına eşittir. Böyle bir tercihin iki nedeni vardır; (i) belirli bir kipin hakimiyetini önlemek için (belirli bir kipin güçlü kip içi korelasyonu, bu kipin ifadelerinin yoğun olarak eklenmesine neden olabilir), (ii) çok kipli ifadelerle herhangi bir kip içi korelasyon bilgisi eklememelidir (bir kipten birden fazla ifade eklenmesi o kipin kip içi bir korelasyon bilgisini içerecektir).
- Bir FIM işlemi için birden çok kipin kelimeleri/ifadeleri birleştirildiğinde, “rare itemsets” olarak bilinen sorun ortaya çıkar. Sorun, her iki kip için de tek bir destek eşiği uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, SIFT tabanlı kelimelerin genellikle MFCC tabanlı kelimelerden daha yüksek destek değerlerine sahip olduğunu deneyimledik. Asıl problem bir kümede birlikte ortaya çıkan kelimeler değil, farklı kümelerdeki öğelerin FIM için tek bir kümede birleştirmesidir. Bunun için korelasyon temelli bir seçim yaklaşımını tercih ediyoruz. Bizim yaklaşımımızda, farklı kiplerdeki tüm kelime çiftleri arasındaki korelasyon hesaplanır. Ancak, yaklaşımın karmaşıklık düzeyi tartışılabilir. Bununla birlikte, yaklaşım, kiplerin sayısı bakımından sadece ikinci dereceden (veya alt-ikinci dereceden) bir süredir. Bir madencilik görevi için, çoklu ortam belgelerinin sayısına göre kiplerin sayısının çok küçük olması nedeniyle kiplerin sayısı önemli değildir. Sonuç olarak, karmaşıklık bir sorun değildir.



Şekil 14. Kipler arası analiz için örnek bir graf

- Kip içi analiz, kelimeleri düğüm olarak ekleyerek ve kelime çiftlerinin destek değerlerini ayırıt/kenar ağırlıkları olarak ekleyerek, tek bir kipten tam bir graf oluşturur. Kipler arası analizde, sadece tek bir kip değil, tüm kipler grafa dahil edilir, tüm kip ifadeleri grafın düğümleri olarak eklenir. Aslında, bu graf birkaç alt graftan oluşmaktadır, her bir alt graf farklı bir kiptir. Alt graftaki düğümler arasında herhangi bir ayırıt yoktur; ayırıtlar farklı alt grafların düğümleri arasındadır. Ayırıt ağırlıkları, ifadeler arasında hesaplanan korelasyon değerlerine dayanır. Böyle bir graf Şekil 14'de gösterilmektedir. Çok kipli ifade çıkarımı sırasında, graftaki her düğüm (ifade) için, her bir alt-graftan bir en yakın komşu (en büyük ayırıt ağırlığına sahip) seçilir.

### Tüm Girdilerin Geç Füzyon ile Birleştirilmesi:

Füzyon işleminin, bilgi erişim (information retrieval) performansını iyileştirilmesine yardımcı olmasına rağmen her bir kip içerisindeki başarı oranı nihai performansa en büyük katkıyı sağlamaktadır. Farklı kipler ve kip içi/kipler arası analizler tarafından sağlanan öğrenme yöntemleri videoları farklı yönlerden analiz eder. Bu öğrenme yöntemlerinin her biri büyük olasılıkla birbirini tamamlar ve farklı öğrenme programları tarafından yanlış sınıflandırılan kalıp kümeleri mutlaka örtüşmez. Bu nedenle, tüm bu yöntemler tanıma yeteneğini geliştirmek için birleştirilmelidir (füzyon edilmelidir).

Şekil 11 önerilen füzyon yaklaşımımızın iş akışını göstermektedir. Her kipi ve aynı zamanda kip içi/kipler arası analizlerin sınıflandırma prosedürlerini gerçekleştirdikten sonra, sınıflandırma sonuçları geç füzyon şeması ile birleştirilir. Sonuçlar Doğrusal Ağırlıklı Ortalama alma yaklaşımı uygulanarak bütünleştirilir. Lineer ağırlıklı ortalama, basitliği ve sadeliğine rağmen makul performansından dolayı bilgi füzyon literatüründe en sık kullanılan yaklaşımdır. Yaklaşım, başarılı sonuçlar alabilmek için ağırlıkların iyi seçimini gerektirir, bu nedenle kip/öznitelik ağırlıklandırma için RELIEF-MM algoritması ile desteklenmiştir (Yılmaz vd, 2014).

### Test sonuçları:

Yukarıda açıklanan ve üçüncü seviye olarak gerçekleştirilen füzyon yöntemi TRECVID 2011 veri seti üzerinde test edilmiştir. Gerek gerçekleştirdiğimiz duyarga düğümlerle yeterli miktarda ve çeşitli nesne içerikli video verisi toplama imkanımız olmaması gerekse yapılacak yayın çalışmalarında uluslararası bir veri setinin kullanımının önemli olması sebepleriyle bu testler için TRECVID veri seti tercih edilmiştir. Veri setiyle ilgili özet bilgi Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. TRECVID 2011 veri kümesi özellikleri

	Eğitim	Test
Veri seti uzunluğu (saat)	~400	~200
Video sayısı	~16.000	~8.000
Çekim sayısı	71.502	34.179
Konseptler	Adult, Anchorperson, Beach, Car, Charts, Cheering, Dancing, Demonstration_Or_Protest, Door_Opening, Doorway, Event, Explosion_Fire, Face, Female_Human_Face, Female_Person, Female-Human-Face-Closeup, Flags, Flowers, Hand, Head_And_Shoulder, Indoor, Male_Human_Face, Male_Person, Mountain, News, News_Studio, Nighttime, Old_People, Overlaid_Text, People_Marching, Quadruped, Reporters, Running, Scene_Text, Singing, Sitting_Down, Skating, Sky, Speaking, Speaking_To_Camera, Sports, Streets, Studio_With_Anchorperson, Table, Text, Traffic, Two_People, Urban_Scenes, Walking, Walking_Running	

TRECVID 2011 veri setini kullanırken, çekim segmentasyonu için veri kümesiyle sağlanan ortak çekim referansı çıktıları kullanılmıştır. Veri setindeki çekimler (shot), erişim belgeleri olarak alınmıştır. Veri seti ayrıca her çekim için konsept anotasyonu da vermektedir. Anotasyonlar birden çok etiketli bir şekilde sağlanmaktadır, bu da her çekimin birden fazla etiket içerebileceği anlamına gelir. Veri setinin anotasyonunda 50 konseptte yer verilmiştir. Bu konseptlerin tam listesi Tablo 11'de verilmiştir. Testler sırasında yapılan semantik sorgular bu semantik kavramlara dayanmaktadır.

Çok kipli test için, farklı kiplerden üç öznitelik kullanılmıştır. Multimedya verilerinin kipleri genellikle ses, görsel ve metin olarak kabul edilir, dolayısıyla bu kiplerin her biri için bir

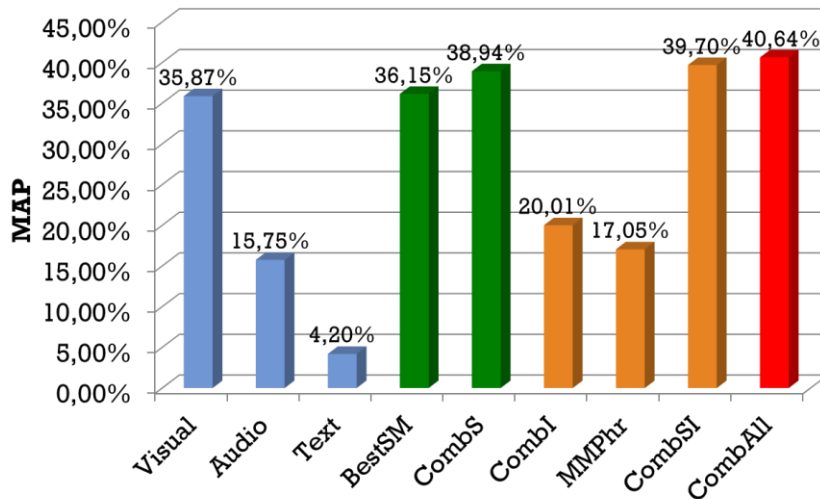
kelime torbası tabanlı öznitelik kullanılmıştır. Bu kiplerin nasıl elde edildiği ve kullanıldığıyla ilgili detaylı açıklama şu şekildedir:

- SIFT (Görsel): TRECVID 2012 değerlendirmesi için IRIM konsorsiyumundan (Ballas vd., 2012) INRIA tarafından çıkarılan SIFT kelime torbaları özniteliklerinin 4096-bin histogramı bu amaç için alınarak kullanılmıştır. 4096 binlik histogramın kullanılması, görsel kipin kelime haznesindeki 4096 görsel kelimeyi kullandığımız anlamına geliyor.
- MFCC (Ses): TRECVID 2012 değerlendirmesi için IRIM konsorsiyumundan (Ballas vd., 2012) LIRIS tarafından çıkarılan MFCC kelime torbaları özniteliklerinden 4096-bin histogramı kullanılmıştır. Sağlanan veri kümesinde, MFCC özellikleri, her video çekiminin ana karelerinin etrafında 2 saniyelik ses dalgaları kullanılarak 20 ms pencere uzunluğu ve 10 ms pencere kaydırması parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.
- TF-IDF (Metin): Metinsel TF-IDF özellikleri, TRECVID tarafından sağlanan Otomatik Konuşma Tanıma ve Makine Çevirisi metinleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalardan önce, içerikten bağımsız kelimelerin (stop-word) ayıklanması için bir filtreleme prosedürü uygulamış ve geriye kalan tüm sözcükler öznitelik hesaplaması için kullanılmıştır.

Testi gerçekleştirilen konfigürasyonlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Test konfigürasyonları

Configuration	Description
Visual, Audio, Text	Her bir veri kipinin ayrı değerlendirildiği konfigürasyonlar
BestSM	En iyi tek kip alındığı durum
Comb <sub>S</sub>	Tüm kiplerin birleştirildiği durum
Phr <sub>V</sub> , Phr <sub>A</sub> , Phr <sub>T</sub>	Her kipin kip içi analizinin yapıldığı durum
Comb <sub>I</sub>	Tüm kip içi analiz sonuçlarının birleştirildiği durum
MMPhr	Kipler arası analiz yapıldığı durum
Comb <sub>SI</sub>	Tüm kiplerin ve kip içi analizlerin birleştirildiği durum
Comb <sub>All</sub>	Tüm sonuçların birleştirildiği durum



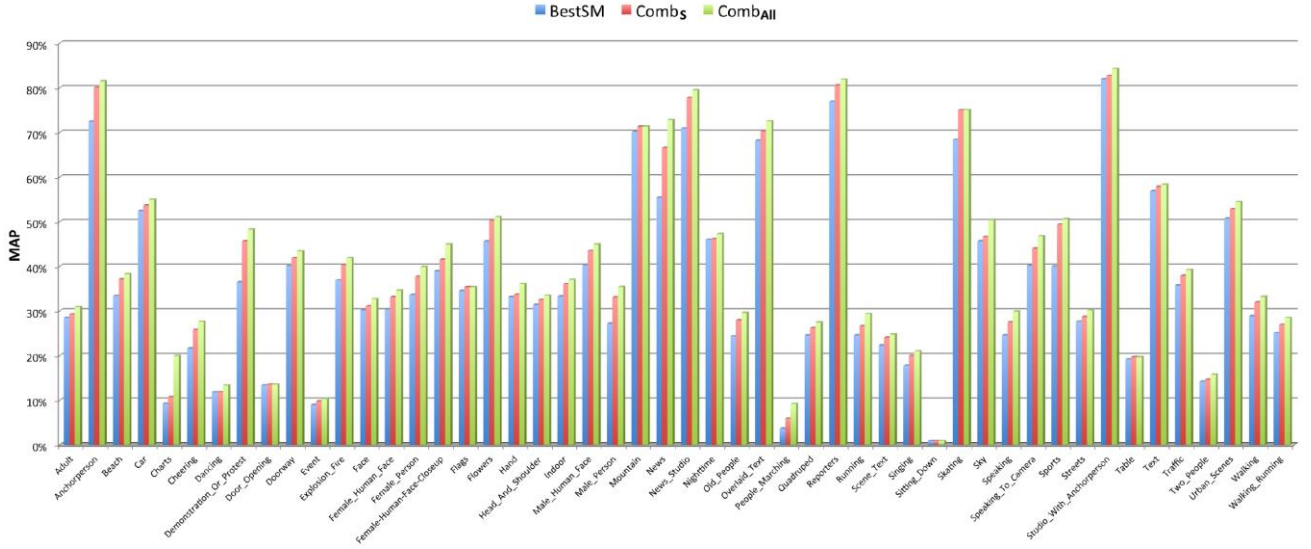
Şekil 15. Tüm test konfigürasyonları için MAP karşılaştırması

Bilgi erişim doğruluğunu ölçmek için Ortalama Hassasiyet (Average Precision - AP) ve Orta Ortalama Hassasiyet (Mean Average Precision-MAP) kullanılmıştır. AP, alınan listedeki her



ilgili isabetteki kesinliğin toplamı olup, toplamdaki ilgili belgelerin sayısı ve listenin uzunluğu ile bölünür. MAP, birkaç sorgu kavramının ortalamasıdır. Diğer bir deyişle, her bir kavramın AP'si ayrı ayrı hesaplanır ve daha sonra MAP bunların ortalaması alınarak bulunur. Şekil 15'te, Tablo 12'de verilen test konfigürasyonları için karşılık gelen MAP değerleri gösterilmektedir. Şekil 11'de verilen füzyon yönteminin tam olarak uygulandığı durum (Comb<sub>All</sub>) en başarılı sonucu üretmiştir.

Şekil 16, BestSM, CombS ve CombAll konfigürasyonları için Tablo 11'de verilen tüm konseptlerin MAP değerlerini göstermektedir. Tüm konseptler için, uygulanan füzyon yönteminin belgi getirim başarısını belli oranda artırdığı görülmektedir.



Şekil 16. Tüm konseptler için MAP karşılaştırmaları

### 3.4.2 Duyarga Ağı Simülasyonu, Büyük Veri Üretimi ve İşlenmesi Çalışmaları

Bir duyarga ağı, yüzlerce, binlerce ve hatta milyonlarca duyarga düğümü içerebilir. Literatürdeki çalışmaların birçoğu çok sayıda sensör içermektedir ve ağ davranışları simülasyonlarla test edilmektedir. Bu çerçevede, ileriki yıllarda çok büyük sayılarda sensör düğümü içeren duyarga ağlarının oluşacağı ve bu ağlardan ana istasyona ulaşan verinin büyük veri özelliklerine sahip olacağı değerlendirilmektedir.

Projedeki sınırlı sayıda düğümle ana istasyona yeterli boyutta ve çeşitlilikte veri aktarma imkânımız olmadığı için bu iş kapsamında aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

#### Duyarga ağ simülatörü geliştirilmesi:

Çoklu ortam duyarga ağı verisi üretmek üzere bir simülatör geliştirilmiştir. Geliştirilen simülatör tamamen yukarıda açıkladığımız duyarga düğümünü simüle etmekte ve düğüm tarafından algılanan ve ana istasyona iletilen duyarga bilgilerini üretmektedir. Simülatör yetenekleri şöyle özetlenebilir:

**Ağ topoloji simülasyonları:** Geliştirilen simülatör ağ topoloji simülasyonları yapabilmektedir. Örnek olarak şöyle bir ağ simüle edilebilir: Düğümler, kare olduğu varsayılan simülasyon alanına bir ızgara düzeni ile dağıtılsın. Her kümede 16 düğüm ve bir küme başı olan, toplamda 9 kümeden oluşan ve ana istasyonun merkezde olduğu bir ağ oluşturulsun. İki sensör düğümü arasında mesafe 10 birim olsun. Bu veriler ile 120 x 120

birim boyutlu ızgara düzeninde bir ağ oluşturulur. Ağın bir kenarında toplam 12 duyurga düğümü olur ve bunlar 3 adet kümeye ayrılır.

**Üretilen veriler:** PIR, akustik, titreşim sensörlerinin ürettiği veriler simülatör tarafından verilen senaryoya göre üretilmektedir. Çoklu ortam duyurgaları için ise nesne çıkarım sonucu direkt olarak üretilmektedir.

**Nesne türleri:** İnsan, hayvan, insan grubu ve araç olmak üzere dört farklı nesne kullanılmıştır.

**Senaryo simülasyonu:** Ağ topolojisi oluşturulduktan sonra, nesne türü belirlenmekte ve bu nesnenin ağın bulunduğu alanda hareketi çizilmektedir. Örneğin bir insan, belli bir noktadan ağ bölgesine girebilir, belli bir yolu takip ederek ağ bölgesini terk edebilir. Bu senaryoya göre simülatör nesne için verilen yol çevresindeki sensörlerin algıladığı verileri üreterek veri tabanına kaydetmektedir.

### **Veri modelleri ve veri tabanı testleri:**

Yukarıda açıklanan simülatör tarafından üretilen veriler için bir graf ve bir ilişkisel veri modeli üretilmiştir. Üretilen veriler geliştirilen model çerçevesinde aşağıda verilen veri tabanlarına yüklenmiştir:

- OrientDB v2.2.5 (Graph database)
- Neo4j v2.3.2 (Graph database)
- MySQL v5.7.1 (Relational database)

Üretilen veriler hem grafik veri tabanlarında hem de ilişkisel veri tabanında sorgulanarak test edilmiştir. Test sonuçları, grafik veri tabanı modelinin ilişkisel veri tabanı modelinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hangi grafik veri tabanının daha kullanışlı ve verimli olduğuna karar vermek için, iki iyi bilinen grafik veri tabanı, OrientDB ve Neo4j karşılaştırılmıştır. Neo4j, pazar lideri grafik veritabanıdır, ancak karmaşık multimedya büyük verilerini depolamak ve sorgulamak için tam olarak ihtiyaçlarımızı karşılamadığı sonucuna varılmıştır. Yapılan testlerde OrientDB'nin Neo4j'den daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Önerilen grafik modelini test etmek için duyurga ağından milyonlarca sentetik verinin akışı simüle edilmiştir. Sorgu performansı birçok karmaşık senaryoyla test edilmiştir. Verilerin, grafik veri tabanında verimli bir şekilde sorgulanabildiği sonucuna varılmıştır.

Bu konuda yaptığımız çalışmalar yayına çevrilerek bir konferans (Küçükkeçeci ve Yazıcı, 2016) ve bir dergi makalesi (Küçükkeçeci ve Yazıcı, 2018) üretilmiştir.

### **3.4.3 Videodan İçerik Çıkarımı, Depolanması ve Sorgulanması Çalışmaları**

Ana istasyona farklı kiplerden video verisi akacağı varsayılmaktadır. Buradaki kipler görüntü, ses ve metin olmak üzere üç türden oluşmaktadır. Söz konusu üç kip için veriler ham veri olabileceği gibi ham verinin işlenmesiyle elde edilen öznitelik veya nesne çıkarım sonucunda elde edilen semantik bilgi de olabilir. Bu nedenle, ana istasyon farklı kiplerde farklı nitelikteki verinin saklanması, işlenmesini ve sorgulanmasını kolaylaştıracak yeteneklere sahip olmalıdır. Ana istasyon herhangi bir kaynak kısıtlaması gerektirmediği için bu kapsamda yapılan çalışmalarda büyük kaynak gerektiren algoritmalar da kullanılabilir. Bu çerçevede yapılan çalışmaları çoklu ortam verisinden otomatik anlamsal veri çıkarımı, çoklu ortam

verisinin saklanacağı uygun veri model ve veri tabanlarının oluşturulması ve saklanan çoklu ortam verisinin etkin sorgulanması olarak gruplayabiliriz.

Otomatik anlamsal veri çıkarımı kapsamında, videonun görüntü, ses ve metin verilerinden nesne ve olay çıkarımı ve farklı kiplerin füzyonu ile çıkarım başarısının artırılması üzerinde durulmuştur. Nesne ve olay çıkarımı başarısını ve etkinliğini artıracak değişik teknikler incelenmiştir.

Çoklu ortam verisinin nasıl modelleneceği, nasıl bir veri tabanında saklanacağı, hızlı erişim için nasıl indeksleneceği gibi konular da ayrı bir araştırma alanıdır. Bu çerçevede de çalışmalar yürütülmüştür. Çoklu ortam verisinden anlamsal bilgi çıkarımı ve çoklu ortam verisinin depolanması ile ilgili yapılan çalışmalardan üç konferans (Koyuncu ve Cetinkaya, 2015; Dokeroglu vd., 2015; Yazıcı vd., 2016) ve iki dergi (Deniz vd., 2017; Yazıcı vd., 2018) yayını çıkarılmıştır.

Ana istasyonda çoklu ortam sorgulaması da mutlaka dikkate alınması ve etkin çözümler üretilmesi gereken bir sorundur ve proje sürecinde çoklu ortam veri sorgulamasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür.

Bu iş kapsamında temel olarak farklı sorgu türleri için çok kipli (multimodal) sorgu düzeyinde füzyon üzerinde durulmuştur. Çok kipli içerik tabanlı (çoklu ortam öznitelikleri) ve konsept tabanlı (çıkarılan semantik bilgiler) sorgular incelenmiştir. Yapılan işi aşağıda verilen iki maddede özetleyebiliriz:

1. İçeriğe göre sorgulama, konsepte göre sorgulama ve ikisinin birleşimini destekleyen bir istemci uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama, çok kipli (görsel, işitsel ve metin) bilgileri birleştirmek için mantıksal operatörlerle sorgulamayı desteklemektedir.
2. Her kip içindeki ve kipler arasındaki semantik korelasyonları kullanan sorgu düzeyinde bir füzyon tekniği geliştirilmiştir. Kip içi ve kipler arası korelasyonları yakalayabilmek için birlikte terim ve kiplerin birlikte bulunma bilgilerine bakılmaktadır. Elde edilen bilgiler çoklu ortam sorgularını genişletmek için kullanılmaktadır.

Yapılan testlerde geliştirilen yöntemin sorgulama performansını artırmada olumlu sonuçlar ürettiği görülmüştür. Konuyla ilgili yürütülen çalışmalardan iki konferans (Sattari ve Yazıcı, 2015; Sattari ve Yazıcı, 2017) ve bir dergi yayını (Sattari ve Yazıcı, 2018) üretilmiştir.

### **3.5 Kümeleme Algoritmasının Geliştirilmesi**

Teknolojide ve özellikle Mikro Elektro-Mekanik Sistemlerde (MEMS) meydana gelen gelişmeler ışığında doğan Kablosuz Duyarga Ağları, yüzlerce ya da binlerce düğüm noktası içerebilmektedir. Bu gelişmeler ve özellikle artan CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) kullanımı ile birlikte kablosuz duyarga ağlarının uygulama alanları, pasif-iç ortam uygulamalarından projemizin de konusu olan gözetleme uygulamalarını da içine alacak şekilde aktif-dış ortam uygulamalarına kaymıştır. Bu sebeple uç düğüm noktalarından (node) toplanan veriyi enerji tüketimini minimumda tutarak ana istasyona (sink) aktarmak giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu açılarından bakıldığında ağ kümeleme algoritmaları hem enerji-etkin çalışma alt yapısını sağlamakta, hem de ihtiyaç duyulan performans gerekliliklerini karşılamaktadır.

Kablosuz duyarga ağların üstlendikleri kritik öneme haiz görevler de değerlendirildiğinde, ana istasyona aktarılmasına ihtiyaç duyulan verinin güvenliğini sağlamak oldukça önemlidir.

Bu ağların iletim ortamı olarak kablosuz iletişim teknolojilerini kullanıyor olması tahmin edilemeyen güvenlik zafiyetlerine neden olmaktadır. Her ne kadar projemiz dahilinde kablosuz duyurga ağlardaki veri güvenliğinin sağlanmasına yönelik ayrı bir iş paketi olmasa da yaptığımız çalışmalar ve hazırlık aşamasındaki literatür taramaları ile bu zafiyetlerin neler olabileceği ve özellikle yönlendirme saldırılarının gözetleme duyurga ağlarındaki etkilerini nitel olarak değerlendiren akademik analizimiz bir bildiri haline getirilmiş ve uluslararası bir konferansta sunulmuştur (Sert vd., 2015). Bu noktadan itibaren yaptığımız çalışmalarda (Sert vd., 2015)'de belirtilen saldırı tiplerinin çerçevemiz dışarısında olduğu değerlendirilmiş ve oluşturduğumuz kablosuz duyurga ağının bu saldırılara maruz kalmadığını varsayarak kümeleme çalışmalarına ağırlık vermiş bulunmaktayız.

Kablosuz duyurga ağlarda kullanılan kümeleme yaklaşım ve algoritmaları, kümeleme yarıçapları eşit (equal) olan ve eşit olmayan (unequal/uneven) olmak üzere temelde ikiye ayrılmaktadır. Sınıflandırmadaki bu isimlendirme, algoritmaların işleyişi sonucunda ortaya çıkan kümelerin büyüklüğü ile ilgilidir. Eşit kümelemede, oluşan kümelerin şekil ve menzili yaklaşık olarak aynıdır ve bu kümeleme şeklinde literatürde sıcak noktalar (hotspots) olarak bilinen problem ortaya çıkmaktadır. Bu problem, ana istasyona yakın olan küme başlarının (cluster head), üzerinden aktarılan yoğun trafik dolayısıyla erken kullanım dışı oluşunu (pilin bitmesini) ifade etmektedir. Bu probleme çözüm olarak önerilen eşit olmayan kümeleme algoritmalarında ise oluşturulan kümelerin şekil ve menzilleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bunun yanı sıra bu tip ağlarda düğüm noktalarının ilk konuşlandırma yerleri, istemli veya istemsiz sebeplerle değişebilmektedir. Bu tip özel ağlardaki yer değişikliğinden ötürü kümeleme algoritmalarının bu değişkenliği göz önüne almaması sonucu veri toplanamayan ve iletilmeyen alanlar oluştuğu tespit edilmiştir. Gözetleme uygulamaları alanında canlı düğüm noktası sayısının çok olması, ilgilenilen alanın mümkün olduğunca kesintisiz gözetlenmesini sağlayacağından ve böylelikle ağın kullanım ömrü uzayacağından, eşit olmayan kümeleme algoritmalarının kullanılmasının gerekliliği açıktır.

Bu noktadan hareketle projemizde toplanan verinin gerek duyulduğunda ana istasyona enerji-etkin bir şekilde aktarılmasını sağlamak amacıyla ağ kümeleme algoritmaları ile ilgili literatür taramaları tamamlanarak mevcut algoritmalar incelenmiştir. Kullanılabilecek parametreler (girdi) değerlendirilmiş ve ön çalışmalar tamamlanarak detayları müteakip paragraflarda açıklanan Dağıtık Bulanık Kümeleme Algoritması [DFCA (Distributed Fuzzy Clustering Algorithm)] protokolü geliştirilmiş (Sert vd., 2016) ve FUZZ-IEEE 2016 Konferansı'nda sunulmuştur.

DFCA; kümeleme esnasında yarışma yarıçapı (*Competition Radius*) ve Küme Başı (KB)'nin seçiminde yerel kararları (local decisions) uygulayan, eşit olmayan (unequal), bulanık mantık (fuzzy logic) tabanlı dağıtık (distributed) bir kümeleme algoritmasıdır. Geçici KB seçiminde DFCA, *tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi* ile *düğüm göreceli bağlanabilirlik* parametrelerini girdi parametreleri olarak kullanır. Bununla birlikte, yarışma yarıçaplarının hesaplanmasında bulanık mantık kullanılır. Bu sayede kablosuz duyurga ağlarda içsel olarak yer alan belirsizliklerin etkin bir şekilde hesaplamalarda ele alınması sağlanmış olur.

DFCA protokolünün algoritması Şekil-17'de sunulmuştur. Bu algoritmada; KB seçiminde *tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi (Estimated Residual Energy)*'nin kullanımı şöyledir: Algoritma, enerjisi yüksek olan düğüm noktaları arasında KB olma durumunu sürekli (her KB seçim turunda) değerlendirerek bir düğüm noktasının üzerinden relay edilen enerji değeri nedeniyle erken kullanım dışı kalmasını önleyici rotasyonu sağlamaktır. *Göreceli bağlanabilirlik (Relative Node Connectivity)* değerinin girdi parametresi olarak kullanım seçimi dağıtık ve etkin hesaplama ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır. Bu parametre için gerekli tüm hesaplama, merkezi bir koordinatöre ihtiyaç duymadan, yerel olarak düğüm noktaları üzerinde yapılabilmekte ve dolayısıyla dağıtık bir hesaplama ortamına (ve böylece devre dışı kalan düğümünden etkilenmeden) ulaşılabilmekte ve protokol çalışmaya devam edebilmektedir. Buna ilave, yerel olarak daha merkezi olan düğüm noktaları (daha yüksek

bağlanabilirlik değeri) daha geniş bir yarıçapta yarışmaya dâhil olabilmekte ve bundan dolayı daha kısa mesafelere gönderme yapılarak kalan enerji efektif (etkin olarak) kullanılabilir.

```
Girdi   : A Non-Clustered WSN ( $\alpha$ :CH_Threshold)
Çıktı   : A Fuzzy Clustered WSN
1:  $S_i \leftarrow$  MEMBER
2: clusterMembers  $\leftarrow$  NULL
3: myCH  $\leftarrow$  This (self)
4: becomeTentativeCH  $\leftarrow$  TRUE
5:  $\beta \leftarrow$  MathRand[0,1]
6: if ( $\beta < \alpha$ ) then
7:     By using two fuzzy input variables, generate  $Comp_i$ 
8:     Propagate CandidateMessage ( $Id, Comp_i, E_i, c_i$ )
9:     On receiving CandidateMessage from node  $j$ 
10:    if ( $E_i < E_j$ ) then
11:        becomeTentativeCH  $\leftarrow$  FALSE
12:        Propagate CeaseElectionMessage( $Id$ )
13:    else if ( $E_i == E_j$ ) and ( $c_i \leq c_j$ ) then
14:        becomeTentativeCH  $\leftarrow$  FALSE
15:        Propagate CeaseElectionMessage( $Id$ )
16:    end if
17: end if
18: if becomeTentativeCH = TRUE then
19:    Propagate CHMessage( $Id$ )
20:     $S_i \leftarrow$  CLUSTERHEAD
21:    On receiving JoinCHMessage( $Id$ ) from node  $j$ 
```

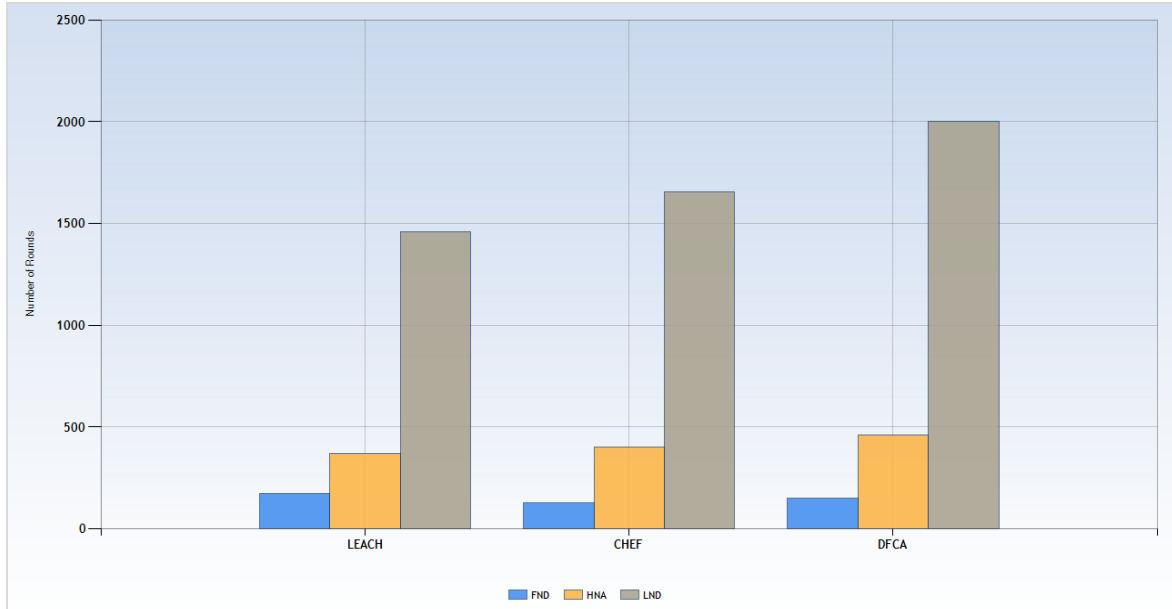
Şekil 17. DFCA protokolünün algoritması

KB seçim yarışması, belirlenen bulanık kuralların belirsizlikleri ortadan kaldırmak için uygulanmasıyla yapılmaktadır. DFCA protokolünde uygulanan bulanık kurallar Tablo 13’de verilmiştir. Bu kuralların değerlendirilmesinde literatürde *Mamdani Controller* olarak bilinen yöntem bulanık sonuç çıkarma tekniği olarak kullanılmakta ve ağırlık merkezi (*COG - Center of Gravity*) metodu çıktı parametresi *yarışma yarıçapının* durulaştırma/kesinleştirme (defuzzification) işleminde uygulanmaktadır.

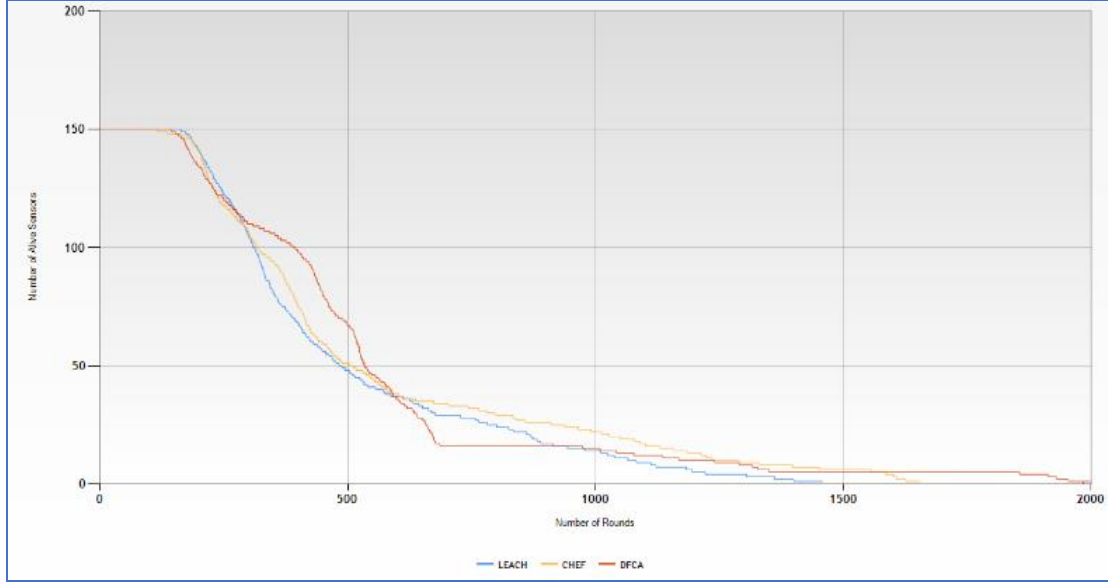
Tablo 13. DFCA protokolünde uygulanan bulanık kurallar

Estimated Residual Energy (GİRDİ)	Relative Node Connectivity (GİRDİ)	Competition Radius (ÇIKTI)
Low (Düşük)	Sparse (Seyrek)	<b>3XS</b>
Low	Normal (Normal)	<b>2XS</b>
Low	Dense (Yoğun)	<b>XS (X-Small)</b>
Medium (Orta)	Sparse	<b>Small (Küçük)</b>
Medium	Normal	<b>Medium (Orta)</b>
Medium	Dense	<b>Large (Büyük)</b>
High (Yüksek)	Sparse	<b>XL (X-Large)</b>
High	Normal	<b>2XL</b>
High	Dense	<b>3XL</b>

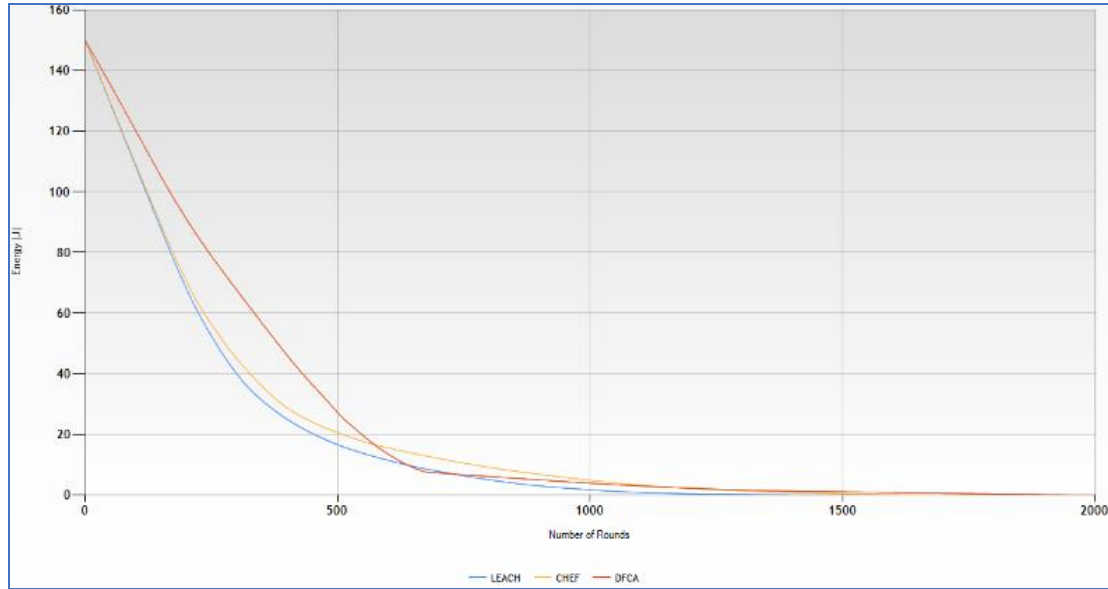
Geliştirilen protokolün literatürde mevcut algoritmalar (LEACH, CHEF) ile karşılaştırmalarını içeren analiz sonuçları Şekil 18, 19 ve 20’de sunulmuştur.



Şekil 18. Kümeleme tur (round) sayısına göre FND – HND metrik değerleri



Şekil 19. Kümeleme tur (round) sayısına göre canlı (alive) düğüm noktası sayıları



Şekil 20. Kümeleme tur (round) sayısına göre toplam kalan enerji (TRE) değerleri

Yapılan deneylerden alınan sonuçlara göre; bulanık kümeleme algoritmaları bulanık olmayan emsalini HNA (Half-of-the-Nodes-Alive) metriğine göre geride bırakmıştır. Ancak; FND (First Node Dies) metriğine göre LEACH her iki algoritmayı geride bırakmıştır. Sonuçlarda (kablosuz duyurga ağlarda da literatürde kabul edildiği şekliyle) her ne kadar LND (Last Node Dies) metriği dikkate alınmasa da, DFCA dâhil bulanık kümeleme algoritmaları bulanık olmayan emsallerine nazaran daha iyi performans sergilemektedir.

DeneySEL sonuçlara göre CHEF algoritması HNA metriğine göre en iyi sonuçları vermiştir, ancak düğüm noktalarının yarısı enerjilerini tüketip devre dışı kaldıktan sonra ağ üzerinde kalan toplam enerjiyi (TRE) DFCA protokolüne göre çok daha hızlı tüketerek ağın daha erken kullanım dışı kalmasına sebep olmuştur. Canlı düğüm sayısının çok önemli olduğu kablosuz duyurga ağ uygulamalarında, özellikle gözetleme uygulamaları gibi kritik

uygulamalarda, geliştirdiğimiz DFCA protokolünün kullanımı ağ genelinde dengeli enerji tüketimi sağlaması bakımından da umut vericidir.

Projenin devamında kullandığımız parametreler [tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi (Estimated Residual Energy), görelî bağlanabilirlik (Relative Node Connectivity)] ile test ettiğimiz senaryo sayısı artırılmış ve DFCA algoritması dört farklı senaryoda test edilmiştir. Buradaki amacımız; geliştirilen algoritmanın projemiz kapsamında genel kullanım için geçerli bir çözüm sağlayıp sağlamadığını görmektir. Test edilen senaryolar genel hatlarıyla aşağıda açıklanmıştır:

**Senaryo 1:** 100 düğüm noktası, 500m x 500m. ilgi alanı (alan sınırları) içerisinde rastgele konuşlandırılmış, ana istasyon ilgi alanı içerisine (250,250) yerleştirilmiş ve kümeleme algoritmasının (DFCA) veri toplamadaki enerji tüketimi simüle edilmiştir.

**Senaryo 2:** 100 düğüm noktası, 500m x 500m. ilgi alanı (alan sınırları) içerisinde rastgele konuşlandırılmış, ana istasyon ilgi alanı sınırlarına (0,0) yerleştirilmiş ve kümeleme algoritmasının veri toplamadaki enerji tüketimi simüle edilmiştir.

Senaryo 1 ve Senaryo 2 ile ulaşılmak istenen amaç ana istasyonun yerinin geliştirilen kümeleme algoritmasındaki enerji tüketimine etkisinin ölçülmesidir.

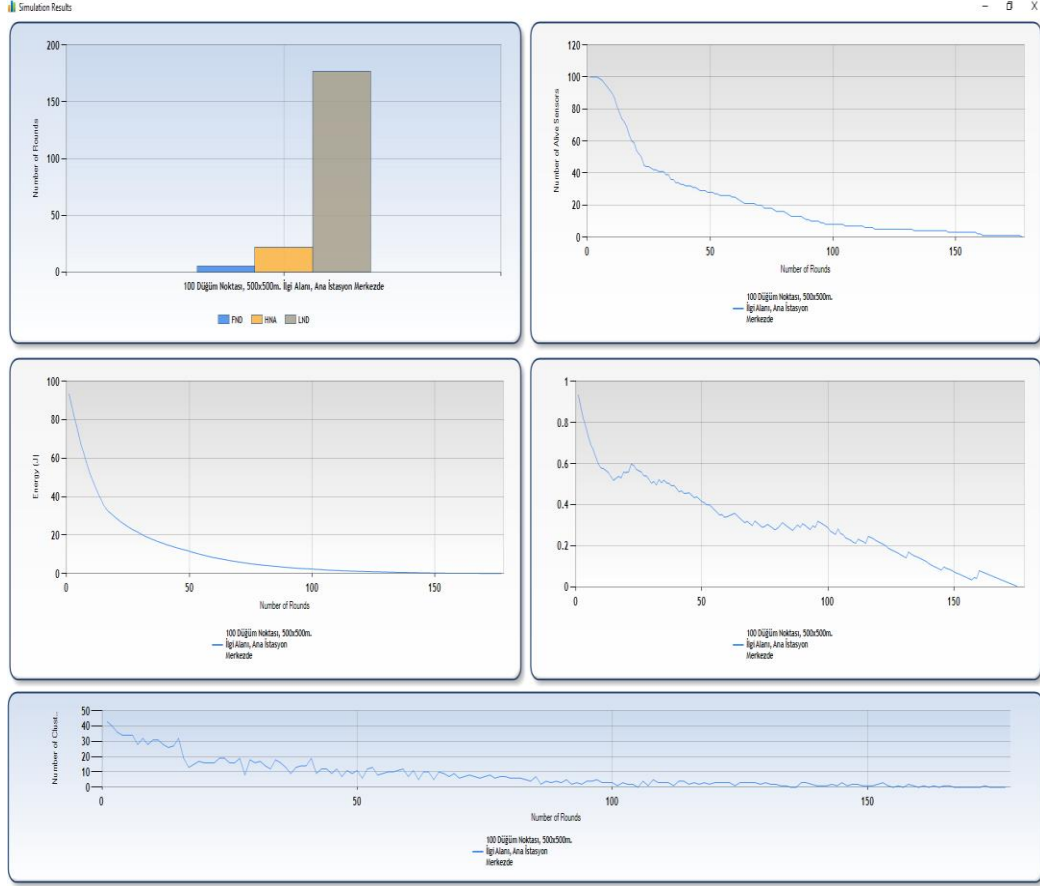
**Senaryo 3:** 100 düğüm noktası, 1000m x 1000m. ilgi alanı (alan sınırları) içerisinde rastgele konuşlandırılmış, ana istasyon ilgi alanı dışarısında (-100,-100) konuşlandırılmış ve kümeleme algoritmasının (DFCA) veri toplamadaki enerji tüketimi simüle edilmiştir.

**Senaryo 4:** 500 düğüm noktası, 1000m x 1000m. ilgi alanı (alan sınırları) içerisinde rastgele konuşlandırılmış, ana istasyon ilgi alanı dışarısında (-100,-100) konuşlandırılmış ve kümeleme algoritmasının (DFCA) veri toplamadaki enerji tüketimi simüle edilmiştir.

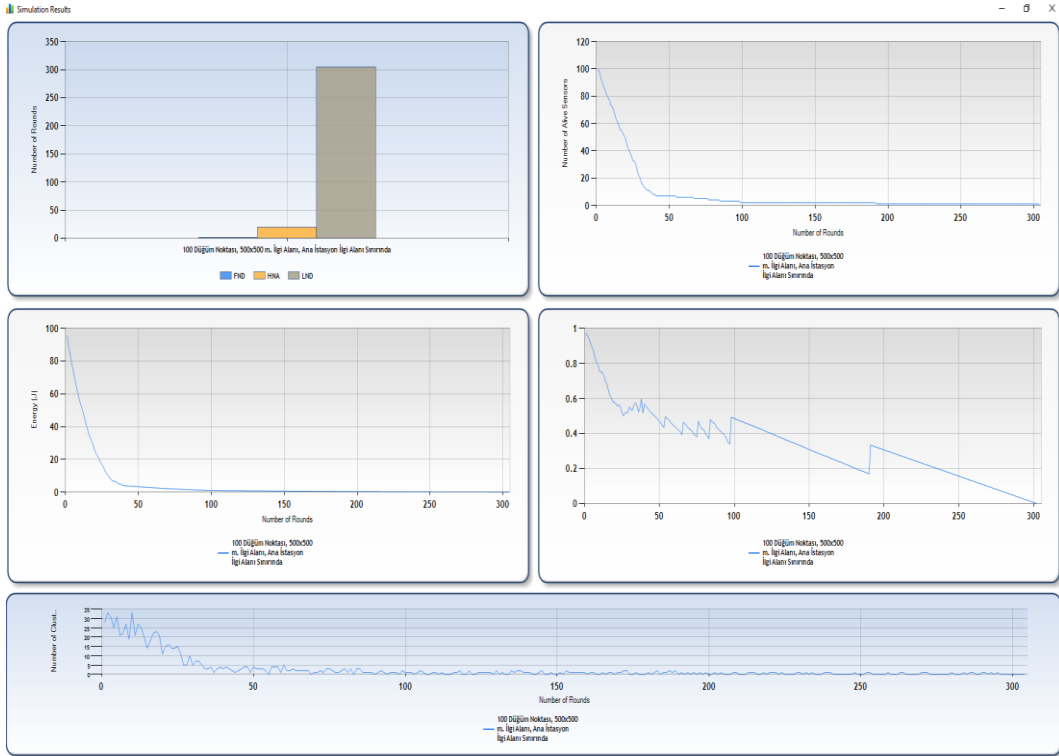
Senaryo 3 ve Senaryo 4 ile ulaşılmak istenen amaç düğüm noktası sayısındaki artışın (günümüz koşullarında bu ağlarda binler hatta on binlerce düğüm noktası kullanılabilir) ve ilgi alanı genişliğinin kümeleme algoritmasındaki enerji tüketimine etkisinin ölçülmesidir.

Senaryo 1 ve 2'ye ilişkin yapılan testlerin 10 koşuturma sonucuna göre ortalamaları Şekil 21 ve Şekil 22'de sunulmuştur. Senaryo 3 ve Senaryo 4 ile geliştirdiğimiz algoritmanın (DFCA) duyurga ağlar üzerindeki ölçeklenebilirliği simüle edilmiş ve 10 koşuturma sonucuna göre alınan test sonuçları Şekil 23 ve Şekil 24'de sunulmuştur. Senaryo sayısının artırılması ile (farklı senaryolar üzerinde) yapılan testlerden başarılı sonuçlar alınmış ve DFCA algoritmasının emsallerine üstünlüğünü koruduğu teyit edilmiştir.

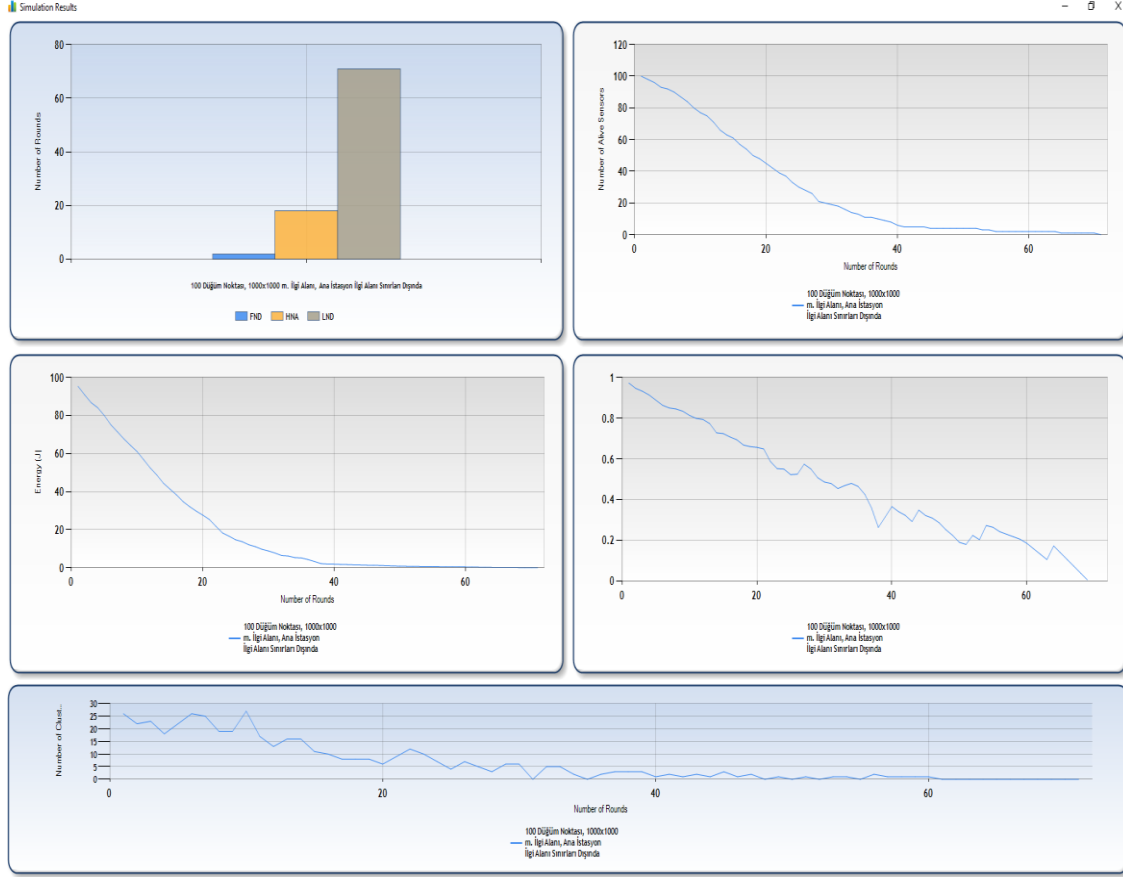




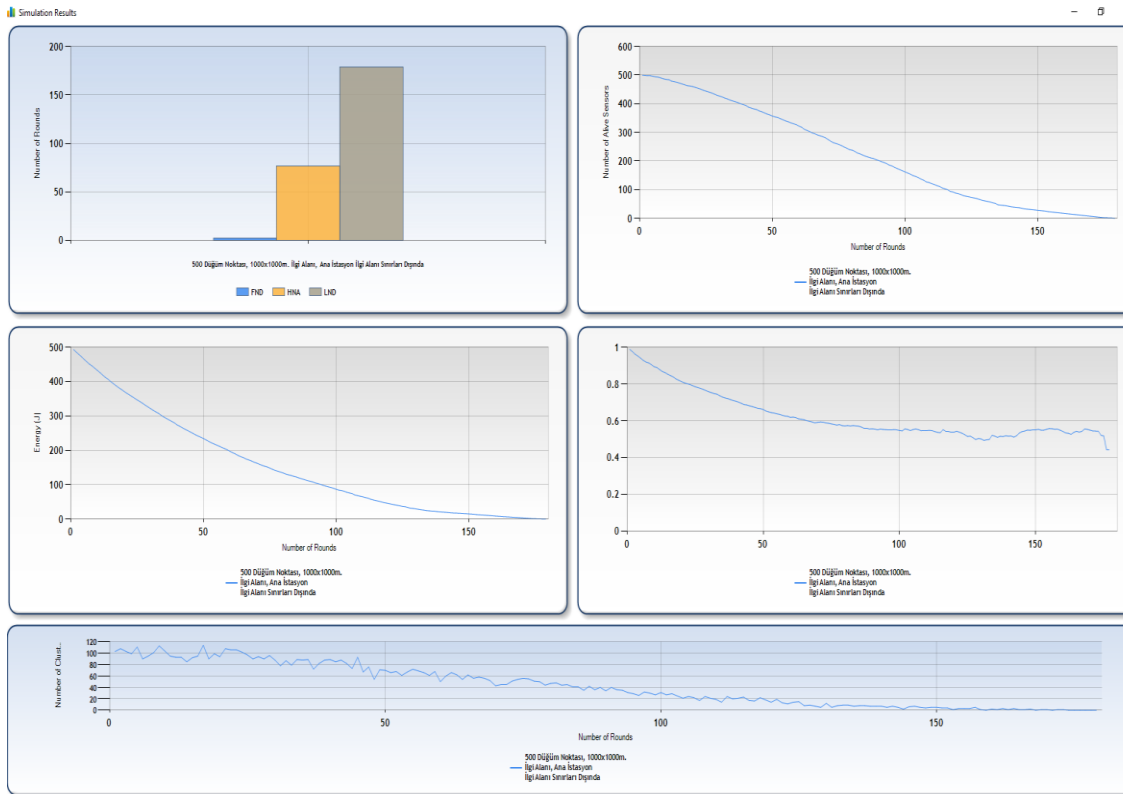
Şekil 21. Senaryo 1 test sonuçları



Şekil 22. Senaryo 2 test sonuçları



Şekil 23. Senaryo 3 test sonuçları



Şekil 24. Senaryo 4 test sonuçları

Ayrıca, seçmiş olduğumuz parametreler (Tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi [Estimated Node Residual Energy] ve Görelî bağlanabilirlik [Relative Node Connectivity]) haricinde farklı parametre setleri kullanarak (Örneğin Estimated Node Residual Energy+Distance to Base Station) testler yapmak ve daha efektif (enerji-etkin) bir çözüme ulaşmış olduğumuzu ortaya koymak, proje kapsamında yapmayı planladığımız işlerdendi. Literatürde ağ (düğüm noktası) kümeleme çalışmalarında kullanılan parametreler ve yaygın kullanım maksatları genel hatlarıyla Tablo 14'de verilmiştir.

*Tablo 14. Kümeleme çalışmalarında yaygın kullanılan parametreler*

Parametre Adı	Kullanım Amacı
Kalan Enerji	Düğüm noktasının $t$ anındaki enerjisini ifade eder ve kümeleme çalışmalarında kilit rol oynayarak enerji tüketimini ayarlamayı (ağ üzerinde dengelemeyi) hedefler.
Bağlanabilirlik	Düğüm noktasının tek atlama (one hop) ile ulaşabildiği (bağlanabildiği) düğüm sayısını ifade eder ve düğüm noktasının konumunu (ne kadar farklı düğüm noktası ile haberleşebildiğini) tespit ederek en az gönderme/alma gücü kullanarak veri toplamayı hedefler.
Ana İstasyona Uzaklık	Düğüm noktasının konuşturulmuş olan Ana İstasyona (Sink) uzaklığını ifade eder. Genellikle eşit olmayan kümeleme algoritmalarında ön plana çıkarak ana istasyondan uzak olan kümelerin daha büyük, yakın olan kümelerin ise daha küçük olmasında kullanılır. Buradaki amaç, küme içi ve kümeler arası enerji tüketiminin optimizasyonudur.
Yoğunluk	Bağlanabilirlik parametresinin farklı şekilde kullanımınıdır. Bir küme içerisinde yer alan düğüm noktasının bağlantı kurabildiği düğüm sayısının ağ içerisindeki canlı düğüm sayısına oranı ile bulunabilen bir değerdir ve düğüm noktasının konumunu (ne kadar farklı düğüm noktası ile haberleşebildiğini) tespit ederek etkin veri toplamayı hedefler.
Merkezilik	Bir düğüm noktasının küme içerisindeki konumu (koordinatları) vasıtasıyla o küme içerisindeki düğüm noktalarının en kısa mesafeye gönderme yapmasını sağlayacak KB (Küme Başı) seçiminin yapılması çalışmalarında kullanılır. Amaç en merkezi düğümün seçilerek küme içerisinde toplam gönderme mesafesinin minimize edilmesidir.

Bu kapsamda aşağıda açıklanan iki parametre seti ile testler yürütülmüştür:

**Set 1:** Tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi (Estimated Node Residual) + Ana İstasyona Uzaklık (Distance to Base Station)

**Set 2:** Görelî bağlanabilirlik (Relative Node Connectivity) + Ana İstasyona Uzaklık (Distance to Base Station)

Yürütülen testlerden ilk setin, literatürde farklı bir algorithmada kullanılan parametre seti olduğundan hareketle DFCA algoritmasının bu parametre seti ile başarımı ölçülmüş ve yukarıda verilen sonuçlara yakın sonuçlar elde ettiği yapılan simülasyonda görülmüştür. Test edilen ikinci parametre seti ile DFCA algoritmasının başarımı ölçüldüğünde algoritmasının Küme Başı (KB) seçiminde yanlış (iyiden uzak) kararlar ürettiği görülmüştür. Elde edilen sonuç incelendiğinde KB'ların enerji tüketimindeki hassasiyetin (kalan enerjisinin) göz önüne alınmaması neticesinde istenenden uzak sonuçlar üretildiği ve enerji-etkin işleyişin odak noktası olduğu çalışmalarda algoritma parametre seti içerisinde düğüm noktası kalan enerjisinin yer alması gerektiği içsel düşüncesi geçirilmiştir.

Bu noktadan hareketle DFCA protokolünün Şekil 25’de verilen algoritması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu algoritmada üçüncü bir parametrenin kullanımı çalışmalarına başlanılmış ve algoritmanın 7. satırında belirtilen yarışma yarıçapının (competition Radius) hesaplanması için tahmin edilen düğüm noktası kalan enerjisi (Estimated Node Residual) + Ana İstasyona Uzaklık (Distance to Base Station) + Görelî bağlanabilirlik (Relative Node Connectivity) parametrelerinin beraber kullanımı üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Üç parametrelî hale getirilerek tasarımı yenilenen algoritmada sadece parametre sayısının artırılması ile değil; buna ilave olarak 6. satırda belirtilen olasılıksal yaklaşımdan kısmen uzaklaşarak son r turda (round) KB kümesinde (set) bulunmayan düğüm noktalarına KB seçiminde öncelik verme ve 5. satırda oluşturulan rastgele değerin ( $\beta$ ), 6. satırda yapılan testte (KB\_Eşik\_Değerine ( $\alpha$ ) göre mantıksal sonucu) %10 yaklaşık olma (sınırlar içerisinde kalma) durumunda doğru (true) değer üreterek 7-17 satırların akışına devam edilmesi yönünde çalışmalar sürdürülmüştür. Tasarımı yenilenen DFCA algoritmasının önceki versiyonuna göre daha enerji-etkin (verimli) sonuçlar elde ettiği ortaya çıkmıştır.

```
Girdi : A Non-Clustered WSN ( $\alpha$ :CH_Threshold)
Çıktı : A Fuzzy Clustered WSN
1:  $S_i \leftarrow$  MEMBER
2: clusterMembers  $\leftarrow$  NULL
3: myCH  $\leftarrow$  This (self)
4: becomeTentativeCH  $\leftarrow$  TRUE
5:  $\beta \leftarrow$  Math_Rand[0,1]
6: if ( $\beta < \alpha$ ) then
7:   By using two fuzzy input variables, generate  $Comp_i$ 
8:   Propagate CandidateMessage ( $Id, Comp_i, E_i, c_i$ )
9:   On receiving CandidateMessage from node  $j$ 
10:    if ( $E_i < E_j$ ) then
11:      becomeTentativeCH  $\leftarrow$  FALSE
12:      Propagate CeaseElectionMessage( $Id$ )
13:    else if ( $E_i == E_j$ ) and ( $c_i \leq c_j$ ) ) then
14:      becomeTentativeCH  $\leftarrow$  FALSE
15:      Propagate CeaseElectionMessage( $Id$ )
16:    end if
17:  end if
18: if becomeTentativeCH = TRUE then
19:   Propagate CHMessage( $Id$ )
20:    $S_i \leftarrow$  CLUSTERHEAD
21:   On receiving JoinCHMessage( $Id$ ) from node  $j$ 
22:     clusterMembers  $\leftarrow$  ADD( $j$ )
23:   EXIT
24: else
25:   On receiving all CHMessages
26:   myCH  $\leftarrow$  the nearest CH
27:   Send JoinCHMessage( $Id$ ) to the nearest CH
28:   EXIT
29: end if.
```

Şekil 25. Kümeleme algoritması

Geliştirilen kümeleme algoritmasının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi çalışmalarına proje süreci içerisinde devam edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Çok-Atlamalı Kablosuz Duyarga Ağlarında Verimli Veri Toplama için İki Aşamalı Dağıtık Bulanık Mantık Tabanlı Protokol (A Two-Tier Distributed Fuzzy Logic Based Protocol for Efficient Data Aggregation in Multi-Hop Wireless Sensor Networks) geliştirilmiştir.

Kısaca belirtmek gerekirse; bu çalışma, çok-atlamalı kablosuz duyurga ağlarındaki veri toplama işlemlerinin verimliliğini artırmak için iki aşamalı bir bulanık mantık tabanlı protokol önermektedir. Kümelenmiş bir ağda, üye düğümler, elde edilen verileri ana istasyona küme başları (KB) üzerinden iletir. Çok-atlamalı kablosuz ağlarda, bu KB tarafından yapılan gönderme diğer KB'ları üzerinden gerçekleşir. Çok-atlamalı topolojinin benimsenmesi nedeniyle sıcak noktalar ve/veya enerji deliği problemleri ortaya çıkabilir. Kümeleme (clustering) ve yönlendirme (routing) aşamalarının verimliliği birlikte dikkate alınarak çok katmanlı duyurga ağların ömrünü uzatmak için Çok-Atlamalı Kablosuz Duyurga Ağlarında Verimli Veri Toplama için İki Aşamalı Dağıtık Bulanık Mantık Tabanlı Protokol (A Two-Tier Distributed Fuzzy Logic Based Protocol for Efficient Data Aggregation in Multi-Hop Wireless Sensor Networks - TTDFP) önerilmiş ve geliştirilmiştir. Önerilen protokol (TTDFP), duyurga ağ uygulamaları için verimli bir şekilde çalışan ve ölçeklenebilen dağılım uyumlu bir protokoldür. Ek olarak, iki aşamalı bulanık mantık tabanlı protokol ile birlikte, belirli bir kablosuz duyurga ağın performansını optimize etmek için bulanık kümeleme aşamasında kullanılan parametreleri ayarlamak için bir en iyileme (optimization) çerçevesi kullanılmaktadır. Önerilen protokolün, seçilen son teknoloji algoritmalarla performans karşılaştırmaları ve deneysel değerlendirmeleri de yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları, TTDFP'nin, protokollerin enerji verimliliği ve ağ ömrünü karşılaştırmak için kullanılan metrikler dikkate alındığında, aynı çalışma ve konuşlandırma altındaki diğer protokollerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Literatüre yapılan katkılar şu şekildedir: Birinci aşamada (Tier I), protokol esas olarak olasılıksal bir model aracılığıyla seçilen geçici küme başlarının enerji odaklı yarışması yoluyla nihai küme başlarına (KB) karar verir. Protokol, kablosuz duyurga ağların ömür gereksinimlerini göz önünde bulundurarak rekabetçi, tamamen dağıtık ve optimize edilmiş bir protokoldür. Protokol, aşamalarından herhangi birinde merkezi bir karar verme odağına ihtiyaç duymaz. Bu dağıtık işletim mimarisi, protokolü tek noktadan arıza (single point of failure) durumlarından korur. Bulanık kümeleme evresi ortaya çıkan belirsizliği net ve diğer bulanık muadillerinden daha verimli bir şekilde ele alır.

Literatürdeki pek çok çalışmanın ana odak noktasının enerji verimli kümeleme üzerinde olması ve bildiğimiz kadarıyla, bunların hiçbirinin kümeleme ve yönlendirme aşamalarının etkinliğini beraber ele almadığına dikkati çekmek istiyoruz. Aynı zamanda, bu protokol işleyişi aşamasında Maksimum Yarışma Yarıçapı ve Eşik adı verilen iki parametreyi ayarlamak ve bu parametrelerin doğru karışımını bulmak için bir deneme-yanılma yaklaşımı kullanmak yerine en iyileme (optimizasyon) çerçevesi kullanıyoruz.

Kullanılan optimizasyon çerçevesi, kablosuz duyurga ağların performans ölçümlerini en iyilemek amacıyla yukarıda bahsedilen iki parametrenin söz konusu değerini bulmak için Benzetilmiş Tavlama (Simulated Annealing) algoritmasını kullanır. Ek olarak, ikinci aşama (Tier II), aynı zamanda keskin (crisp) bir muadili ile karşılaştırıldığında yönlendirme performansını geliştiren bir yeniliktir.

Yapılan söz konusu katkılar nedeniyle, uygulama alanına göre güncellenebileceği de göz önünde bulundurulduğunda, bu protokolün görev-kritik (mission-critical) gerçek yaşam uygulamalarında kullanılmak üzere aday bir yaklaşım olduğu kanaatindeyiz.

TTDFP'nin geliştirilmesinde kullanılan birinci aşama algoritmalar Şekil 26 ve Şekil 27'de, uygulanan bulanık kurallar ise Tablo 15'de verilmiştir.

### Algorithm 1: Distributed Fuzzy Clustering Phase

**Input:** A Non-Clustered Network  
**Output:** A Fuzzy-Clustered Network

- 1  $Th \leftarrow$  Optimized value using SA
- 2  $S_i \leftarrow$  CLUSTERMEMBER
- 3 clusterMembers  $\leftarrow$  NULL
- 4 myCH  $\leftarrow$  This (self)
- 5 beProvisionalCH  $\leftarrow$  TRUE
- 6 **if** ( $\mu < Th$ ) **then**
  - 7 By using fuzzified input descriptors, form  $Comp_i$
  - 8 Communicate Candidate ( $Id, Comp_i, E_i, C_i$ )
  - 9 On receiving Candidate from Node  $j$
  - 10 **if** ( $E_i < E_j$ ) **then**
    - 11 beProvisionalCH  $\leftarrow$  FALSE
    - 12 Communicate CeaseElection( $Id$ )
  - 13 **else if** ( $(E_i = E_j)$  and  $(C_i \leq C_j)$ ) **then**
    - 14 beProvisionalCH  $\leftarrow$  FALSE
    - 15 Communicate CeaseElection( $Id$ )
- 16 **if** ( $beProvisionalCH = TRUE$ ) **then**
  - 17 Communicate CHMessage( $Id$ )
  - 18  $S_i \leftarrow$  CLUSTERHEAD
  - 19 On receiving JoinCH( $Id$ ) from Node  $j$
  - 20 clusterMembers  $\leftarrow$  ADD( $j$ )
  - 21 EXIT
- 22 **else**
  - 23 On receiving all CHMessages
  - 24 myCH  $\leftarrow$  The closest CH
  - 25 Communicate JoinCH( $Id$ ) to the closest CH
  - 26 EXIT

Şekil 26. Dağıtık bulanık kümeleme aşaması

### Algorithm 2: Optimization Approach

**Input:**  $(MaxCompRad, Th)_{initial}$   
**Output:**  $(MaxCompRad, Th)_{optimal}$

- 1 Pass  $(MaxCompRad, Th)_{initial}$  to SA
- 2 Pass Operating Conditions to DESS
- 3 Pass Performance Metric to DESS
- 4 FZA: Trigger Optimization Framework
  - 5 Simulated Annealing: Explore search space
  - 6 Trigger DESS to evaluate new pair
  - 7 Return fitness score
- 8 Return  $(MaxCompRad, Th)_{optimal}$

Şekil 27. En iyileme yaklaşımı

Tablo 15. TTDFP birinci aşamada uygulanan bulanık kurallar

Distance To The Base Station (Ana İstasyona Uzaklık) (GİRDİ)	Remaining Energy (Kalan Enerji) (GİRDİ)	Relative Node Connectivity (Görelî Düğüm Bağlanılabilirliği) (GİRDİ)	Competition Radius (Yarışma Yarıçapı) (ÇIKTI)
Close (Düşük)	Low (Alçak)	High (Yüksek)	<b>CR1</b>
		Medium (Orta)	<b>CR2</b>
	Low	Poor (Zayıf)	<b>CR3</b>
		High	<b>CR4</b>
	Medium (Orta)	Medium	<b>CR5</b>
		Poor	<b>CR6</b>
	Medium	High	<b>CR7</b>
		Medium	<b>CR8</b>
	High (Yüksek)	High	<b>CR9</b>
High		<b>CR10</b>	
Medium (Orta)	Low	Medium	<b>CR11</b>
		Poor	<b>CR12</b>
	Low	Poor	<b>CR13</b>
		Medium	<b>CR14</b>
	Medium	High	<b>CR15</b>
		Poor	<b>CR16</b>
	High	Medium	<b>CR17</b>
		High	<b>CR18</b>
	High	Poor	<b>CR19</b>
Low		<b>CR20</b>	
Far (Uzak)	Low	High	<b>CR21</b>
		Poor	<b>CR22</b>
	Medium	Medium	<b>CR23</b>
		High	<b>CR24</b>
	Medium	Poor	<b>CR25</b>
		High	<b>CR26</b>
	High	High	<b>CR27</b>
		High	

TTDFP'nin geliştirilmesinde kullanılan İkinci aşama algoritma Şekil 28'de, uygulanan bulanık kurallar ise Tablo 16'da verilmiştir.

**Algorithm 3: Fuzzy Routing Phase**

---

**Input:** Route/s (RREP packet/s)  
**Output:** The Routing Route (RR)

```

1  $Min \leftarrow 1$ 
2  $RR \leftarrow NULL$ 
3  $Enum(Routes)$ 
4 if ( $Count(Routes) < Min$ ) then
    | /* No possible route (not connected) */
5      $RR \leftarrow NULL$ 
6     EXIT
7 else if ( $Count(Routes) = Min$ ) then
    | /* use the only possible route */
8      $RR \leftarrow OnlyRoute$ 
9     EXIT
10 else
11     foreach  $route\ r \in Routes$  do
12         | By using fuzzified inputs, form  $Ch_r$ 
13         |  $CandidateRoute_r (Id_r, Ch_r, ALRE_r)$ 
14      $RR \leftarrow CandidateRoute_1$ 
15     for  $i = 2$  to  $Count(Routes)$  do
16         | if ( $Ch_i < Ch_{RR}$ ) then
17             | /* RR does not change */
18             | else if ( $(Ch_i = Ch_{RR})$  and
19             |  $(ALRE_i \leq ALRE_{RR})$ ) then
20             | /* RR does not change */
21             | else
22                 |  $RR \leftarrow CandidateRoute_i$ 
23     EXIT

```

---

Şekil 28. Bulanık yönlendirme aşaması

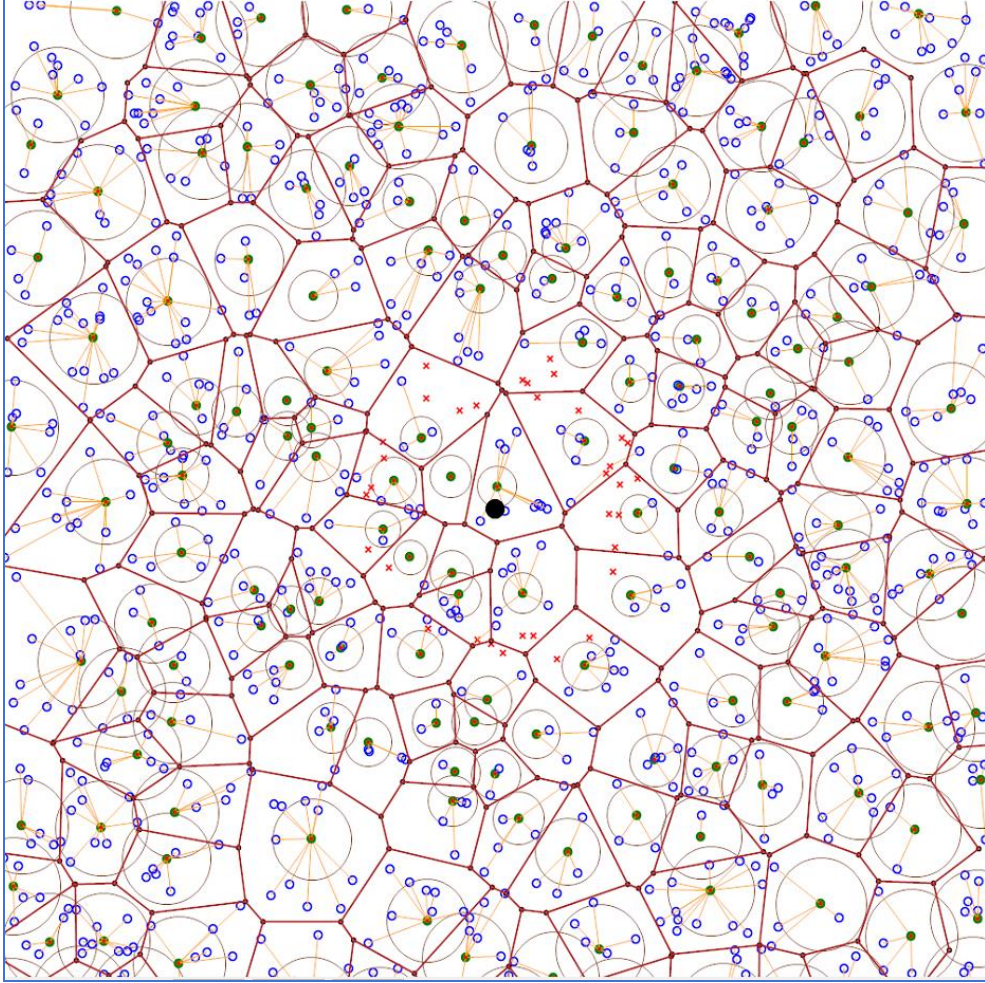
Tablo 16. TTDFP ikinci aşamada uygulanan bulanık kurallar

Relative Distance (Görelî Uzaklık) (GİRDİ)	Average Link Residual Energy (Bağlantı Kalan Enerji Ortalaması) (GİRDİ)	Chance Value (Şans Değeri) (ÇIKTI)
Far (Uzak)	Low (Düşük)	<b>Very Low</b>
Far	Medium (Orta)	<b>Extra Low</b>
Far	High (Yüksek)	<b>Moderately Low</b>
Regular (Normal)	Low	<b>Low</b>
Regular	Medium	<b>Normal</b>
Regular	High	<b>High</b>
Close (Yakın)	Low	<b>Moderately High</b>
Close	Medium	<b>Extra High</b>
Close	High	<b>Very High</b>

Geliştirilen protokol her bir aşaması (tier) için ayrı ayrı (birbirinden bağımsız olarak test edilmiş) ve elde edilen deneysel sonuçlara göre karşılaştırma yapılan algoritma/protokollerden daha enerji verimli olduğu ortaya konulmuştur. TTDFP



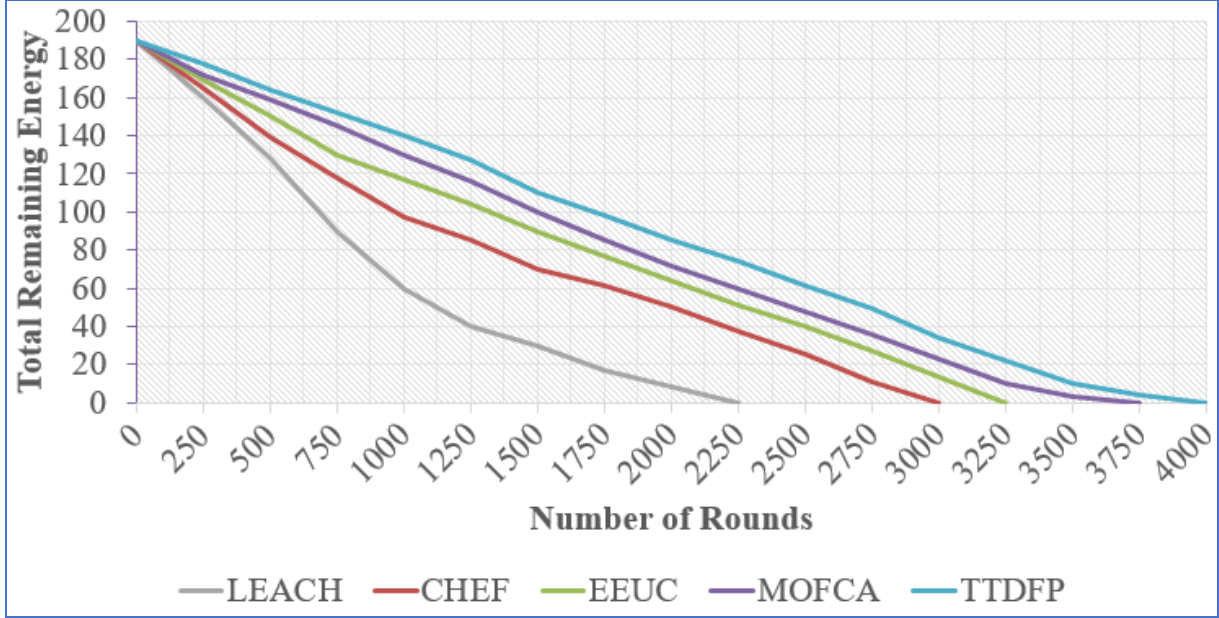
algoritmasının çalışması esnasındaki herhangi bir  $t$  anında girdi olarak verilen kümelenmemiş bir ağdan elde edilen kümelenmiş ağ, küme sınırlarını da göstermesi açısından Voronoi grafiği ile birlikte Şekil 29'da sunulmuştur.



Şekil 29. TDFP kullanılarak kümelenmiş ağın  $t$  anındaki Voronoi grafiği

Geliştirilen TDFP algoritmasının sadece homojen yapıdaki duyurga ağlarda değil, görev kritik birçok ağda olabileceği gibi heterojen yapıdaki duyurga ağlarda da enerji verimli çalışırılığını test etmek için bir dizi deney icra edilmiş ve alınan sonuçlardan bir tanesi Şekil 30'da sunulmuştur.

Özet olarak, kümeleme algoritması çalışmamızda literatüre katkılarımız iki yönlü olmuştur: İlk olarak, bulanık kümeleme yaklaşımı daha da iyileştirilmiştir. Çalışmamızın ilk aşamasında daha enerji verimli bir yaklaşım görülmektedir. Çalışmanın ikinci aşamada ise, iki bulanık tanımlayıcı ile net/keskin (crisp) yönlendirme protokolü genişletilmiştir. Böylelikle, keskin yönlendirmeden kaynaklanan yetersizliklerin üstesinden gelinmekte ve röle olarak kullanılan iletim yolları üzerindeki enerji tüketimi dengelenmektedir.



Şekil 30. TTDFP algoritmasının diğer algoritmalarla karşılaştırması

## 4. BULGULAR

1. Teknolojik gelişmeler sonucunda günümüzde düğüm içerisinde görüntü ve ses verisi işleme yeteneğine sahip platformlar piyasada bulunur hale gelmiştir. Bu platformlar ile skaler sensör verilerine ilave olarak çoklu ortam verileri de belli ölçülerde düğüm içerisinde işlenebilmektedir.
2. Çoklu ortam verileri yapısı gereği büyük boyutludur. Bu nedenle, çoklu ortam verilerinin mutlaka düğüm içerisinde işlenmesi ve boyutunun küçültülmesi gerekmektedir. Literatür özetinde verildiği gibi konuyla ilgili farklı yöntemler önerilmiş durumdadır. Ancak, bu projede önerildiği gibi nesne çıkarımı işleminin düğüm üzerinde yapılması ana istasyona taşınacak veri miktarında çok büyük azalmalara ve dolayısıyla da duyarga ağ ömrünün uzamasında önemli katkı sağlamaktadır.
3. Çoklu ortak duyarga düğüm noktalarında nesne çıkarımı için görüntü verisi ana veriyi oluşturmaktadır. Bununla birlikte ses verisi ile görüntü verisinin füzyon edilmesi nesne çıkarım başarı oranını önemli ölçüde artırmaktadır.
4. Skaler sensörlerden elde edilen verinin nesne çıkarımına/sınıflandırılmasına katkısı ise oldukça sınırlı görünmektedir. Bu nedenle, bu tür sensörlerin çoklu ortam sensörlerini aktive etmek için kullanılması daha doğru ve etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.
5. Projede uygulanan nesne çıkarım yönteminin kullanılması ve ana istasyona gönderilecek bilginin Zigbee arayüzü üzerinden gönderilmesinin duyarga düğümünün ömrünü önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir.
6. Piyasada mevcut platformlar üzerinde duyarga düğümü içi görüntü işleme mümkün olmakla birlikte sorunlarla da karşılaşmaktadır. Örneğin, HD kalitesinde görüntü alıp gerçek zamanlı olarak işlenmesinde veya düşük çözünürlüklü olsa dahi saniyede işlenen çerçeve sayısı artırıldığında işlemci gücü yeterli gelmemekte ve bazı çerçeveler kaybedilmektedir.
7. Piyasada mevcut akustik sensörlerin ses kaydedip işleme açısından yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Ses işleme için analog mikrofon kullanımının ve analog-sayısal dönüştürücü ile alınan sesin sayısallaştırılarak kullanılmasının duyarga düğümleri için daha uygun bir çözüm olduğu görülmüştür.
8. Piyasada mevcut titreşim sensörleri ile yapılan çalışmalar sonucunda sensörlerden alınan verinin nesne çıkarımı açısından zayıf kaldığı sonucuna varılmıştır. Öncelikle normal ortamlarda insan gibi çok da ağır olmayan nesnelere oluşturduğu titreşimi almakta sorun yaşanmaktadır. Bu nedenle, titreşim sensörü kullanılmak isteniyorsa çok daha güçlü ve pahalı sensörlerin kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Projede deneyler, titreşim sensörü mazgal demirleri üzerine bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu tür yerlerde bilgi almak mümkün olmaktadır. Ancak, bu kez de bir grup insanla yavaş giden bir aracın oluşturduğu titreşim aynı olmaktadır ve nesne sınıflandırması açısından yetersiz kalmaktadır.
9. Bilgi erişiminde/çıkarmasında farklı kipleri (modalite) birleştirmek (füzyon yapmak), tek kiplere göre daha doğru sonuçlar sağlamaktadır. Örneğin, üç kipin (görüntü, ses ve metin) sonuçlarının füzyon edilmesi en iyi tek kipe göre %8,92 iyileşme sağlamıştır. Burada, kip seçiminin ve ağırlık tespitinin kritik bir konu olduğu (projede bu iş için geliştirmiş olduğumuz RELIEF-MM algoritması kullanılmıştır) unutulmamalıdır. Yanlış seçim, tek kipin en iyisinden daha kötü sonuçlara yol açabilmektedir.

10. Kip içi ve kipler arası analizler de dahil olmak üzere önerilen füzyon yaklaşımımız, tek kiplerden ve tek kiplerin füzyonundan daha üstün performans göstermektedir. Önerilen yaklaşım %40,64 erişim oranı elde ederken, en iyi tek kip %36,15 başarı, tek kiplerin kombinasyonu %38,94 oranında kalmıştır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, kipler arasındaki kip içi ve kipler arası korelasyonların kullanılması füzyon kazanımını önemli ölçüde artırmaktadır.
11. Özellikle skaler sensörler ile veri işlenen durumlarda, kümeleme algoritmaları her ne kadar önceki zamanlarda olduğu gibi önemli çalışma alanı olarak gündemde yer almasa da teknolojik gelişmeler ışığında kablosuz düğümler içerisine görüntü ve ses verisi de dahil çoklu ortam (multimedia) veri işleme yeteneğinin kazandırılmasıyla birlikte kümeleme algoritmalarına ve etkin kümeleme ihtiyaçlarına duyulan ilgi son zamanlarda artmış ve günümüzde tekrar önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Bunun sebebi, çoklu ortam verisinin yapısı gereği sahip olduğu veri büyüklüğü nedeniyle veri transferinden kaynaklanan enerji tüketimini en aza indirme ihtiyacıdır.
12. Kümelemede, dağıtık çalışma mimarisi için yoğunluk (density) parametresi yerine bağlantılabilirlik (connectivity) kullanıldığı durumlarda sonucun kayda değer derecede değişmediği, ancak tekil hata noktaları (single point-of-failure) durumlarına karşı dayanıklılık sağladığı tespit edilmiştir.
13. Kümelemede, test edilen ve uygulamaya konan parametreler dahilinde, algoritma işleyişinden de görülebildiği gibi, en fazla katma değeri sağlayan parametrenin ya da diğer bir deyişle kümelemenin merkezinde olan parametrenin kalan enerji (remaining energy) olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte kalan enerji parametresi kadar olmamakla birlikte eşit olmayan küme yarıçapı elde etme amacıyla kullanılan ana istasyona uzaklık (distance to the base station) parametresinin de küme başı ömrüne ve dolaylı olarak ağıın çalışma zamanına önemli katkısının olduğu görülmektedir. Buna karşın; bağlantılabilirlik (connectivity) parametresinin ağıın ömrünü iyileştirici yönde etkisi olmakla birlikte söz konusu etkinin diğer iki parametre (kalan enerji ve ana istasyona uzaklık) kadar önemli olmadığı ve sonuca sadece ince-ayar (fine-tune) olarak etki ettiği tespit edilmiştir.
14. TTDFP protokolünün her iki aşamasında (Tier I ve II) kullanılan bulanık yöntemin (fuzzy approach) keskin (crisp) yöntemlere göre üstünlük sağladığı tespit edilmiştir. Bu üstünlüğün, özellikle sınır değerlerde ortaya çıkan A ya da B durumuna keskin olarak ait olmak yerine her iki duruma da dereceli üyelik (gradual membership) olarak değerlendirmemiz nedeniyle oluştuğu; bu durumun literatürde yer alan “durulma” (relaxation) kavramı ile açıklanabileceği kıymetlendirilmektedir.
15. TTDFP protokolünde olduğu gibii çeşitli girdi parametrelerine manuel (elle) değer atanan durumlarda bir en iyileme (optimizasyon) metodolojisinin kullanılmasının hem zaman tasarrufu sağlayacağı hem de deneme yanılma metotları ile belki de bulunmayacak parametre değer bileşimini ulaşılabılır kılacağı değerlendirilmektedir. Buna ilave olarak bu ve benzeri girdi parametrelerine elle değer atanması, çalışmalarını belirsiz kılmakta ve sunulan sonuçları tartışmalı hale getirmektedir. Bu nedenle, bu ve benzeri durumlarda parametrelere elle değer atanması yerine bu çalışmada kullanılan en iyileme yöntemi ya da ortama uygun buna benzer bir en iyileme yaklaşımının izlenilmesinin çalışmanın literatürdeki değerini artıracakı değerlendirilmektedir.

## 5. SONUÇ

Proje öneri dokümanında, halen kullanılan ağlara göre daha az enerji tüketen bir kablosuz duyurga ağı kümeleme algoritmasının geliştirilmesi ve ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemlerin geliştirilmesi planlanmıştır. Gereç ve yöntem bölümünde açıklandığı üzere bu iki ana konu çerçevesinde çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen prototip sistem, algoritma ve uygulamalar proje başlangıcında hedeflenen tüm işlevleri içermektedir. Proje başlangıcında planlanan tüm konular üzerinde çalışılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Dolayısıyla kapsam açısından proje başarılı olarak sonuçlandırılmıştır.

Proje sonunda geliştirilen model ve prototip sistemin, akademik dünyada önemli bir boşluğu doldurduğu değerlendirilmektedir. Proje sürecinde 6 adet uluslararası dergide (4 adet SCI-E, 1 adet SSCI, 1 adet ESCI indeksli) ve 9 adet uluslararası konferansta olmak üzere toplam 15 adet yayın yapılmıştır (yayınlanmak üzere kabul alıp online yayınlanmış olanlar da bu rakama dahildir). Hem dergi yayınında hem de konferans yayınında proje öneri dokümanında hedeflenen sayının üzerine çıkılarak önemli bir başarı kaydedilmiştir. Ayrıca, henüz sonuçları bilinmediğinden bu sayılara ilave edilmeyen projenin son döneminde gönderilmiş olan makale ve bildirimler de mevcuttur. Bu nedenle, projeden üretilen yayın sayısının bu raporda verilen rakamların üzerine çıkması beklenmektedir.

Proje kapsamında projenin değişik süreçlerinde görev alan 6 doktora ve 2 lisansüstü öğrencisinin tez çalışmasına imkân sağlanmıştır (iki doktora çalışması tamamlandı, geri kalan altısı henüz devam ediyor). Sağlanan bu imkânın ülkemizde genç bilim insanlarının yetişmesi açısından önemli katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

Proje sonucunda ulaşılan noktayı değerlendirmenin bir diğer yöntemi de elde edilen performans ölçümleridir. Elde edilen performans sonuçlarının önemli bir kısmı gereç ve yöntem bölümünde sunulmuştur. Sistemin modüllerinin performans sonuçları genel olarak literatürde yayınlanan sonuçlarla kıyaslanacak seviyelerdedir. Gerçekleştirilen yayınlar, önerilen modelin akademik dünyada kabul gördüğünün önemli bir göstergesidir.

Gerçekleştirilen prototip sistem, önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemlidir. Örneğin, çoklu ortam duyurga düğümleri tamamen piyasada mevcut olan alt parça ürünlerin birleştirilmesi (entegre edilmesi) ile gerçekleştirilmiştir. Böylece ortaya konulan konseptlerin pratikte uygulanabileceği gösterilmiştir. Bu çalışma, bu alanda geliştirilecek ürünlere de ışık tutabilecek niteliktedir.

Bu proje, daha az enerji tüketen kablosuz duyurga ağı kümeleme algoritması ve ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemler konularında özgün bir bakış açısı getirmektedir. Ancak, oldukça kapsamlı bir konu olması nedeniyle bu alanda araştırılması gereken daha çok problem mevcuttur. Bu proje kapsamında edinilen tecrübe ve bilgi birikimine dayanarak bu alanda üzerinde araştırma yapılmaya devam edilmesi gerektiğini düşündüğümüz konular aşağıda verilmiştir:

- Projede kullanılan skaler sensörlere ilave olarak farklı sensörlerin duyurga düğümüne entegre edilmesi ve nesne tanıma sürecine katkıları incelenebilir.
- Hem görsel hem de ses verisinden nesne çıkarım performansını artırmak için daha farklı öznitelikler ve sınıflandırma algoritmaları denenebilir.



- Projede üç farklı seviyede farklı veriler bütünleştirme/füzyon işleminden geçirilerek nesne çıkarım başarı oranı artırılmaya çalışılmıştır. Her seviye için füzyon yöntemleri gözden geçirilerek farklı yöntemler denenebilir.
- Üçüncü seviye füzyon çalışmaları kapsamında ana istasyonda toplanan sensör bilgileri üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Ana istasyonda toplanan verinin çok sayıda sensörden sürekli akması durumunda büyük veri niteliği kazanacağı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, bu veri üzerinde büyük veri analitikleri uygulanarak ne tür bilgilerin çıkarılabileceği üzerinde araştırmalar yapılabilir.
- Ana istasyonda toplanan verinin etkin sorgulanmasına yönelik çalışmalar genişletilerek sorgulama performansını artıracak yeni yöntemler üzerinde daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.



## KAYNAKLAR

- Abbasi, A.A., Younis, M. 2007. "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks", *Computer Communications*, 30, 2826–2841.
- Adams, W., Iyengar, G., Lin, C., Naphade, M., Neti, C., Nock, H., Smith, J. 2003. "Semantic indexing of multimedia content using visual, audio, and text cues". *EURASIP J. Appl. Signal Process*, 2, 170–185.
- Aguilar, J.F., Garcia, J.O., Romero, D.G., Rodriguez, J.G. 2003. "A comparative evaluation of fusion strategies for multimodal biometric verification". In: *International Conference on Video- Based Biometric Person Authentication*, 830–837, Guildford.
- Akyildiz, I.F., Melodia, T. Chowdhury, K.R. 2007. "A survey on wireless multimedia sensor networks", *Computer Networks*, 51, 921–960.
- Alhilal, M.S., Soudani, A., Al-Dhelaan, A. 2014. "Low power scheme for image based object identification in wireless multimedia sensor networks", *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Marrakech, Morocco.
- Ali, H., Shahzad, W., Khan, F. 2012. "Energy-efficient clustering in mobile ad-hoc networks using multi-objective particle swarm optimization". *Applied Soft Computing*, 12, 1913–1928.
- Atrey, P.K., Kankanhalli, M.S., Jain, R. 2006. "Information assimilation framework for event detection in multimedia surveillance systems". *Springer/ACM Multimed. Syst. J.*, 12(3), 239–253.
- Atrey, P.K., Hossain, M.A., El Saddik, A., Kankanhalli, M.S. 2010. "Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey". *Multimedia Systems*, 16, 345–379.
- Bagci, H., Yazici, A. 2013. "An energy aware fuzzy approach to unequal clustering in wireless sensor networks". *Applied Soft Computing*, 13, 1741–1749.
- Ballas, N. vd. 2012. "IRIM at TRECVID 2012: Semantic Indexing and Instance Search". In *Proc. TRECVID Workshop*, Gaithersburg, MD, USA.
- Beal, M.J., Jojic, N., Attias, H. 2003. "A graphical model for audiovisual object tracking". *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 25, 828– 836.
- Boragno, S., Boghossian, B., Makris, D., Velastin, S. 2008. "Object Classification for Real-Time Video-Surveillance Applications", *5th International Conference on Visual Information Engineering (VIE 2008)*, China.
- Brown, L.M. 2004. "View Independent Vehicle/Person Classification", *Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks*, New York, USA.
- Chaisorn, L., Chua, T.S., Lee, C.H., Zhao, Y., Xu, H., Feng, H., Tian, Q. 2003. "A multi-modal approach to story segmentation for news video". *World Wide Web*, 6(2), 187–208.
- Chen, W-T., Chen, P-Y., Lee, W-S., Huang, C-F. 2008. "Design and Implementation of a Real Time Video Surveillance System with Wireless Sensor Networks", *Vehicular Technology Conference, IEEE VTC Spring 2008*, Singapore.



- Civelek, M., Yazıcı, A. 2016. "Object Extraction and Classification in Video Surveillance Applications", *European Review*, 25(2), 246–259.
- Civelek, M., Yazıcı, A. 2017. "Automated Moving Object Classification in Wireless Multimedia Sensor Networks", *IEEE Sensors Journal*, 17 (4), 1116-1131.
- Deniz, A., Kiziloğlu, H. E., Dokeroglu, T., Cosar, A. 2017. "Robust multiobjective evolutionary feature subset selection algorithm for binary classification using machine learning techniques", *Neurocomputing*, 241, 128–146.
- Dokeroglu, T., Serkan, M., Sert, S.A., Cosar, A., Yazıcı, A. 2015. "Improving Hadoop Hive Query Response Times Through Efficient Virtual Resource Allocation, 11th Int. Conf. on Flexible Query Answering Systems (FQAS 2015), Cracow, Poland, pp. 215-225.
- Duin, R.P.W., Tax, D.M.J. 2000. "Experiments with classifier combining rules". In *Proceedings of the First International Workshop on Multiple Classifier Systems, MCS '00*, 16–29, London, UK.
- Fumera, G., Roli, F. 2005. "A theoretical and experimental analysis of linear combiners for multiple classifier systems". *IEEE TPAMI*, 27(6), 942–956.
- Gandetto, M., Marchesotti, L., Sciutto, S., Negroni, D., Regazzoni, C.S. 2003. "From multi-sensor surveillance towards smart interactive spaces". In: *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 641–644, Baltimore.
- Guironnet, M., Pellerin, D., Rombaut, M. 2005. "Video classification based on low-level feature fusion model". In: *The 13th European Signal Processing Conference*, Antalya, Turkey.
- Gupta, I., Riordan, D., Sampalli, S. 2005. "Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks". *Proceedings of the IEEE 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference*, 255–260.
- Heinzelman, W., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H. 2000. "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks". *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2, 1-10.
- Huang, K-C., Lin, H-Y.S. Chan, J-C., Kuo, Y-H. 2013. "Learning collaborative decision-making parameters for multimodal emotion recognition". In: *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 1–6.
- Jiang, Y-G., Yang, J., Ngo, C-W., Hauptmann, A.G. 2010. "Representations of Keypoint-Based Semantic Concept Detection: A Comprehensive Study", *IEEE Transactions on Multimedia*, 12(1), 42-53.
- Jiang, Y-G., Ye, G., Chang, S-F., Ellis, D., Loui, A.C. 2011. "Consumer video understanding: a benchmark database and an evaluation of human and machine performance". In *Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Retrieval (ICMR '11)*, ages 29:1–29:8, New York, NY, USA.
- Jiang, Y-G., Bhattacharya, S., Chang, S-F., Shah, M. 2013. "High-Level Event Recognition in Unconstrained Videos", *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 2 (2), 73-101.



- Kandhalu, A., Rowe, A., Rajkumar, R. 2009. "DSPcam: A Camera Sensor System for Surveillance", Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, 1-7.
- Kankanhalli, M.S., Wang, J., Jain, R. 2006. "Experiential sampling in multimedia systems". IEEE Trans. Multimedia, 8(5), 937–946.
- Kim, D., Rho, S., Hwang, E. 2012. "Local feature-based multi-object recognition scheme for surveillance", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25, 1373–1380.
- Kim, J., Park, S., Han, Y., Chung, T. 2008. "CHEF: cluster head election mechanism using fuzzy logic in wireless sensor networks". Proceedings of the IEEE 10th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 654–659.
- Kittler, J., Hatef, M., Duin, R.P.W., Matas, J. 1998. "On combining classifiers". IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 20, 226–239.
- Kludas, J. 2007. "Multimedia retrieval and classification for web content", In Proc. of BCS IRSG Symposium: Future Directions in Information Access (FDIA 2007), Glasgow, Scotland.
- Kludas, J., Bruno, E., Marchand-Maillet, S. 2007. "Information fusion in multimedia information retrieval". In Proc. of 5th international Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval (AMR), Paris, France.
- Kludas, J., Bruno, E., Marchand-Maillet, S. 2009. "Can feature information interaction help for information fusion in multimedia problems?", Multimedia Tools Appl., 42, 57–71.
- Koyuncu, M., Cetinkaya, B. 2015, "A component-based object detection method extended with a fuzzy inference engine", IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2015), Istanbul, Turkey.
- Küçükbay, S.E., Sert, M., Yazıcı, A. 2017. "Use of Acoustic and Vibration Sensor Data to Detect Objects in Surveillance Wireless Sensor Networks", 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS21), Romania.
- Küçükkeçeci, C., Yazıcı, A. 2016. "A Graph-Based Big Data Model for Wireless Multimedia Sensor Networks", The 2nd INNS Conference on Big Data, 205-215.
- Küçükkeçeci, C., Yazıcı, A. 2018. "Big Data Model Simulation on a Graph Database for Surveillance in Wireless Multimedia Sensor Networks", Big Data Research, 11, 33–43.
- Kuhn, F., Moscibroda T., Wattenhofer R. 2004. "Initializing newly deployed ad hoc and sensor networks". Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile computing and networking (ACM MOBICOM), 260–274.
- Kuncheva, L.I. 2002, "Switching between selection and fusion in combining classifiers: an experiment". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 32(2), 146 –156.
- Li, C.F, Ye, M., Chen, G.H., Wu. J. 2005, "An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks". Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS), 604-611, Washington DC.
- Lin, H-Y., Wei, J-Y. 2007, "A Street Scene Surveillance System for Moving Object Detection, Tracking and Classification", Proc. of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June 13-15.

- Magalhaes, J., Ruger, S. 2007. "Information-theoretic semantic multimedia indexing". In: International Conference on Image and Video Retrieval, 619–626, Amsterdam, The Netherlands.
- Nayak, P., Devulapalli, A. 2016. "A Fuzzy Logic-Based Clustering Algorithm for WSN to Extend the Network Lifetime", IEEE Sensors Journal, 16(1).
- Ozதாக, H., Akkaya, K., Yazıcı, A. 2013. "Efficient Tracking of Multiple Objects in Wireless Multimedia Sensor Networks", Ad-hoc & sensor wireless networks, 19(3-4), 241-276.
- Poh, N., Kittler, J. 2010. Multimodal Information Fusion: Theory and Applications for Human-Computer Interaction, chapter 8, 153–169, Academic Press.
- Qiao, J.F., Liu, S.Y., Cao, X.Y. 2009. "Density-based clustering protocol for wireless sensor networks". Computer Science, 36(12), pp. 46.
- Radova, V., Psutka, J. 1997. "An approach to speaker identification using multiple classifiers". In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2, 1135–1138. Munich, Germany.
- Redondi, A., Baroffio, L., Bianchi, L., Cesana, M., Tagliasacchi, M. 2013. "Compress-then-Analyze versus Analyze-then-Compress: What Is Best in Visual Sensor Networks? ", IEEE Transactions on Mobile Computing, 15(12), 3000-3013.
- Sattari, S., Yazıcı, A. 2015. "Efficient Multimedia Information Retrieval with Query Level Fusion", 11th Int. Conf. on Flexible Query Answering Systems (FQAS 2015), Cracow, Poland, 367-379.
- Sattari, S., Yazıcı, A. 2017. "Multimedia Information Retrieval Using Fuzzy Cluster-Based Model Learning", IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Naples.
- Sattari, S., Yazıcı, A. 2018. "Efficient Multimedia Information Retrieval Using Multimodal Query Level Fusion", International Journal of Intelligent Systems, 1–19, <https://doi.org/10.1002/int.21920>, 2018.
- Seema, A., Reisslein, M. 2011. "Towards Efficient Wireless Video Sensor Networks: A Survey of Existing Node Architectures and Proposal for A Flexi-WVSNP Design", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, 13(3), 462-486.
- Sert, S.A., Yazıcı, A., Cosar, A. 2015. "Impacts of routing attacks on Surveillance Wireless Sensor Networks", Proceedings of the International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 910-915, Dubrovnik.
- Sert, S.A., Yazıcı, A., Dokeroglu, T. 2016. "Fuzzy Processing in Surveillance Wireless Sensor Networks", Proceedings of the International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2016), Vancouver, BC, Canada.
- Singh, A., Sawan, S., Hanmandlu, M., Madasu, V.K., Lovell, B.C. 2009. "An abandoned object detection system based on dual background segmentation", Sixth IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 352 – 357.
- Snoek, C.G.M., Worring, M., Smeulders, A.W.M. 2005. "Early versus late fusion in semantic video analysis". In Proc. of the 13th annual ACM international conference on Multimedia (MULTIMEDIA '05), 399–402, NY, USA.



- Sun, Z., Wang, P., Vuran, M.C., Al-Rodhaan, M.A., Al-Dhelaan, A.M., Akyildiz, I.F. 2011, "BorderSense: Border patrol through advanced wireless sensor networks", *Ad Hoc Networks*, 9, 468–477.
- Talantzis, F., Pnevmatikakis, A., Polymenakos, L.C. 2006. "Real time audio-visual person tracking". In: *IEEE 8th Workshop on Multimedia Signal Processing*, 243–247. IEEE Computer Society, Victoria, BC.
- Town, C. 2007. "Multi-sensory and multi-modal fusion for sentient computing". *Int. J. Comput. Vis.* 71, 235–253.
- Ur Rehman, Y. A., Tariq, M., Sato, T. 2016. "A Novel Energy Efficient Object Detection and Image Transmission Approach for Wireless Multimedia Sensor Networks" *IEEE Sensors Journal*, 16(15), 5942-5949.
- Wang, J., Kankanhalli, M.S., Yan, W.Q., Jain, R. 2003. "Experiential sampling for video surveillance". In: *IWVS '03 First ACM SIGMM international workshop on Video surveillance*. Berkeley, California, USA.
- Wang, Y., Liu, Z., Huang, J.C. 2000. "Multimedia content analysis: using both audio and visual clues". In: *IEEE Signal Processing Magazine*, 17(6), 12–36.
- Wu, Y., Chang, E.Y., Chang, K.C-C., Smith, J.R. 2004. "Optimal multimodal fusion for multimedia data analysis". In *Proc. of the 12th annual ACM international conf. on Multimedia (MULTIMEDIA '04)*, 572–579, New York, NY, USA.
- Xu, H., Chua, T.S. 2006. "Fusion of AV features and external information sources for event detection in team sports video". *ACM Trans. on Multimedia Computing, Communications and Applications*. 2(1), 44–67.
- Xu, L., Krzyzak, A., Suen, C.Y. 1992. "Methods of combining multiple classifiers and their applications to handwriting recognition". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 22(3), 418 –435.
- Xu, Z., Yue, Y., Wang, J. 2013. "A Density-based energy-efficient clustering algorithm for wireless sensor networks". *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 6(1), 75-85.
- Yan, R., Yang, J., Hauptmann, A. 2004. "Learning query-class dependent weights in automatic video retrieval". In: *ACM International Conference on Multimedia*, 548–555. New York, USA.
- Yazıcı, A., Sattari, S., Yılmaz, T., Sert, M., Koyuncu, M., Gülen, E. 2016. "METU-MMDS: An Intelligent Multimedia Database System for Multimodal Content Extraction and Querying", *The 22nd International Conference on Multimedia Modelling (MMM 2016)*, Miami, USA. Part II, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pp. 354–360.
- Yazici, A., Koyuncu, M., Yılmaz, T., Sattari, S., Sert, M., Gulen, E. 2018. "An Intelligent Multimedia Information System for Multimodal Content Extraction and Querying", *Multimedia Tools and Applications*, 77, 2225–2260.
- Ye, M., Li, C., Chen, G., Wu, J. 2005. "EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks". *Proceedings of the IEEE 24th International Conference on Performance, Computing and Communications (IPCCC)*, 535-540.



- Yilmaz, T., Yazici, A., Kitsuregawa, M. 2014. "RELIEF-MM: Effective Modality Weighting for Multimedia", *Information Retrieval. Multimedia Systems*, 20(4), 389-413.
- Younis, O., Fahmy, S. 2004. "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks", *IEEE Transactions Mobile Computing*, 3(4), 366–379.
- Younis, O., Krunz, M., Ramasubramanian, S. 2006. "Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges". *IEEE Network*, 20(3), 20–25.
- Zheng, X., Zhao, Y., Li, N., Wu, H. 2009. "An Automatic Moving Object Detection Algorithm for Video Surveillance Applications", *International Conference on Embedded Software and Systems*, 541 – 543.
- Zhou, Q., Aggarwal, J. 2006. "Object tracking in an outdoor environment using fusion of features and cameras". *Image Vis. Comput.*, 24(11), 1244–1255.
- Zotkin, D.N., Duraiswami, R., Davis, L.S. 2002. "Joint audio-visual tracking using particle filters". *EURASIP J. Appl. Signal Process*, (11), 1154–1164.
- Zou, X., Bhanu, B. 2005. "Tracking humans using multimodal fusion". In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, p. 4. Washington.

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. ADNAN YAZICI
Proje No:	114R082
Proje Başlığı:	Kablosuz Çoklu Ortam Duyarga Ağlarında Gözetleme Uygulamaları İçin Füzyon-Tabanlı Çatı Tasarımı Ve Geliştirilmesi
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	TURGAY YILMAZ, MUSTAFA SERT, AHMET COŞAR, MURAT KOYUNCU
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2015 - 15/07/2018
Onaylanan Bütçe:	413852.0
Harcanan Bütçe:	242337.38

TÜBİTAK

<p>Öz:</p>	<p>Bu proje kapsamında, kablosuz çoklu ortam duyurğa ağı için özellikle aşağıda verilen iki konuda çözüm üreten bir yaklaşım ve çatı (framework) geliştirilmesi amaçlanmıştır:</p> <p>- Halen kullanılan ağlara göre daha az enerji tüketen bir kablosuz duyurğa ağı kümeleme algoritmasının geliştirilmesi: Proje kapsamında yeni bir kümeleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, gözetleme uygulamaları da dahil olmak üzere uygulamadan bağımsız ve enerji-etkin çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritma, gerçek duyurğa düğüm donanımları üzerinde de kolaylıkla çalışabilir nitelikte dağıtık ve hafif bir yapıda tasarlanmış eşit olmayan bir kümeleme yaklaşımı sergilemektedir. Tasarlanan kümeleme algoritması ile, çeşitli metotlarla konuşlandırılmış düğüm noktaları içeren kümelenmemiş bir kablosuz duyurğa ağdan, etkin olarak veri toplayabilecek kümelenmiş bir duyurğa ağı elde edilebilmektedir. Kümeleme için uygun parametreler belirlenmiş ve bulanık mantık tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Kümeleme yarı çapı tespitinde ana istasyona uzaklık, düğüm noktası kalan enerjisi ve düğüm noktası görelî bağlanabilirlik parametreleri, yönlendirme için ise link ortalama kalan enerjisi ve görelî uzaklık parametreleri algoritma içerisinde kullanılmıştır.</p> <p>- Ana istasyona taşınacak bilginin miktarını azaltırken doğruluk oranını artıracak yöntemlerin geliştirilmesi: Duyurğa düğümlerinden ana istasyona kadar üç seviyede değişik veri füzyon yöntemleri kullanarak nesne çıkarımı yapan ve bu sayede taşınan veri miktarını azaltarak duyurğa ağı ömrünü uzatan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çerçevede, ilk seviyede PKÖ, sismik ve akustik duyurğalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Söz konusu skaler duyurğalardan gelen veriler füzyon işlemine sokularak duyurğanın kontrol ettiği alanda insan ve araç gibi bir nesnenin olup olmadığı konusunda ilk karar oluşturulmaktadır. Bu karara göre ikinci seviyede çoklu ortam duyurğalarının (kamera ve mikrofon) uyandırılması gerçekleştirilmektedir. Kamera tarafından alınan görüntü ve mikrofon tarafından alınan ses işlenerek nesne tespiti yapılmaktadır. İkinci seviye füzyonu kapsamında görüntü ve sesteki çıkarılan bilgiler bir füzyon işleminden geçirilerek nesne sınıflandırılması doğruluk oranı artırılmaktadır. Duyurğa düğümü üzerinde gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından üretilen özet bilgi ana istasyona iletilmektedir. Üçüncü seviye füzyon ve sınıflandırma işleminde farklı kiplerden elde edilen veriler ile kip içi ve kipler arası korelasyonlar da kullanılarak, daha gelişmiş bir tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem enerji ve kaynak kullanım maliyeti gerektirdiği için ana istasyonda yapılmaktadır.</p> <p>Bu projenin özgün değeri, skaler duyurğalara ilave olarak çoklu ortam duyurğaları tarafından toplanan görüntü ve ses verilerinin duyurğa düğümü içerisinde işlenerek ve füzyon edilerek potansiyel tehditlere yönelik anlamlı bilgiler üretilmesi ve bu sayede taşınacak verinin boyutunun azaltılması ile taşınacak verinin ağı üzerinde daha etkin taşınmasını sağlayan özgün kümeleme algoritmasının geliştirilmesinde yatmaktadır.</p> <p>Proje öneri dokümanında yer alan planlı faaliyetlerin tamamı gerçekleştirilmiş ve proje başlangıcında hedeflenen noktaya ulaşılmıştır. Proje kapsamında, 6 adet uluslararası dergilerde (4 adet SCI-E, 1 adet SSCI, 1 adet ESCI indeksli) ve 9 adet konferanslarda (tamamı uluslararası konferans) olmak üzere toplam 15 adet yayın gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında projenin değişik süreçlerinde görev alan 6 doktora ve 2 lisansüstü öğrencisinin tez çalışmasına imkân sağlanmıştır (iki doktora tezi tamamlandı, altısı devam ediyor).</p> <p>Bu proje, BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİNİ DESTEKLEME PROGRAMI kapsamında TÜBİTAK tarafından 114R082 kod numarasıyla desteklenmiştir.</p>
<p>Anahtar Kelimeler:</p>	<p>çoklu ortam, bilgi füzyonu, sınıflandırma, kümeleme, bulanıklık, kablosuz duyurğa ağılar</p>
<p>Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:</p>	<p>Hayır</p>

Proje Yapılan Yayınlar:	<ol style="list-style-type: none"><li>1- Efficient Multimedia Information Retrieval with Query Level Fusion (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>2- A Component-Based Object Detection Method Extended with a Fuzzy Inference Engine (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>3- Impacts of Routing Attacks on Surveillance Wireless Sensor Networks (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>4- Efficient Multimedia Information Retrieval Using Multimodal Query Level Fusion (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>5- METU-MMDS: An Intelligent Multimedia Database System for Multimodal Content Extraction and Querying (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>6- Fuzzy Processing in Surveillance Wireless Sensor Networks (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>7- Multimedia Information Retrieval Using Fuzzy Cluster-Based Model Learning (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>8- Improving Hadoop Hive Query Response Times Through Efficient Virtual Resource Allocation (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>9- An intelligent multimedia information system for multimodal content extraction and querying (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>10- Big Data Model Simulation on a Graph Database for Surveillance in Wireless Multimedia Sensor Networks (Makale - Diğer Hakemli Makale),</li><li>11- Object Extraction and Classification in Video Surveillance Applications (Makale - İndeksli Makale),</li><li>12- Robust multiobjective evolutionary feature subset selection algorithm for binary classification using machine learning techniques (Makale - İndeksli Makale),</li><li>13- Automated Moving Object Classification in Wireless Multimedia Sensor Networks (Makale - İndeksli Makale),</li><li>14- Use of Acoustic and Vibration Sensor Data to Detect Objects in Surveillance Wireless Sensor Networks (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</li><li>15- A Graph-Based Big Data Model for Wireless Multimedia Sensor Networks (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</li><li>16- AN INTELLIGENT FUZZY CLUSTERING APPROACH FOR ENERGY-EFFICIENT DATA AGGREGATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Doktora Tezi),</li><li>17- A LIGHTWEIGHT WIRELESS MULTIMEDIA SENSOR NETWORK ARCHITECTURE WITH OBJECT DETECTION AND CLASSIFICATION CAPABILITY (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Doktora Tezi),</li></ol>
-------------------------	---