



**SİBER FİZİKSEL SİSTEMLERDE
DURAĞAN OLMAYAN BULANIK KÜME TABANLI
GÖRÜNTÜ MOZAİKLEME YAKLAŞIMI**

Hasan YETİŞ

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE**

TEMMUZ-2017

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

**SİBER FİZİKSEL SİSTEMLERDE
DURAĞAN OLMAYAN BULANIK KÜME TABANLI
GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan YETİŞ
(151129122)

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Yazılım

Danışman: Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13/07/2017

TEMMUZ-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİBER FİZİKSEL SİSTEMLERDE
DURAĞAN OLMAYAN BULANIK KÜME TABANLI
GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME YAKLAŞIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan YETİŞ

(151129122)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.07.2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 31.07.2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü)

Doç. Dr. Alper BAŞTÜRK (E.Ü)

TEMMUZ-2017

ÖNSÖZ

Bu çalışmada belirsizlik içeren siber fiziksel sistemlerde durum izleme için görüntü mozaikleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmanın devamında görüntü mozaiklemenin en önemli aşaması olan özellik çıkarımı için durağan olmayan bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım örnek bir siber fiziksel sistem ortamından alınan görüntüler üzerinde test edilmiştir. Sonuç olarak aynı alana ait birden fazla görüntüden tek bir görüntü karesi elde edilerek özellikle büyük ortamların izlenmesi kolaylaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen anlamlı görüntüler, görüntü tabanlı arıza teşhis algoritmaları için bir altyapı sağlamaktadır. Görüntü mozaikleme, siber fiziksel sistem ve bulanık mantık gibi konulara değinen bu tez çalışmasının faydalanılabilir bir kaynak olmasını umuyorum.

Bu çalışmada değerli vaktini bana ayırarak çalışmamın bitirilmesinde desteğini esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE'ye teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Danışmanım olarak her konuda benim için harcadığı zaman ve çabalardan ötürü tekrar teşekkür ediyorum.

Ayrıca hayatımın her anında ilgi, anlayış ve desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ediyorum.

TEŞEKKÜR

Bu tezde geliştirilen yöntemler MF.17.09 nolu FÜBAP Yüksek Lisans Tez projesi ile desteklenmiştir. Tezdeki donanımsal bileşenlerin temin edilmesindeki maddi desteklerinden dolayı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine teşekkür ederim.

Hasan YETİŞ
ELAZIĞ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLOLAR LİSTESİ	IX
SİMGELER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	2
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	7
1.3. Tezin Yapısı.....	9
2. SİBER FİZİKSEL SİSTEMLER.....	11
2.1. Siber Katman.....	15
2.2. Fiziksel Katman.....	16
2.3. İletişim Katmanı.....	17
2.4. Siber Fiziksel Sistemlerde Belirsizlikler ve Güvenlik.....	18
2.5. Siber Fiziksel Sistem Uygulamaları.....	20
2.6. Bölüm Değerlendirmesi.....	22
3. DURGUN OLMAYAN BULANIK MANTIK SİSTEMLER	23
3.1. Tip-1 Bulanık Mantık Sistemler.....	23
3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler.....	29
3.3. Durağan Olmayan Bulanık Mantık Sistemler.....	33
3.4. Tip-1, Tip-2 ve Durağan Olmayan Bulanık Sistemlerin Karşılaştırılması.....	36
3.5. Bölüm Değerlendirmesi.....	41
4. GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME	42
4.1. Anahtar Noktaların Tespiti.....	44
4.2. Anahtar Noktalara Ait Özelliklerin Çıkarılması.....	45
4.3. Anahtar Noktaların Eşleştirilmesi.....	46
4.4. Uyuşmayan Eşleştirmelerin Elenmesi.....	47
4.5. Homografi Matrisinin Hesaplanması.....	48
4.6. Eşleşen Anahtar Noktaların Aynı Düzleme Düşürülmesi.....	50

4.7. Renk Harmanlama.....	51
4.8. Uygulama Sonuçları.....	51
4.9. Bölüm Değerlendirmesi.....	55
5. DURGUN OLMAYAN BULANIK MANTIK TABANLI GÖRÜNTÜ	
MOZAİKLEME YAKLAŞIMI.....	56
5.1. Anahtar Noktaların Yönelim Büyüklüklerinin Hesaplanması.....	57
5.2. Anahtar Noktaların Yönelim Açılarının Hesaplanması.....	57
5.3. Durağan Olmayan Bulanık Tabanlı Tanımlayıcıların Hesaplanması.....	58
5.4. Anahtar Noktaların Eşleştirilmesi.....	63
5.5. Karşılaştırmalı Uygulama Sonuçları.....	63
5.6. Bölüm Değerlendirmesi.....	71
6. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN BELİRSİZLİK İÇEREN SİBER FİZİKSEL	
SİSTEMLERDE UYGULANMASI.....	73
6.1. Örnek Siber Fiziksel Sistem Ortamının Kurulması.....	73
6.2. Sistemden Elde Edilen Görüntülerin Birleştirilmesi.....	77
6.3. Bölüm Değerlendirmesi.....	81
7. SONUÇLAR	82
KAYNAKLAR.....	83
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Siber fiziksel sistemlerin kullanımı, sağladıkları avantajlar sebebiyle gün geçtikçe artmaktadır. Ancak her sistemde olduğu gibi belirsizlikler, genellikle büyük çaplı ve kritik uygulamalarda kullanılan siber fiziksel sistemler için de tehdit unsuru oluşturmaktadır. Belirsizliklerin deterministik bir şekilde modellenememesi, belirsizlikler ile başa çıkmadaki en büyük problemlerden biridir. Bundan dolayı belirsizlik gibi beklenmeyen durumların sebep olacağı zararı asgari seviyeye çekmek için durum izleme yazılımları kullanılmaktadır. Kameralar aracılığıyla alınan görüntülerin bir operatör tarafından takip edilmesi veya bu görüntülerin görüntü işleme algoritmaları ile anlamlandırılması, durum izlemede kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak sistemin geniş alana yayılması veya kapalı alanda olması, sistemin tek bir karede görüntülenmesini zorlaştırmaktadır.

Bu tez çalışmasında belirsizlik içeren geniş çaplı siber fiziksel sistemlerin tek bir karede görüntülenmesi için mozaikleme yaklaşımı önerilmiştir. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme yöntemleri temel olarak; görüntülerdeki anahtar noktaların tespiti, özellik çıkarımı, görüntü eşleştirme, homografi tahmini, dönüşüm ve renk harmanlama adımlarından oluşmaktadır. Önerilen özellik tabanlı görüntü mozaikleme yaklaşımı, görüntü mozaiklemede en önemli adım olan anahtar noktalara ait özelliklerin çıkarılması aşamasında durağan olmayan bulanık mantıktan yararlanmaktadır. Bu aşamada durağan olmayan bulanık mantığın kullanılması yöntemin başarımını artırmış, özellikle gürültü gibi etkenlerden dolayı bozulmuş görüntüler için iyi sonuçlar vermesine sebep olmuştur. Görüntü mozaiklemenin test edilebilmesi için siber fiziksel sistem ortamı gerçekleştirilmiştir ve bu ortamdan görüntüler alınmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında örnek bir siber fiziksel sistemden alınan görüntülerin mozaiklenmesine yönelik durağan olmayan bulanık mantık tabanlı bir yöntem geliştirilmiş ve gerçekleştirilen testler ile doğrulanmıştır. Bu tez çalışması MF.17.09 nolu FÜBAP Yüksek Lisans Projeleri kapsamında desteklenmiş, yapılan çalışmalar çeşitli ulusal ve uluslararası yayınlar ile sonuçlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Mozaikleme, Siber Fiziksel Sistemler, Durağan Olmayan Bulanık Mantık, Durum İzleme, Görüntü İşleme.

SUMMARY

Nonstationary Fuzzy Set Based Image Mosaicing Approach in Cyber-Physical Systems

The usage of cyber-physical systems is increasing day by day thanks to the advantages of it provides. But, like in every system, uncertainties are threat factor for cyber-physical systems which are used in large-scale and mission-critical applications generally. One of the biggest problem in handling uncertainty is that they cannot be modelled in a deterministic way. That is why condition monitoring software is used for minimizing the harm which unexpected situations like uncertainties cause. Monitoring of images taken through camera by an operator or processing the images by image processing algorithms are ways that are used in condition monitoring. But, it makes hard to monitor the system in a frame in the case of being the system in a large area or in indoor.

In this thesis study, image mosaicing approach is proposed for monitoring of large-scale cyber-physical systems which have uncertainties. Feature-based image mosaicing methods basically consist of detection of interest points, feature extraction, image matching, homography estimation, transform and color blending steps. The proposed feature-based image mosaicing approach uses nonstationary fuzzy logic in the feature extraction step which is the most important step in image mosaicing. Using nonstationary fuzzy logic in this step improves the success of the approach, and it causes providing good results especially for contaminated images. In order to test the image mosaicing approach, a cyber-physical system is realized, and images are obtained from this system.

As a result, in this thesis study, a method based on nonstationary fuzzy logic is developed to stitch the images taken from sample cyber-physical system, and it is verified with the tests applied. This thesis study is supported by FÜBAP, Project number: MF.17.09, and various national or international publications about the thesis studies are published.

Key Words: Image Mosaicing, Cyber-Physical Systems, Nonstationary Fuzzy Logic, Condition Monitoring, Image Processing

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Literatürde yer alan özellik tabanlı mozaikleme yönteminin genel adımları [29]	5
Şekil 1.2. Dinamik programlama yardımı ile optimum birleştirme noktalarının seçilmesi..	6
Şekil 2.1. Siber fiziksel kontrol sistemler için blok diyagramı	11
Şekil 2.2. Siber ve fiziksel katmandaki bileşenlerin birbiri ile etkileşimi [40]	15
Şekil 2.3. Fiziksel ortamdan bilgi toplanmasında kullanılan donanımlar [6].	17
Şekil 2.4. İletişim katmanı bileşenleri [6]	17
Şekil 2.5. İnce bağırsağın 3 boyutlu görüntülenmesi için SFS tabanlı yöntem [28].....	20
Şekil 2.6. Patates hasatının SFS tabanlı mimaride izlenmesi [6]	21
Şekil 3.1. Örnek üyelik fonksiyonları [57].....	24
Şekil 3.2. Tip-1 bulanık mantık sistem yapısı [59]	25
Şekil 3.3. Tip-1 bulanık giriş fonksiyonu ve üyelik değeri	25
Şekil 3.4. Tip-1 min-max çıkarım mekanizması ile 2 giriş 1 çıkışlı sistemde kuralların kırılması [61]	27
Şekil 3.5. Sık kullanılan durulaştırma yöntemlerinin görselleştirilmesi	27
Şekil 3.6. İki giriş bir çıkışlı tip-1 bulanık sistem çalışmasının özeti	28
Şekil 3.7. Belirsizlik ve bulanık sistemin belirsizliği ele alma yeteneği	29
Şekil 3.8. Tip-2 Bulanık üyelik ve ikincil üyelik fonksiyonu.	30
Şekil 3.9. Tip-1, Aralıklı Tip-2 ve Genel Tip-2 üyelik fonksiyonlarının 3 boyutlu gösterimi	30
Şekil 3.10. Tip-2, Aralıklı Tip-2 ve Genel Tip-2 ikincil üyelik değerleri.	30
Şekil 3.11. Tip-2 min-max çıkarım mekanizması ile iki girişli bir çıkışlı sistemde kuralların kırılması [61].	31
Şekil 3.12. Tip-2 bulanık sistem yapısı [59].	32
Şekil 3.13. Durağan olmayan bulanık küme örneği	33
Şekil 3.14. Konumda değişim yöntemi ile üretilen durağan olmayan kümeler	34
Şekil 3.15. Eğimde değişim yöntemi ile üretilen durağan olmayan kümeler.....	34
Şekil 3.16. Durağan olmayan bulanık küme ile zamana bağlı değişimin gösterimi.	34
Şekil 3.17. Durağan olmayan bulanık üyelik ve ikincil üyelik fonksiyonları	35
Şekil 3.18. Durağan olmayan bulanık sistem yapısı [55].....	36
Şekil 3.19. DC motor kontrolü için kullanılan bulanık üyelik fonksiyonları.....	37
Şekil 3.20. DC motor kontrol sisteminin blok diyagramı	38

Şekil 3.21. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın gürültüsüz ortamda performansları.....	39
Şekil 3.22. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın az gürültülü ortamda performansları.....	39
Şekil 3.23. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın orta gürültülü ortamda performansları.....	39
Şekil 3.24. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın yüksek gürültülü ortamda performansları.....	40
Şekil 4.1. Görüntü mozaikleme işlemi [22]	43
Şekil 4.2. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme adımları [25].	44
Şekil 4.3. DOG yönteminin tek boyutlu sinyal üzerindeki görüntüsü	45
Şekil 4.4. DOG ile görüntüdeki anahtar noktaların tespit edilmesi	45
Şekil 4.5. Ölçekten bağımsız özellik dönüşümü yöntemi ile çıkarılan özellikler [73]	46
Şekil 4.6. Rastgele örneklerin fikir birliği algoritmasının akış şeması [75].....	47
Şekil 4.7. Temel homografi dönüşümleri.....	48
Şekil 4.8. Renk harmanlama etkisi.....	51
Şekil 4.9. Mozaikleme işleminin örnek bir problem üzerinde adım adım gösterimi	51
Şekil 4.10. Az detaya sahip başarısız mozaikleme örneği.	54
Şekil 4.11. Görüntü mozaikleme adımları.	55
Şekil 5.1. Geçiş hesabı için kullanılan ağırlıklar.....	57
Şekil 5.2. Anahtar noktanın etrafındaki geçişler.	58
Şekil 5.3. 36 bölmeli histogram grafiği	59
Şekil 5.4. Özellik çıkarımı için alt alanların elde edilmesi	60
Şekil 5.5. Bulanık kümeleme için kullanılacak üyelik fonksiyonları.....	61
Şekil 5.6. Örnek durağan olmayan bulanık küme elde edilmesi	61
Şekil 5.7. 128 boyutundaki özellik vektörünün görsel ifadesi	62
Şekil 5.8. Geliştirilen yöntemin adım adım gösterimi ve ölçekten bağımsız yöntem ile kıyaslanması.	64
Şekil 5.9. Geliştirilen yöntem ile klasik yöntemin gürültülü ortamlarda testi	67
Şekil 5.10. Bozulmuş görüntü üzerinde sistemin test edilmesi.....	69
Şekil 5.11. Geliştirilen yöntem ile mozaikleme örneği 1	70
Şekil 5.12. Geliştirilen yöntem ile mozaikleme örneği 2	71
Şekil 6.1. Braccio robot kol.....	73
Şekil 6.2. Arduino AT Mega 2560 Geliştirme Kartı.....	74
Şekil 6.3. Arduino Wi-Fi adaptörü.....	74

Şekil 6.4. Modüler adaptörlerin entegre edilmiş hali	75
Şekil 6.5. Braccio kolun çalışır vaziyete gelmesi.....	75
Şekil 6.6. SFS’lerde durum izleme için kurulan deney ortamı	76
Şekil 6.7. Sistemin çalışma anından elde edilen görüntülerin birleştirilmesi	78
Şekil 6.8. Senaryolardan elde edilen toplam piksel farkının karşılaştırması.....	80
Şekil 6.9. Senaryolardan elde edilen toplam çakışan nokta sayısının karşılaştırması.....	80
Şekil 6.10. Senaryolardan elde edilen ortalama hata değerinin karşılaştırması	80



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. IOT ve SFS'nin karşılaştırılması	14
Tablo 2.2. Meydana geldikleri yere göre belirsizlikler [46].	18
Tablo 2.3. Modelleme yaklaşımlarına göre belirsizlikler [46].	19
Tablo 2.4. Yapılarına göre belirsizlikler [46].	19
Tablo 3.1. Literatürde kullanılan üçgen, yamuk, gauss ve sigmoid üyelik fonksiyonlarına ait grafik ve formüller [60].	26
Tablo 3.2. DC motor kontrol için kullanılan kural tabanı tablosu.	38
Tablo 3.3. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık için geçen süreler.	40
Tablo 4.1. Şekil 4.7'deki dönüşümleri gerçekleştiren homografi matrisleri	49
Tablo 5.1. Örnek senaryo için üyelik derecelerinden nihai üyelik derecesini elde etme.	62
Tablo 5.2. Gürültülü ortamda yöntemlerin kıyaslanması için gerçekleştirilen testler.	68
Tablo 6.1. Önerilen yöntem ve klasik yöntemin farklı senaryolar için karşılaştırılması	79

SİMGELER LİSTESİ

m	: Vektörel büyüklük
m_x	: X eksenindeki vektörel büyüklük
m_y	: Y eksenindeki vektörel büyüklük
θ	: Yönelim açısı
n	: Anahtar Nokta
I	: İmge
H	: Homografi matrisi
p	: Bulanık sınırlar için artış değeri
μ	: Üyelik fonksiyonu
G	: Güven değeri
E	: Hata
M	: Üyelik durumu
c	: Küme merkez
α	: Yönelim açısı
d	: Uzaklık
v	: Özellik vektörü

KISALTMALAR LİSTESİ

SFS	: Siber Fiziksel Sistem
SIFT	: Ölçekten bağımsız özellik dönüşümü
RANSAC	: Rastgele örneklerin fikir birliği
SSD	: Kareler farklarının toplamı
ANN	: Yaklaşık en yakın komşuluk
HOG	: Yönlü eğimlerin histogramı (Histogram of Gradient)
DC	: Doğru akım
IOT	: Nesnelerin İnterneti
REST	: Temsili durum transferi (Representational State Transfer)
GPS	: Küresel konumlandırma sistemi
FOU	: Belirsizliğin ayak izi
PID	: Oransal integral türevsel (Proportional, Integral, Derivative)
DOG	: Gauss farkı (Difference of Gaussian)
AN	: Anahtar Nokta
Wi-Fi	: Kablosuz bağlantı alanı (Wireless Fidelity)

1. GİRİŞ

Fiziksel donanımlar ve bu donanımların istenilen bir şekilde çalışması için gereken algoritmalar bir sistemin uygulamasındaki anahtar faktörlerdir. Siber Fiziksel Sistemler (SFS), klasik gömülü sistemlerin aksine bu kontrol algoritmaların doğrudan donanımlar üzerinde çalışmadığı sistemlerdir. Siber ve fiziksel katmanlarının birbirinden ayrılıp, iletişim teknolojileri sayesinde haberleştikleri SFS'ler; ölçeklendirilme, geliştirilme, koordine çalışma ve kolay müdahale açısından klasik gömülü sistemlere karşı üstünlük göstermektedirler. Sağlamış olduğu avantajlar dolayısıyla, günümüzde gömülü sistemler yavaş yavaş yerlerini SFS'lere bırakmaya başlamıştır. Akıllı otoyollardan tıbbi uygulamalara kadar geniş uygulama alanı bulan SFS'nin sanayide kullanılması ile birlikte, 4. sanayi devrimi olarak nitelendirilen ve daha az insan gücüne ihtiyaç duyarak birim zamanda daha çok ürünün üretilbildiği yeni bir döneme girilmektedir. Amerika Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün raporuna göre 2025 yılında SFS'nin doğrudan kullanılacağı sektörlerin büyüklüğünün 82 trilyon dolar olması öngörülmektedir. Bu kapsamda SFS alanına yatırımlar yapılmakta ve bu konu hakkında çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Belirsizlik, bilginin doğruluğuna güvenin tam olmama durumunu temsil etmektedir. Modeller matematiksel olarak kesin bir şekilde ifade edilebilmekle birlikte, bu modellerin fiziksel karşılıklarının model gibi kararlı davranması mümkün değildir. Sistemin ne kadar iyi modellendiğinden bağımsız olarak belirsizlikler her zaman meydana gelebilecek istisnai durumlardır. SFS'ler genellikle kritik görevleri gerçekleştirmek için kullanılan büyük sistemler olduklarından dolayı, belirsizlik gibi durumlar sistemin güvenilirliğine büyük tehdit oluşturmaktadır. Yine bu sistemlerin yaygınlığını ve kritikliğini göz önüne aldığımızda, sistemin güvenilir bir şekilde çalışması büyük önem taşımaktadır [1]. Sistemlerin güvenilirliğini artırmak adına belirsizlikler ele alınması gereken bir konudur [2].

Durum izleme, makinelerin durumunu çalışma anında görüntüleme işlemidir. Durum izleme araçları, sistemde meydana gelebilecek muhtemel arızayı önceden tespit ederek sorunlu kısmın onarımı için erken uyarıda bulunabilir. Bu sayede ağır arıza olasılıkları minimuma indirilir, makine bakımları daha planlı bir hale getirilebilir ve onarım için gereken parçaların temini daha erken gerçekleşebilir. Örneğin durum izleme araçları makinede bir

aşınma hissederse, aşınan parçaya yönelik bir onarım işleminde bulunulması veya makinenin durdurulması için gerekli bilgiyi yetkili personellere bildirir. Böylelikle aşınan parçanın daha büyük bir arızaya sebebiyet vermesinin önüne geçilmiş olunur. Arızalar sebebiyle üretimdeki aksamalar mümkün olduğunca en aza indirgenerek, üretimin devamlılığı ve zararın asgari seviyede olması sağlanır. Olası maliyetleri önlemek adına, belirsizlik dolayısıyla istenilenin dışında gerçekleşen olaylar durum izleme ile kontrol altında tutulabilirler.

Durum izleme, çeşitli sensörler aracılığıyla alınan bilgilerin bilgisayar aracılığıyla işlenmesini ve böylece anlamlandırılan bu verilerin operatöre bildirilmesini amaçlar. Kamera da durum izlemede yararlanılabilecek bir sensördür. Kameralar aracılığıyla ortamdaki cihazların görüntüleri alınarak durum izleme yazılımları aracılığıyla operatörlere gösterilebilir. Ortamın gözlemlenmesi sistemin güvenliğini artırmakla birlikte, alınan görüntülerin bilgisayar tarafından işlenmesi ile de bölgedeki risk faktörlerinin bilgisayar ortamında analiz edilebilmesi mümkün hale gelir. Ancak özellikle kapalı ortamlarda azami kamera uzaklığının sınırlı olması sebebiyle, tek kamera ile görüntülenmesi mümkün olmayan, büyük bölgeler oluşabilmektedir. Bu bölgelerin tek seferde görüntülenebilmesi için birden fazla kameradan görüntü alınarak, alınan görüntülerin mozaikleme adı verilen birleştirme işlemine tabi tutulması gerekir.

1.1. Literatür Özeti

Bu tez çalışması örnek bir SFS ortamının kurulması ve görüntü mozaikleme için durağan olmayan bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntem geliştirilmesi olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Dolayısıyla bu bölümde SFS uygulamalarına ait literatür taraması ile görüntü mozaiklemeye ait literatür taraması ayrı ayrı ele alınmıştır.

SFS'ler güncel bir konu olmasına rağmen birçok çalışmaya konu olmuştur. SFS kavramı yaklaşık 10 yıl kadar önce çoğunluğu gerçek zamanlı sistemler, hibrid sistemler ve kontrol sistemleri üzerine çalışan araştırmacılar tarafından ortaya atılmıştır [3]. Bu tarihten itibaren sağlamış oldukları avantajlar sebebiyle dünyada gerçekleştirilen birçok araştırmaya konu olmasına rağmen, ülkemizde yapılan fazla çalışma bulunmamaktadır. Öyle ki günümüz itibari ile Ulusal Tez Merkezi'nde bir adet çalışma bulunmaktadır [4]. Yurtdışında gerçekleştirilen çalışmalar sağlık, çevre, üretim, ulaşım, tarım ve güvenlik gibi çok çeşitli

alanlarda gerçekleşmektedir. Bu çalışmalardan biri çevreyi ve ortamdaki değişkenleri izlemek için yapılmıştır. Yapılan çalışmada ortama yerleştirilen sensörlerden alınan veriler kablosuz ağların sağlamış olduğu erişim noktalarına iletilir. Erişim noktaları internet teknolojileri yardımı ile bu verileri uzaktaki bilgisayara iletir ve veriler bu bilgisayar tarafından işlenerek kullanıcıya gösterilir. Çalışmada ortam bilgilerini edinmek için sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit, mutlak basınç ve ışık sensörleri kullanılmıştır [5]. SFS mimarisini kullanan bir diğer çalışma ise tarımsal alanda gerçekleşmiştir. Bu çalışmada patates tarlalarına yerleştirilen sensörler yardımıyla toplanan veriler ağ aracılığıyla sunuculara iletilmektedir. Sunucu tarafında analiz edilen bilgi sonucunda gübreleme gibi o anda yapılması gereken işlemler kullanıcılara bildirilmektedir. Bu çalışmada fazla tecrübesi olmayan çiftçilere birer kılavuz sağlanması ve çiftçinin üretim aşamasında karşılaştığı risklerin muhtemel etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır [6]. Çevre ile ilgili uygulama alanlarından biri de akıllı ulaşımıdır. Akıllı ulaşım uygulamaları da SFS'nin getirdiği avantajlardan yararlanmaktadır [7-9]. Teknolojinin diğer alanlarında olduğu gibi mahremiyet SFS için de önemli bir konudur. Yapılan çalışmaların birinde bir noktadan diğer bir noktaya olan trafiğin mahremiyet sınırları içerisinde hesaplanması için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem yol kenarına aracı tespit etmek amacıyla yerleştirilen sensörlerden gelen bilgilerin maskelenerek sunucuya gönderilmesi ile çalışmaktadır. Sunucuya gelen bilgiler doğrultusunda, aracın ikinci noktaya ulaşım süresini de göz önüne alarak bu iki nokta arasındaki trafik tahmini, sunucu tarafında bulunan özel algoritmalar ile gerçekleştirilir [9].

Sağladıkları avantajlar sebebiyle SFS'ye ihtiyaç duyulan alanlardan biri de endüstridir. SFS'lerin bulanık mantık gibi gelişmiş denetleyiciler ile birlikte kullanımlarının gömülü sistemlere göre daha kolay gerçekleştirilebilmesinden dolayı tercih edilen bir mimaridir [10]. Ayrıca siber ve fiziksel katmanlarının ayrılmasının getirmiş olduğu avantaj sayesinde kontrol algoritmasında gerçekleştirilecek bir güncellemenin sisteme yansması daha kısa sürede gerçekleşecektir. Bu da sistemin güncel kalmasını sağlayacağından, güncelliğin önemli olduğu endüstri için tercih sebebi olmaktadır. SFS'nin endüstride kullanımı sonucu güçlenen Endüstri 4.0 bunun bir göstergesidir [11]. SFS tabanlı endüstri sistemlerinin geliştirilmesine yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur [12-16]. Bu çalışmalardan birinde fiziksel katmandan siber katmana gönderilen verinin gerçek zamanlı olarak doğru bir biçimde gittiğini doğrulamak ve siber katmana ulaşan bu verinin zeki yaklaşımlarla analiz edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, verinin toplanmasından anlamlandırılıp

kullanılmasına kadar geçen süreç farklı başlıklar altında ele alınmıştır. Oluşturulan mimari verinin toplanmasını, bilginin işlenmesini, kullanıcılara sunulmasını ve karar destek uygulamalarının geliştirilmesini kapsamaktadır [13].

Hangi alanda olursa olsun bir sistemin güvenliği önemlidir. Özellikle büyük çaplı ve kritik uygulamalar göz önüne alındığında güvenlik çok daha önemli hale gelmektedir. SFS çok katmanlı yapıda olduğundan ve katmanlar arası ağ teknolojileri ile haberleştiğinden iyi yapılandırılmamış bir SFS; ağ, sensör veya fiziksel bileşenlere yönelik saldırılara maruz kalabilir. Bu saldırıları engellemek veya etkisini azaltmak adına yapılan çalışmalar SFS'nin yaygınlaşması ve güvenle kullanılabilmesi adına önemlidir [17,18]. Diğer taraftan SFS'nin uygulanmasında karşılaşılan zorluklara yönelik çalışmalar da yapılmaktadır [19-26].

SFS'nin sağlık alanındaki uygulamaları ise, hastaların yararlanacağı platformların oluşturulmasından tıbbi görüntüleme cihazlarının geliştirilmesine kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu çalışmaların birinde sağlık alanından sağlanan büyük verilerin işlenmesi için SFS tabanlı bir sistem önerilmiştir. Akıllı sağlık sistemi adı verilen çalışma ilk olarak kişisel sağlık cihazlarından ve paylaşılan hastane kayıtlarından verilerin toplanmasını sağlar. Ardından elde edilen verilerin depolanması ve analizi siber katmanda gerçekleştirilir. Son olarak bu platformdan üçüncü parti geliştiricilerin de yararlanabilmesi için uygulama programlama ara yüzü oluşturulur [27]. Sağlık alanında gerçekleştirilen görüntü mozaikleme işlemi de içeren bir SFS uygulaması da yemek borusu, mide, bağırsak gibi organların içinin 3 boyutlu haritasını çıkarmak için yapılmıştır. Organların 3 boyutlu haritasını oluşturmak için görüntü mozaikleme işleminden yararlanılmıştır. Ancak görüntü mozaikleme işlemi yüksek işlemci gücü gerektirdiğinden bu işlemi gerçekleştirebilecek boyuttaki bir aletin görüntülenmek istenilen bölgelere sığması mümkün olmamaktadır. Bu sebepten SFS mimarisi kullanılarak, hap şeklindeki kablosuz kameralardan alınan görüntülerin dışardaki bilgisayara iletilmesi ve mozaikleme işleminin bu bilgisayarlar aracılığıyla yapılması sağlanmıştır [28].

Birden fazla görüntünün tek düzlemde gösterilmesini amaçlayan görüntü mozaikleme, süre ve kalite bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmesine yönelik birçok çalışmaya konu olmuştur. Görüntü mozaikleme, yüksek çözünürlüklü resimler elde etmede kullanımlarının yanında panoramik görüntüler elde etmeden videodaki hareketli nesneleri silmeye kadar çeşitli amaçlarla da kullanılmaktadır. Literatürde geçen görüntü mozaikleme için yapılan genel işlemler Şekil 1.1'de akış diyagramı halinde verilmiştir.



Şekil 1.1. Literatürde yer alan özellik tabanlı mozaikleme yönteminin genel adımları [29].

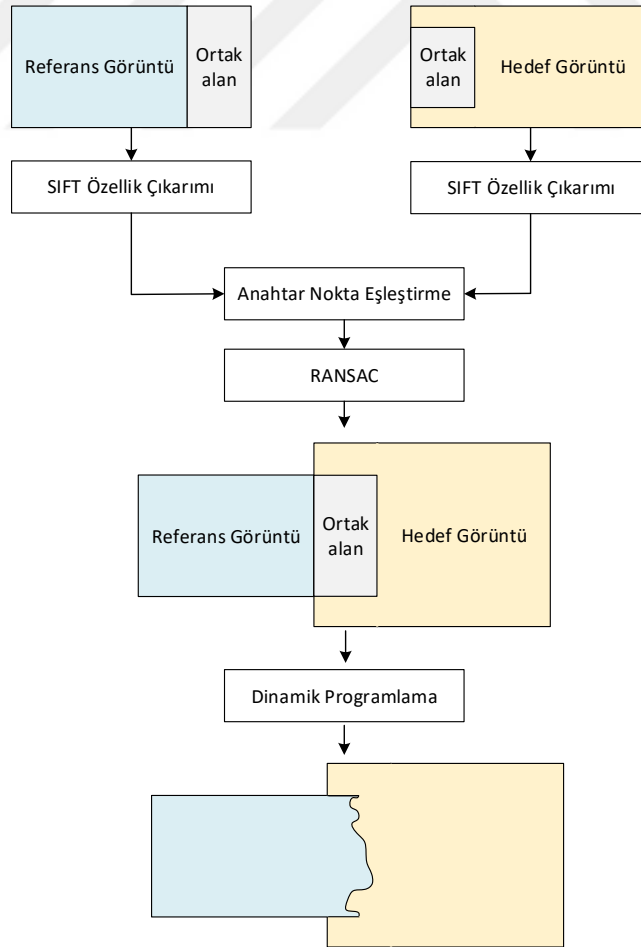
Görüntü mozaikleme ile ilgili yapılan çalışmaların birinde birden fazla kameradan alınan görüntülerin panoramik olarak birleştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak balık gözü lenslerin sebep olduğu bozulmaları gidermek adına algoritmalar uygulanmıştır. Daha sonra elde edilen görüntülerden kesintisiz silindirik bir panorama elde etmek için gerekli dönüşümler yapılmıştır. Son olarak da SIFT algoritmasından yararlanarak görüntülerin birbirine eklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan RANSAC algoritması hatalı eşleşmelerin sebep olduğu olumsuz etkiyi azaltmıştır [30].

Diğer bir çalışmada görüntü mozaikleme işleminin bir adımı olan özellik çıkarımı için SURF yönteminden yararlanılmıştır. İki farklı görüntüden elde edilen özelliklerin birbirine benzerliklerini ölçmek için SSD yöntemi kullanılmıştır. RANSAC algoritması ile hatalı eşleşmeler elenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Harris yöntemi de denenerek SURF yöntemi ile kıyaslanmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu SURF yönteminin çok görüntülü görüntü mozaiklemede daha doğru sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır [31].

Bir başka çalışmada ise video gibi ardışık ve birbiri arasında çok az fark bulunan görüntülerin mozaiklenmesi için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada videodaki ardışık her kareyi birleştirmek yerine belli bir oranda aynı sahneyi içeren görüntüler seçilerek hem performans hem de kalite bakımından üstünlükler elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada hareketli nesnelerin sebep olacağı hayalet görüntüleri önlemek adına çeşitli işlemler uygulanmıştır [32].

Görüntü mozaikleme için yapılan bir diğer çalışma ise özellik çıkarım aşamasında SURF yöntemi, benzerliklerin bulunmasında ANN yöntemi ve hatalı eşleşmelerin elenmesinde ise RANSAC yöntemi kullanılmıştır. Eşleşmelerin bulunmasında daha doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlayan çok yönlü HOG yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen görüntüdeki geçişlerin yumuşatılması işlemi çok bantlı harmanlama algoritması sayesinde gerçekleştirilmiştir [33].

Yapılan bir diğer çalışma ise görüntülerin geçişsiz bir biçimde birleştirilmesi için birleştirilecek optimum noktaların tespiti amaçlamıştır. Ayrıca birleştirilen görüntülerde yer alan nesnelerin konumunun değişmesinden kaynaklanan hayalet görüntüleri gidermek adına da çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada özellik çıkarımı için SIFT algoritması tercih edilirken, hatalı eşleştirmeleri elemek için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Optimum birleştirme çizgisini tespit etmek için ise dinamik programlama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yönteme ait blok diyagramı Şekil 1.2’de verilmiştir [34].



Şekil 1.2. Dinamik programlama yardımı ile optimum birleştirme noktalarının seçilmesi [34].

Yüksek çözünürlüğe sahip geniş açılı manzara fotoğrafları elde etmek için yapılan çalışmalardan birinde görüntü mozaiklemede sıklıkla kullanılan özellik çıkarma, anahtar nokta eşleştirme, küme analizi ve dinamik programlama gibi genel yöntemlere ek olarak birleşmiş görüntüyü yumuşatmak ve geçişleri belli olmayan görüntü elde etmek için ağırlıklı ortalama yöntemi de kullanılmıştır. Kullandığı maskelemeden dolayı yöntem karanlık alanlarda daha etkili sonuçlar vermesine rağmen aydınlık alanlar için yetersiz kalmıştır [35].

Mozaiklemenin harita çıkarma veya tıbbi görüntüleme alanlarında kullanımları da mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde su altında alınan görüntülerin mozaiklenerek su altı haritalarının çıkarılması gerçekleştirilmiştir. Özellik tanımlayıcıların eşleşmesine ve benzerliğine bağlı olarak alt haritaları oluşturabilmek için hiyerarşik kümeleme yöntemi kullanılmıştır [36]. Tıbbi alanda yapılan bir çalışmada ise azami 45 derece ile alınan fundus görüntüleri birleştirilerek tek bir görüntü elde edilmiştir. Özelliklerin çıkarılması aşamasında Weber yerel tanımlayıcıları kullanmış, bu yöntemin performansını SURF, SIFT ve ASIFT gibi güncel algoritmalarla kıyaslamıştır. Hatalı eşleştirmelerin önüne geçmek için bu çalışmada da RANSAC kullanılmıştır [37].

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında ise görüntü mozaiklemede en önemli adımlardan biri olan özellik çıkarımı için durağan olmayan bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde anahtar noktaların tespiti için gauss farkı yöntemi, anahtar noktaların eşleştirilmesinde Öklid uzaklığı, hatalı eşleşmelerin elenmesinde ise RANSAC algoritmasından yararlanılmıştır. Önerilen yöntem MATLAB ortamında uygulanarak başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Ardından endüstriyel üretim ortamını modelleyen örnek bir SFS kurulumu gerçekleştirilmiş, kameralar aracılığıyla bu ortamdan görüntüler alınmıştır. Alınan görüntülerin mozaiklenmesi işlemi geliştirilen yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntem klasik ölçekten bağımsız özellik çıkarma yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen yöntemin özellikle gürültü veya belirsizlik gibi durumlarda çok daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Belirsizlik durumları daima sistemin güvenliğine ve kararlılığına karşı bir tehdit oluşturduğundan bu gibi durumların ele alınması gerekmektedir. Bir sistem ne kadar iyi modellenirse modellenirse, belirsizlik durumlarının deterministik olarak modellenmesi

mümkün değildir [2]. Belirsizlik gibi beklenmeyen durumları kontrol altında tutmak adına durum izleme uygulamaları kullanılmaktadır. Durum izleme, özellikle insan müdahalesini en aza indirgeyen SFS'ler için daha kritik bir öneme sahiptir. Günümüz gelişen teknolojisi ile bilgisayarların görüntülerden anlam çıkarması mümkün hale geldiğinden, görüntü işleme teknikleri belirsizliklerin sebep olduğu aykırı durumları tespit etmeye yardımcı olarak kullanılabilir. Büyük alana yayılmış sistemlerde anlamlı görüntünün tek bir fotoğraf karesine sığdırılması mümkün olmayabileceğinden, bu tarz durumlarda bilgisayarın veya operatörün anlamlandırabileceği görüntüyü elde etmek için öncelikle parça parça alınan görüntülerin mozaikleme işlemine tabi tutulması gerekir.

Bu tez çalışmasında özellikle SFS'lerdeki belirsizliklerin sebep olabileceği hataların kontrol altında tutulması adına görüntü mozaikleme yöntemi geliştirilmiştir. Görüntü mozaikleme işleminin gerekliliği olan görüntü eşleştirme için öncelikle görüntüler üzerindeki özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler SIFT yöntemine göre görüntünün karakteristik bölgelerine ait, aynı yönelime sahip piksel geçişlerinin büyüklüklerinin toplamıyla hesaplanmaktadır. Bu yöntemde göre yönelim açıları ilk olarak kuzey, kuzey doğu, doğu, güney doğu, güney, güney batı, batı, kuzey batı olmak üzere 8 kümeye ayrılmaktadır. Mevcut yöntemdeki kümeleme işlemi klasik küme mantığına göre gerçekleştiğinden eşik değerler etrafındaki küçük değişimler, özellik vektörü üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Özellikle gürültü gibi piksellerin sapmasına sebebiyet veren faktörler göz önüne alındığında, klasik küme mantığı yöntem için büyük dezavantaj oluşturmaktadır. Bu çalışmada kümeleme işlemi için klasik kümeler yerine durağan olmayan bulanık kümelerden yararlanılmıştır. Bu sayede özelliklerin daha doğru belirlenmesi, hatalı eşleşmelerin azalması, homografi tahmininin daha hassas gerçekleşmesi ve sonuç olarak daha kaliteli mozaiklenmiş görüntünün elde edilmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın diğer bir kısmını ise örnek bir SFS ortamının kurulması oluşturmaktadır. Tez kapsamında uzaktaki bilgisayardaki simülasyonlar ile kontrol edilen bir mini endüstri ortamı modellenmiştir. SFS tabanlı kurulan bu ortamdan kameralar aracılığıyla görüntüler alınarak, geliştirilen mozaikleme yöntemi bu görüntüler üzerinde uygulanmıştır. Kurulan SFS ortamı ileride gerçekleştirilecek çalışmalar için bir altyapı sağlamıştır. Bu çalışma SFS'ler için durum izleme altyapısı oluşturmalarının yanında, görüntülerin eşleştirilmesi işleminin durağan olmayan bulanık mantık yardımı ile yapılması açısından da literatürdeki çalışmalardan farklıdır. Yapılan çalışma ile fiziksel katmanın, siber katmandan

görüntülenmesi mümkün olacağından SFS'lerin daha uyumlu ve kontrollü bir şekilde çalışmasına katkıda bulunulmuştur.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi durağan olmayan bulanık mantık tabanlı görüntü mozaikleme yönteminin geliştirilmesi, ikincisi ise örnek bir SFS ortamının kurularak geliştirilen yöntemin bu sistem üzerinde test edilmesidir. Bu sebepten dolayı yapılan çalışmanın daha iyi anlaşılması adına tezde SFS'ler, durağan olmayan bulanık mantık ve görüntü mozaikleme gibi teorik bilgilere yer verilmiştir. Teorik bilgilerin yanında; SFSI'ler için örnek uygulamalar, durağan olmayan bulanık mantık için DC motor kontrol örneği ve görüntü mozaikleme için ölçekten bağımsız özellik çıkarımı tabanlı uygulama örnekleri verilmiştir. Bölüm sonlarında yer alan bölüm değerlendirmeleri ile ilgili bölümlerde neler yapıldığı özetlenerek teze olan katkılarından bahsedilmiştir.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde SFS'ler incelenmiştir. Siber, fiziksel ve iletişim katmanlarına değinilmiştir. Ardından belirsizlik kavramı ve SFS'de meydana gelebilecek belirsizliklere değinilerek durum izlemenin gerekliliği vurgulanmıştır.

Üçüncü bölümde ise bulanık mantık ve çıkış noktası açıklanmıştır. Tip-1 bulanık mantığın belirsizlikleri ifade etmedeki yetersizliği ve tip-2 bulanık mantığın gerekliliği vurgulanmıştır. Ardından tip-2 bulanık mantığın getirdiği hesapsal karmaşadan dolayı durağan olmayan bulanık mantığa duyulan ihtiyaç dile getirilmiştir. Durağan olmayan bulanık mantık kavramı açıklanarak; tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık için karşılaştırmalara yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde tezin asıl kısmını oluşturan görüntü mozaikleme işlemi açıklanmıştır. Görüntü mozaikleme için literatürde geçen genel adımlara ve bunların detaylarına yer verilmiştir. Açıklanan adımlar çeşitli mozaikleme problemleri üzerinde denenerek adım adım sonuçları gösterilmiştir.

Beşinci bölümde geliştirmiş olduğumuz durağan olmayan bulanık mantık tabanlı özellik çıkarma yöntemi açıklanmıştır. Durağan olmayan bulanık mantığın yöntemle olan katkıları ifade edilerek örnek mozaikleme problemleri üzerinde yöntem test edilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlara yer verilerek SIFT yöntemi ile kıyaslanmıştır.

Altıncı bölümde ise örnek bir SFS ortamının kurulması ve geliştirilen yöntemin bu ortamdan alınan görüntüler üzerinde test edilmesi sağlanmıştır. Ortamın gerçekleştirilmesi için kullanılan malzemelere değinilerek kurulan sistemin şemasına yer verilmiştir. Son olarak yöntemden elde edilen sonuçlar, klasik SIFT yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen yöntemin özellikle gürültülü ortamlarda daha üstün sonuçlar elde ettiği kanısına varılmış, bu çıkarımlar sonuçlar kısmında açıklanmıştır.

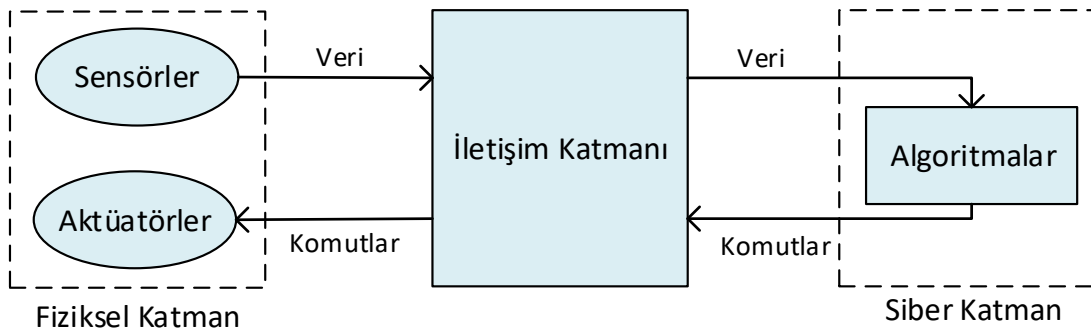


2. SİBER FİZİKSEL SİSTEMLER

SFS, algoritmik bileşenlerin yer aldığı siber katman ile çevre birimlerinin yer aldığı fiziksel katmanın birbirinden ayrı olduğu sistemdir [38]. Birbirinden ayrılan bu iki katmanın koordine bir şekilde çalışması gerekir. Temel bir SFS’de, siber ve fiziksel katmanın yanında koordinasyonunu sağlamak için bir de iletişim katmanı yer alır. Siber katman bilgisayar algoritmalarının çalıştığı ve fiziksel sistemin modellendiği katman olarak tanımlanabilir. Sensörlerden gelen veriler bu katmanda işlenir ve fiziksel donanımlara gidecek komutlar bu katmandaki algoritmalar tarafından oluşturulur. İletişim katmanı, verilerin katmanlar arasındaki iletiminden sorumludur ve çift taraflı iletimi sağlayacak kapasitedir. Bu katman sensörden gelen verileri fiziksel katmandan siber katmana, fiziksel bileşenlere gidecek komutları ise siber katmandan fiziksel katmana iletmek ile yükümlüdür. Fiziksel katman ise çevre birimlerinin ve fiziksel donanımların (sensör ve aktüatör gibi) bulunduğu katmandır. Bu katman sayesinde çevreden bilgiler toplanır ve yapılması gereken hareketler yine bu katmandaki bileşenlerce gerçekleştirilir. Bu sayede çevre ile fiziksel etkileşim sağlanmış olunur.

SFS tabanlı bir kontrol sisteminin çalışması kabaca aşağıdaki döngü içerisinde gerçekleşir. Bu döngü Şekil 2.1 ile gösterilmiştir.

- 1- Sensörlerden alınan bilgiler iletişim katmanı yardımı ile siber katmana iletilir.
- 2- Siber katmana ulaşan veri, bu katmandaki algoritmalar tarafından işlenerek fiziksel hareket kabiliyetine sahip aktüatörlerin hareketi için gerekli komutlar oluşturulur.
- 3- Oluşturulan komutlar yine iletişim katmanı yardımı ile fiziksel katmandaki aktüatörlere iletilir.



Şekil 2.1. Siber fiziksel kontrol sistemler içi blok diyagramı

Bir başka deyişle SFS, sensör ve kontrol birimi gibi fiziksel ünitelerin insan-makine etkileşimini sağlaması için ağ bileşenleri sayesinde buluttaki sistem tarafından kontrol edilmesi olarak tanımlanabilir. Tanımı itibari ile nesnelerin internetine (IOT) benzeyen SFS'ler daha bütünleşik ve karmaşık bir yapıya sahiptirler. İletişim teknolojilerinin gelişmesi sonucu fiziksel ünite ile mikroişlemcinin aynı yerde bulunması zorunluluğunun ortadan kalkması ile ortaya çıkan SFS, tanımından da anlaşılacağı üzere birçok konuyu kapsayan disiplinler arası bir terimdir. Kapsadığı konular açısından gömülü sistemler, kontrol, ağ, güvenlik, robotik, mekanik gibi geniş bir yelpazeye sahip olan SFS'ler hemen hemen her alanda uygulanabilir yapıya sahiptir.

SFS'nin katmanlı yapıda olması esneklik, güvenlik, ölçeklendirilebilirlik açısından mühendislere avantajlar sağlamaktadır. Katmanlı yapısı ve birbirinden haberdar alt bileşenleri sayesinde sistemde yapılacak herhangi bir ekleme veya çıkarma en az çaba ile gerçekleştirilir. Ayrıca katmanların birbirinden ayrılması bakım ve onarım süreçlerinde geliştiricilere ve kullanıcılara zaman kazandırır. Örneğin normalde kontrol algoritmasında ufak bir değişiklik için sahadaki cihazların her biri üzerinde yapılması gereken güncelleme, SFS'lerde siber katmanda (algoritmaların koşurulduğu ana bilgisayarda) yapılarak gerçekleştirilebilir. SFS'ler sistemi bir bütün olarak görebildiği için kontrol etmek ve güvenilirliğini sağlamak da kolay hale gelmektedir.

SFS terimi 2000'li yıllarda ortaya çıkmış olmakla birlikte günümüz ve yakın gelecek sanayisine etkisinin oldukça fazla olacağı düşünülmektedir. SFS uygulamaları; medikal sistemleri, trafik kontrol ve güvenliğini, ileri otomotiv sistemlerini, iş kontrol süreçlerini, enerji korumayı, çevresel kontrolü, dağıtık robotiği, silah sistemlerini, üretim sistemlerini, dağıtık kontrol ve kumandayı, akıllı yapıları, biyolojik sistemleri ve iletişim sistemlerini kapsamaktadır. Amerika Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün raporuna göre 2025 yılında SFS'lerin doğrudan kullanılacağı sektörlerin toplam büyüklüğünün 82 trilyon dolar olması öngörülmektedir. Bu da SFS'ye olan rağbeti ve SFS'nin popüleritesinin artmaya devam edeceğini göstermektedir. SFS yaklaşık 10 yıl kadar önce farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından ortaya atılmış bir kavram olsa da, günümüzde sanayisi gelişmiş ülkelerde bulunan öncü üniversitelerin müfredatlarında yerini almıştır [39].

Nesnelerin birbiri ile haberleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan günümüz trend teknolojilerinden biri de IOT'dir. IOT ve SFS'ler göz önüne alındığında, ikisinde de bir biri ile koordine çalışan akıllı nesneler söz konusu olduğundan bu iki kavram birbirine benzetilmektedir [6]. IOT, nesnelerin birer eşsiz kimliğe sahip olması ve bu nesnelerin belirli

protokoller üzerinden birbirleri ile iletişim içinde olması olarak açıklanmaktadır. SFS'ler de aynı şekilde nesnelerin birbirinden haberdar bir şekilde senkron çalışmasını amaçlamaktadır. Ancak SFS'de temel fark, sistemin gerçekçi modelinin bilgisayar ortamında oluşturulmasıdır. SFS'de simülasyon-gerçek dünya ilişkisi üzerinden bir takım işlemler yapmak amaçlanmaktadır. Genellikle küçük çaplı ağda birbirine bağlı cihazlardan oluşan SFS'lerde üst düzey bir entegrasyon olması gerekirken; IOT daha basit haberleşme ihtiyacı üzerine kuruludur. Örneğin üzerinde sensörleri bulunan akıllı bir bardak ile kahve makinasını ele alalım. Bardak, üzerindeki sensörler yardımı ile ne kadar boş/dolu olduğunu, sıcaklığını ve hareketini algılayabilecek kabiliyette olsun. Şirket çalışanı bardağı eline alıp kahve makinesine doğru ilerlediğinde, bardak kahve makinesine uyarıda bulunsun ve makine içerisindeki su kaynama seviyesinde değilse ısıtma işlemine başlasın. Bu şekilde bir yapı IOT'ye örnek verilebilecekken; bu kahve makinesinin bir bilgisayar tarafından iletişim teknolojileri aracılığıyla komuta edilmesi SFS örneği olabilir. Kahve makinesi üzerindeki sensörler yardımı ile içindeki kahve miktarı, suyunun sıcaklığı gibi bilgilerin internet üzerinden bir bilgisayara gittiğini varsayalım. Burada bilgisayar ile makinenin entegrasyonu son derece önemli olduğundan, kahve makinesinin karakteristiğinin bilgisayar ortamında gerçekçi bir şekilde modellenmesi önemlidir. Makineden gelen bilgilerin simülasyon üzerinde koşturulması sonucu elde edilmesi istenilen çıktı için gerekli komutlar yine internet üzerinden makineye iletilir. Örneğin su sıcaklığının 70 derece ölçüldüğünü varsayalım, bilgisayara bu sıcaklığın 85 dereceye getirilmesini söyleyelim. Bu durumda bilgisayar bu işlem için gerekli parametreleri simülasyon yardımı ile hesaplar ve ısıtıcıyı tetikleyen komutu makineye ileterek ısıtıcının bu parametrelere göre belirli bir güçte belirli bir süre çalışmasını sağlar. Eş zamanlı olarak sıcaklık bilgisini alabildiğinden dolayı sistemin kontrolünü sağlama işlemi yine bilgisayar tarafından yapılabilir, hesaplanan süreden önce istenen sıcaklığa ulaşılması durumunda ikinci bir komutla ısıtıcıyı durdurabilir. Şirkettekilerin günlük kahve tüketim alışkanlıkları siber katman tarafından analiz edilerek, kahve içilmesi muhtemelen olan zamanlar için suyun sürekli sıcak kalması gibi sistem kontrolleri yapmak da mümkündür. Kontrol işleminin harici bir bilgisayar tarafından gerçekleştirilmesi, sistemin işleyişine yönelik yapılması gereken bir müdahalenin daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca yine aynı sebepten ötürü, sisteme eklenmesi gereken veya sistemden çıkarılması gereken bileşenlerin entegrasyonu da kolaylaşmaktadır. Örneğin şirkette kahve servisi yapan bir robota ihtiyaç duyulsun ve sisteme bu robotu eklemeye çalışalım. Bu robot simülasyonun koşturulduğu bilgisayara bağlı olup komutları yine bu

bilgisayardan alacağından, kahvenin hazır olduğu bilgisini ölçmek için ekstra efora gerek duymayacaktır. Kahve hazır olduğunda robotun da modellenmiş olduğu bilgisayar, robottan aldığı sensör bilgilerini simüle ederek bu robota yapması gereken komutları iletecektir. Komutların gönderilmeden önce simüle edilmesi ve simülasyon sonuçları başarı gösterirse sistem üzerinde çalıştırılması ile sistemin güvenilirliğini artırır. Daha önemli bir iş çıktığında robotun o anki işi kolayca iptal ettirilerek yeni iş için gerekli komutlar verilebilir. Bu şekilde sisteme olan hâkimiyet artar. Bütün cihazların birbiri ile haberleşmesi yerine, hepsi kendilerinin simüle edildiği ve kendisini daha iyi tanıyan ana bilgisayar ile haberleşir. Bu sayede sistem üzerinde optimizasyonlar daha rahat bir şekilde gerçekleştirilebilir. SFS ile IOT arasındaki temel farklar Tablo 2.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

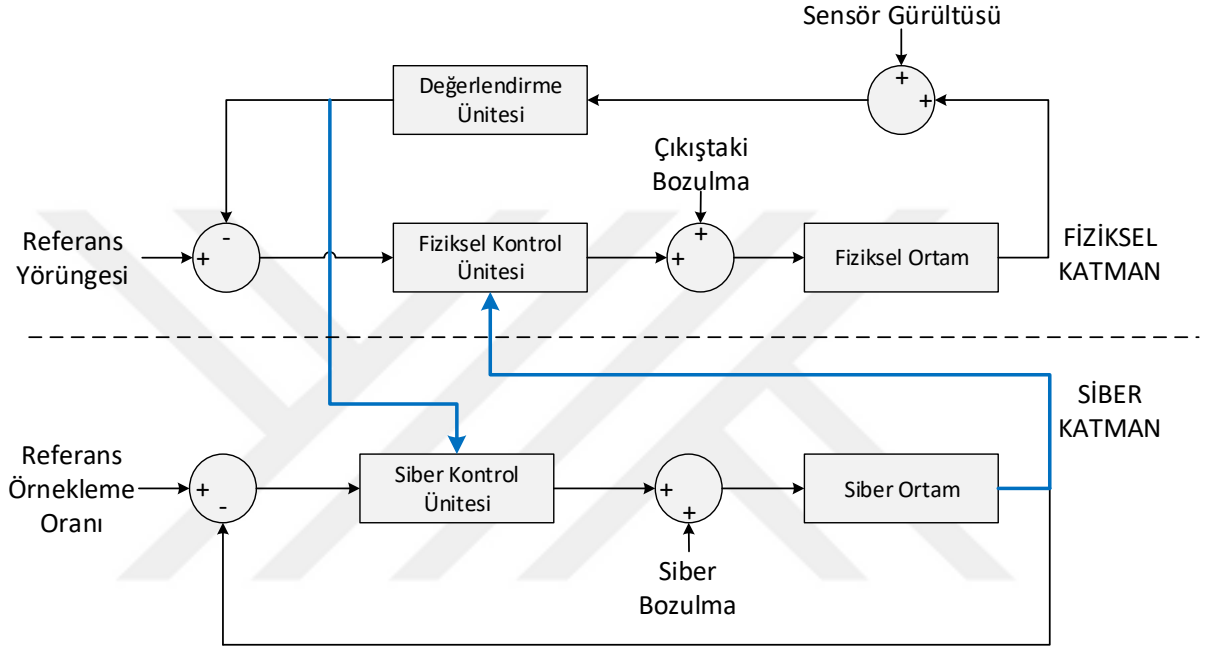
Tablo 2.1. IOT ve SFS’nin karşılaştırılması

	SFS	IOT
Haberleşme	Wi-Fi	Wi-Fi
Kapsam	Yerel	Dünya Çapı
Entegrasyon	Haberleşme + Simülasyon	Haberleşme
Akıllılık derecesi	Akıllı sistem	Akıllı nesneler
Sisteme hakimiyet	Tamamen	Kısmen
Etkileşim türü	İyi bilinen bileşenler arasında kontrollü etkileşim	Bilinmeyen nesneler arasında etkileşim
İletişim Zamanlaması	Zaman hassasiyetli iletişim	Zamanda gecikmeli iletişim
Sistem kontrolü	Statik (değişiklikler kontrollü bir şekilde gerçekleşir)	Dinamik (sürekli değişim içerisinde olur)
Sistem türü	Kapalı sistem (kontrol edilebilir, sistemin davranışı simülasyonlarca tahmin edilebilir)	Açık sistem (kontrol edilmesi ve sistemin davranışının tahmin edilmesi zor)

Tablo 2.1’e baktığımızda SFS ve IOT’un ortak olarak kablosuz teknolojiler kullandığı ve akıllı bileşenler içerdiği gözükmemektedir. Ancak sistemin entegrasyon derecesine baktığımızda SFS’ler ile IOT arasındaki temel farkın simülasyon olduğu söylenebilir. SFS’lerde yer alan simülasyon sayesinde akıllı bileşenler bir sistem olarak nitelendirilebilir ve bileşenlere olan hakimiyet artar. Dolayısıyla sistem üzerinde daha kontrollü etkileşim gerçekleştirilir. Bu sayede sistemin davranışları tahmin edilebilir olur. Ayrıca gerçek ortamdan gelen verilerin simülasyonlara iletim zamanı da önemli olduğundan SFS daha

hassas zamanlamaya ihtiyaç duymaktadır.

SFS'nin akıllı nesnelerden öte bir sistem olduğu görülmektedir. SFS fiziksel ortamın siber ortamdaki modeli aracılığıyla nasıl tepki vermesi gerektiğine karar verir. Yani siber ve fiziksel katmanların etkileşimi SFS'nin başarımı için önemlidir. Siber ve fiziksel alt sistemlerin birbiri ile etkileşimi blok diyagramı halinde Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Siber ve fiziksel katmandaki bileşenlerin birbiri ile etkileşimi [40].

2.1. Siber Katman

SFS'de ağırlıklı olarak yazılımsal kısımların bulunduğu katman siber katmandır. Fiziksel katmanda yer alan sensör gibi fiziksel bileşenlerden gelen veriler bu katmana iletilir. Tam teşekküllü bir SFS'de bulunan fiziksel bileşenlerin davranışlarının modellendiği siber katmanda gelen veriler analiz edilerek kontrol ünitesi için uygun çıkışlar hesaplanır. Kontrol ünitesinin ürettiği çıkışa göre sistem simüle edilir ve sonucunda hata yoksa bu çıkış değerleri fiziksel katmanlardaki asıl bileşenlere iletilir. Yani sistemi kontrol eden asıl algoritmalar siber katmanda çalışırlar. Bu sayede sistemin kontrol mekanizması üzerinde gerçekleştirilecek bir güncelleme, siber katmandaki yazılımların güncellenmesi ile mümkün olmaktadır. Bir SFS'nin başarımı büyük ölçüde fiziksel ortamın bu katmanda ne derece gerçekçi modellendiğine ve bu katmanda kullanılan algoritmaların yeterliliğine bağlıdır.

Siber katman kontrol işlemlerini gerçekleştiren katman olmasının yanında, gözlem ve durum izlemenin gerçekleştiği veya gerçekleşmesi için uygun zeminin hazırlandığı katman olarak bilinir. Siber katman, fiziksel katmandan gelen verileri işleyerek kullanıcıya anlamlı bilgi sunabilir veya bu katmana eklenen servis yazılımları aracılığıyla diğer uygulamalara veri sağlayabilir [40]. Bu katman bazı uygulamalarda analiz ve servis katmanı olarak iki alt katman altında ele alınmaktadır [6].

Bulanık mantık, genetik algoritmalar gibi gelişmiş algoritmalar bu katmanda tahmin veya analiz amaçlı kullanılabilir [41]. Ayrıca istemci-sunucu arasında hızlı ve kolay haberleşme sağlayan REST mimarisi de siber katmanda sıklıkla kullanılan teknolojilerden biridir [42]. Bu katman genellikle uygulama ve platform katmanı olarak bilinmekte olup, içerdiği genel bileşenler algoritmik ve yazılımsal temellere dayanmaktadır. Siber katmanda uygulandıkları alana bağlı olarak akıllı ulaşım sistemleri, akıllı devlet, akıllı gözlemlene sistemleri, dijital sağlık, dijital yerleşim yönetimi gibi uygulamalar bulunabilir. Ayrıca bu katmanlar yazılım geliştiricileri için bilgi veya servis sağlayıcı olarak kullanılabilir. Bu sayede üçüncü parti uygulamaların geliştirilebilmesi için zemin hazırlarlar [6].

2.2. Fiziksel Katman

Fiziksel katman sensör ve aktüatör gibi çevre ile etkileşim halinde olan bileşenlerin bulunduğu katmandır. Ortamdaki verilerin toplanması bu katmanda yer alan sensörler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Siber katmanda işlenen veriler komutlara dönüştürülerek bu katmandaki aktüatörlere iletilir. Nasıl davranması gerektiği bilgisini alan aktüatörler bu komutları işleyerek hareketlerini gerçekleştirirler. Detektörler, kızılötesi algılayıcılar, antenler, kameralar ve akıllı telefonlar bilgi toplamak için sıklıkla kullanılan sensörler arasında yer almaktadır [6]. Fiziksel katmanda sıklıkla kullanılan sensör ve aktüatör çeşitleri Şekil 2.3'te verilmiştir.

Klasik gömülü sistemlerde fiziksel bileşenleri kontrol eden işlemciler yine aynı bileşen üzerinde yer almaktayken, SFS'de fiziksel bileşenler uzaktaki bilgisayar tarafından kontrol edilir. Fiziksel katman, girişlerden kaynaklanan belirsizliklerin meydana geldiği yerdir.



Şekil 2.3. Fiziksel ortamdan bilgi toplanmasında kullanılan donanımlar [6].

2.3. İletişim Katmanı

Siber ve fiziksel katman arasında köprü vazifesi gören iletişim katmanı, katmanlar arası haberleşmeyi sağlarken daha çok kablosuz ağ teknolojilerinden yararlanmaktadır. Bu katman edinilen verilere erişerek onların güvenli bir şekilde iletilmesinden sorumludur. Genel tabiri ile bu katman ağ teknolojileri içerdiğinden dolayı, ağlar üzerinde yapılan herhangi bir çalışma bu katman üzerinde uygulanarak SFS'nin performans ve güvenliğini artırmaya yönelik katkılarda bulunulabilir. SFS'nin doğru ve tutarlı bir şekilde çalışması katmanlar arasındaki iletişimin gerçek zamanlı olarak gerçekleşmesine ve iletilen verilerin en doğru şekilde yerine ulaşmasına bağlıdır. Bu sebepten SFS'nin güvenliğine yönelik tehdit oluşturan paket değiştirme veya yavaşlatma gibi ağ saldırıları güvenilir bir SFS kurulması için ele alınması gereken bir konudur. Genellikle kapalı sistem ve ekstra güvenlik önlemleri ile çalışan SFS'ler için genellikle bu tarz saldırılar etkili olmamaktadır. Ancak tam güvenilir bir sistem oluşturmak için iletişim katmanının düzgün bir şekilde yapılandırılması oldukça önemlidir.

Her ne kadar daha çok protokoller ve yerine getirmiş olduğu işlevler ile bilinse de iletişim katmanında kullanılan donanımlar da bu katmanın bir parçasıdır. Ağ uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve aynı zamanda SFS'nin iletişim katmanında başvurulabilecek bileşenler Şekil 2.4 ile verilmiştir.



Şekil 2.4. İletişim katmanı bileşenleri [6].

2.4. Siber Fiziksel Sistemlerde Belirsizlikler ve Güvenlik

SFS'nin güvenliği genel olarak; ağ güvenliği, aygıt güvenliği ve bilgi güvenliğini kapsamaktadır. SFS'deki birçok uygulama özel bilginin izinsiz olarak yetkisiz kişilerce kullanılmasını istemez. Bu tarz ağ saldırıları fiziksel katmanda olduğu gibi siber katmanda da gerçekleşebilirler. Üstelik saldırganlar siber katmandaki cihazların davranışlarını değiştirmeye çalışabilirler. Güç tüketimi, zamanlama gibi özellikleri kullanarak sistemin sınırlarını ele geçirebilir ve sisteme müdahale ederek doğru çalışmasına engel olabilirler. Yazılımsal olarak kablosuz sensör ağları alanında çeşitli veri güvenliği çözümleri tartışılmıştır [43].

Donanım seviyesinde aygıtlar kalıcı hafızasında yer alan tekil bilgiler sayesinde tanınabilirler. Salırganlar cihaz üzerinde kayıtlı olan bu bilgileri okuyabilirler. Bu bilgileri ele geçiren bir saldırgan, kendisini bu cihaz gibi göstererek sisteme yönelik saldırılar gerçekleştirebilir. Donanım seviyesinde bu problemi çözmek için çalışmaların birinde, bir cihaza verilen ve klonlanması mümkün olmayan değişkenlerden yararlanarak parmak izi üretimi gerçekleştirilmiştir [44]. Saldırıları önlemek adına gerçekleştirilen bu çalışmaların yanında olası donanım saldırılarının etkisini en aza indirmeye yönelik çalışmalar da yapılmaktadır [18]. SFS güvenliği alanında yapılan bir diğer çalışmada ise SFS'yi tehdit eden unsurlar incelenerek bunların sistematik olarak sınıflandırılması amaçlanmıştır [45].

Bilgiye olan güvenin tam olmaması olarak tanımlanan belirsizlik ise bir sistemin ne kadar iyi kurgulandığından bağımsız olarak meydana gelebilecek, deterministik olarak modellenmesi mümkün olmayan tehdit unsurudur. Bir başka deyişle belirsizlik, deterministik olan ideal bilgiden sapma olarak tanımlanabilir. SFS çok katmanlı bir mimariye sahip olduğundan dolayı belirsizlikler sistemin girişlerinde, parametrelerde, modelin yapısında veya modelin davranışında olmak üzere farklı katmanlarda meydana gelebilmektedir. Meydana geldikleri yere göre belirsizlikler Tablo 2.2'de olduğu gibi incelenebilirler.

Tablo 2.2. Meydana geldikleri yere göre belirsizlikler [46].

Meydana geldiği yer	Örnek
Giriş belirsizlikleri	Belirsiz başlangıç veya giriş değerleri
Parametre belirsizlikleri	Tölerans veya bileşenlerin eskimesi
Modelleme belirsizlikleri	Modellemenin tam olarak yapılamaması

Belirsizlikleri ele alan çalışmada belirsizlikler devamlı/ayrık ve deterministik olmayan/olasılıksal olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır [46]. Bu modellere göre belirsizliklerin sınıflandırılması ve bunlara ait örnekler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Modelleme yaklaşımlarına göre belirsizlikler [46].

Modelleme yaklaşımı	Örnek
Devamlı ve deterministik olmayan	Tölerans, aşınmalar, yaşlanmalar
Devamlı ve olasılıksal	Beyaz, renkli gürültü
Ayrık ve deterministik olmayan	Olası hatalar
Ayrık ve olasılıksal	Nadir hatalar

Son olarak belirsizlikler zamanla değişen ve sabit olmak üzere değerlendirilmiştir. Sürekli sabit olup, zamanla değişmeyen bilinmeyenler statik belirsizlikler olarak nitelendirilirken; dinamik belirsizliklerin değeri her defasında farklı olmaktadır. Yapılarına göre belirsizlikler Tablo 2.4'te verilmiştir. Bu bağlamda dinamik bir belirsizlik, statik belirsizliklerin kümesi olarak tanımlanabilmektedir.

Tablo 2.4. Yapılarına göre belirsizlikler [46].

Yapı	Örnek
Statik	İşlem varyasyonları, yaşlanma
Dinamik	Gürültü, nicel hatalar, nadir hatalar

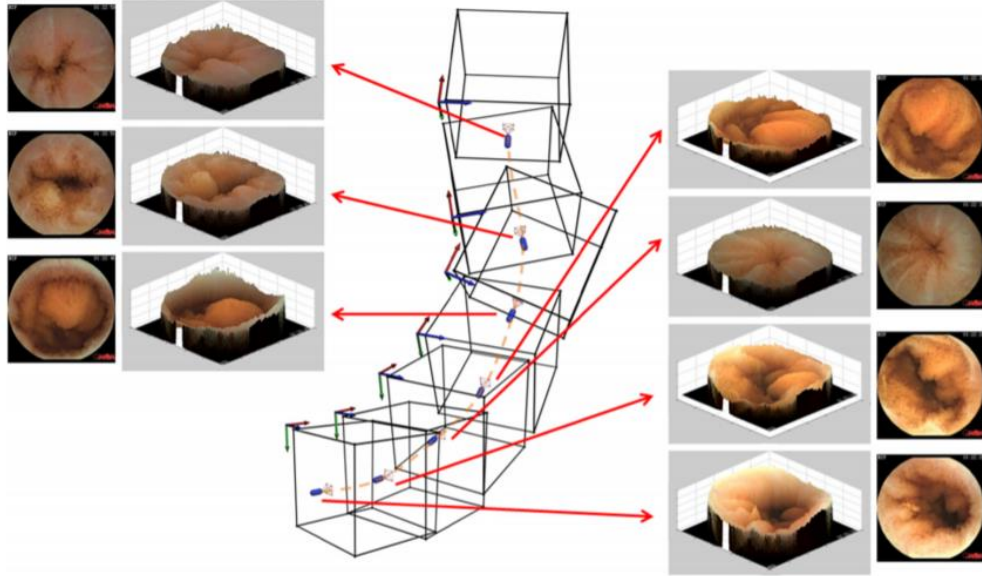
Bir sistemin başarısızlığı yetersiz doğrulama, hatalı modelleme veya yerine getirilmeyen gereksinimlere bağlanabilir. Bu amaçla sistemin test edilmesi için, sistemin işleyişinin analizi olan doğrulama, sistemin doğru işlendiğinin analizi olan onaylama ve sistemin soyut halini oluşturan modelleme gibi çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Monte Carlo analizi sistemin doğrulanması için kullanılan metotlardan biridir [46].

SFS nispeten yeni ve gelişmekte olan bir kavram olduğundan dolayı, doğruluğu ve güvenilirliğine yönelik çalışmalar da gelişmektedir. Ancak temel olarak bir sistemin güvenilirliği ve doğru çalışması sistemde meydana gelen aşınmalar, bileşenlerin yaşlanması, bileşenler veya iletişimde meydana gelen hatalar, tahmin edilemeyen ve beklenmeyen senaryoların vuku bulması gibi durumlar ile doğrudan alakalıdır.

2.5. Siber Fiziksel Sistem Uygulamaları

Esneklik, güvenilirlik, ölçeklendirilebilirlik açısından avantaj sağlayan SFS'lerin medikal uygulamalardan şehircilik uygulamalarına birçok alanda kullanımları mevcuttur. Medikal alandaki kullanımları sağlık bilgi sistemi ağı, evde bakım uygulamaları, ameliyathaneler gibi genellikle bilgisayarlar tarafından gerçek zamanlı gerçekleştirilen ve güvenlik ihtiyacı yüksek olan uygulamaları kapsamaktadır [47].

Medikal alanda yapılan çalışmalardan biri video kapsül endoskop aracılığıyla alınan görüntülerin dışardaki bir bilgisayara gönderilerek burada 3 boyutlu haritasının çıkartılması ve analiz edilmesi uygulamasıdır [28]. Bu çalışma hap görünümlü kablosuz bir mini kameranın hastaya yutturularak kameradan gelen görüntülerin dışardaki bilgisayarlara gönderilmesine dayanmaktadır. Görüntülerin gönderildiği bilgisayar, 2 boyutlu anlık görüntüleri geliştirilen algorithmadan geçirerek 3 boyutlu görüntü elde etmektedir. Çalışmayı özetleyen görsel Şekil 2.5'te verilmiştir.

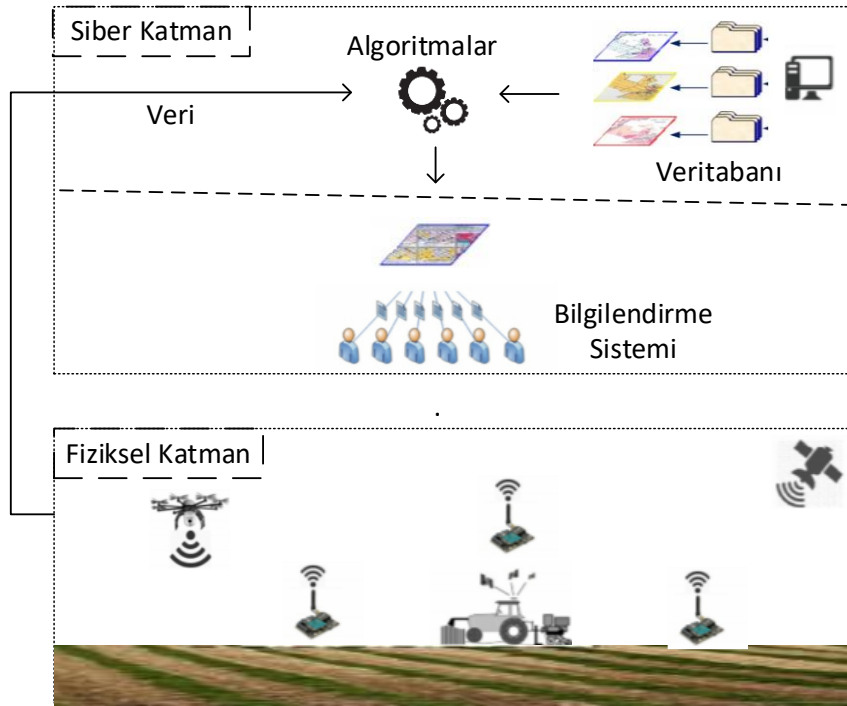


Şekil 2.5. İnce bağırsağın 3 boyutlu görüntülenmesi için SFS tabanlı yöntem [28].

Bu çalışma hem siber fiziksel yöntem içermesi hem de görüntü mozaikleme içermesinden dolayı yapmış olduğumuz çalışma ile benzetilmektedir. Uygulamayı üç katmanlı olarak ele aldığımızda fiziksel katmanında ilk olarak 2000 yılında Given Imaging firması tarafından geliştirilen video kapsül endoskop bulunmaktadır [48]. Bu kapsüller sayesinde günümüzde 4 tane farklı kameradan saniyede 2 ile 38 arasında görüntü karesi elde

edilebilmektedir. Video kapsülü üzerindeki Wi-Fi adaptörü ve kapsülün hızını belirlemek için kullanılan sensörler yardımı ile, kapsülden edinilen görüntü ve hız gibi bilgiler dışarda bulunan bir bilgisayara iletilmektedir. Genel olarak fiziksel ve iletişim katmanı bu şekilde çalışan sistemin siber katmanında görüntülerin alınma zamanları ve kapsül hızı bilgileri kullanılarak görüntülerin alındığı konumlar tahmin edilmektedir. Bu tahmin sonucu gerekli algoritmalar uygulanarak ince bağırsağın 3 boyutlu mozaik görüntüsü elde edilmiştir.

SFS mimarisini kullanan bir diğer çalışma ise patates tarlalarının görüntülenmesi ve elde edilen bilgiler doğrultusunda analizler yapılmasını içermektedir. Bu çalışmada Şekil 2.6'da da görüleceği üzere fiziksel ortam olarak patates tarlaları tercih edilmiştir. Tarladan bilgi toplanmasını sağlayan çeşitli sensörler, iş makinaları, GPS ve kamera bulunduran drone sistemin fiziksel katmanındaki bileşenleri oluşturmaktadır. Bu donanımlar aracılığıyla edinilen veriler iletişim katmanı yardımı ile uzaktaki siber ortama iletilmektedir. İletilen veriler bu katmanda anlamlı bilgilere dönüştürülür. Bu bilgiler ışığında önceden kaydedilmiş bilgileri de kullanarak fiziksel ortamdaki veriler analiz edilir. Analiz edilen veriler risk faktörleri doğrultusunda değerlendirilerek karar mekanizması çalıştırılır. Bu çalışmanın sonunda verilen karar destek sistemi ile tecrübesiz çiftçilerin zararları önlenmiş olunur [6].



Şekil 2.6. Patates haşatının SFS tabanlı mimaride izlenmesi [6].

2.6. Bölüm Değerlendirmesi

Temel olarak siber ve fiziksel katmandan oluşan SFS'ler bu iki katman arasındaki haberleşmeyi iletişim teknolojileri sayesinde gerçekleştirmektedir. Sistemin çalışması temel olarak fiziksel katmandan toplanan verilerin siber katmana iletilerek burada işlenmesine dayanmaktadır. Kullanılan SFS bir kontrol uygulamasını kapsıyor ise siber katmandaki bu veriler işlenerek uygun davranışlar oluşturulur ve siber katmanda yer alan fiziksel ortamın simülasyonlarınca test edilir. Simülasyonlarda başarı gösteren davranışın fiziksel ortamda da uygulanması için iletişim katmanını devreye girer. İletişim katmanını bu komutları fiziksel ortama iletir ve bu şekilde sistemin çalışması sağlanır. Ancak SFS'ler kontrol uygulamaları dışında da kullanılabilirler. Bu durumda fiziksel katmandan gelen veriler siber katmanda işlenir ve burada anlamlı bilgilere dönüştürülür. Dönüşümü sağlanan bu bilgiler depolanıp, önceden kaydedilen bilgiler doğrultusunda veya farklı algoritmalar aracılığıyla analiz edilirler. Sonuçta siber ortamda, fiziksel ortamdan gelen bilgiler izlenebilir ve hatta karar destek uygulamaları ile kullanıcıya tavsiyeler verilebilir.

SFS ölçeklenebilirlik, güvenilirlik ve bütünleşebilirlik açısından diğer sistemlere göre avantajlar sağladığından, özellikle büyük çaplı ve kritik uygulamalarda tercih edilmektedir. Sahip olduğu çok katmanlı yapı belirsizliklerin de birden fazla boyutta karşımıza çıkmasına yol açarken, kullanıldıkları sistemlerin kritikliği ve büyüklüğü göz önüne alındığında bu belirsizliklerin ele alınması son derece önem arz etmektedir.

Gerçek zamanlı sistemlerin davranışlarının bilgisayar ortamında simülasyonlar aracılığıyla kontrol edilmesini ve fiziksel ortamdaki verilerin analizinin uzaktaki yüksek işlemci gücüne sahip bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesini sağlayan SFS hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Bu bölümde SFS kapsamının daha iyi anlaşılması adına literatürde yer alan örnek SFS uygulamalarına da yer verilmiştir.

3. DURGUN OLMAYAN BULANIK MANTIK SİSTEMLER

İnsanın karar verme mekanizmasını taklit eden bulanık mantık 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmış ve bu tarihten sonra birçok akademik çalışmada kullanılmıştır [49-51]. Günümüzde kullanılan teknolojilerde de bulanık mantık örneklerine rastlamak mümkündür. Örneğin Matsushita firması tarafından üretilen çamaşır makinesi kumaşın cinsi, çamaşırın kirliliği ve çamaşırların ağırlığı gibi parametreleri göz önünde bulundurarak, uygun programın belirlenmesinde bulanık mantık kullanır [52]. Fujitsu firması tarafından geliştirilen klimalar ise, ortam koşullarını göz önüne alan bulanık mantık tabanlı bir yöntem ile odanın istenilen sıcaklıkta kalması için en uygun şekilde kendini yapılandırır [53]. Problemleri bulanık mantık ile modellemek çoğu zaman daha avantajlı olduğundan bu tarz örnekleri çoğaltmamız mümkündür. Fakat klasik bulanık mantığın da yetersiz olduğu yerler bulunmaktadır. Örneğin gürültüden kaynaklı giriş değerlerindeki sapmalar veya sistemdeki belirsizlikler, klasik bulanık mantık ile modellenen sistemin hatalı sonuçlar üretmesine sebep olacaktır. Bu etmenlerin sonuç üzerindeki olumsuz etkisini indirmek için tip-2 bulanık mantık ortaya çıkmıştır [54]. Ancak tip-2 bulanık mantık ağır hesaplamalar gerektirdiğinden pratikte uygulaması pek yaygınlaşmamıştır. Bunun üzerine tip-2 bulanık kümeleri, tip-1 bulanık kümeler ile modellemeye çalışan durağan olmayan bulanık mantık önerilmiştir [55].

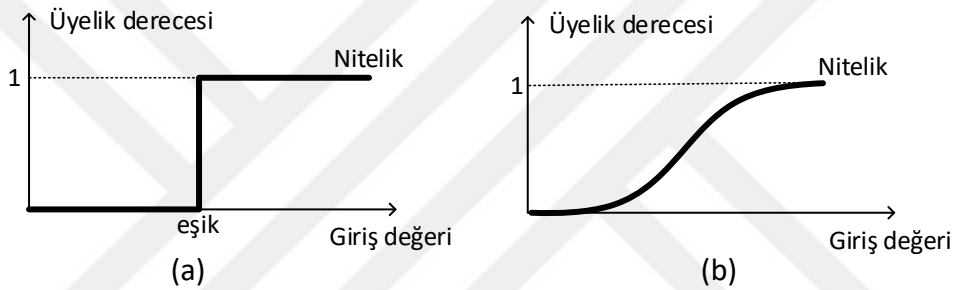
Yapılan tez çalışmasında görüntü mozaikleme için geliştirdiğimiz yöntem durağan olmayan bulanık mantıktan yararlanmaktadır. Bu bölümde durağan olmayan bulanık mantığın çıkış noktasını oluşturan tip-1 ve tip-2 bulanık mantığa değinilmiş ve durağan olmayan bulanık mantık açıklanmıştır.

3.1. Tip-1 Bulanık Mantık Sistemler

İnsanın karar verme mekanizmasını taklit eden bulanık mantıkta önce, sayısal giriş verilerinin uzman kişilerce belirlenen üyelik fonksiyonlarına göre belirli nitel değerlere olan aitlikleri tespit edilir. Bir başka deyişle sayısal giriş değerleri bulanıklaştırma ismi verilen işleme tabii tutularak, dilsel karşılıkları ve aitlik dereceleri belirlenir. Örneğin bardaktaki su

seviyesi verilen üyelik fonksiyonlarına göre boş, az dolu, yarı dolu, çok dolu, tam dolu gibi dilsel değişkenler ile ifade edilebilir.

Üyelik fonksiyonları kesin ve net olarak bilinen bir değerin niteliğine karar vermede kullanılan fonksiyonlardır [56]. Bu fonksiyonlar sayesinde sayısal değerin hangi oranda hangi kümeye ait olduğu tespit edilerek, klasik kümeleme işleminin dezavantajları önlenmiş olunur. Şekil 3.1’de görüleceği üzere klasik küme mantığına göre eşik değer etrafındaki çok küçük bir değişiklik üyelik derecesinin 0 veya 1 olmasını belirlerken; bulanık küme mantığına göre çıkıştaki değişim, girişteki girişin değişiminin oranına bağlı gerçekleşeceğinden bu dezavantaj ortadan kaldırılmış olunur.

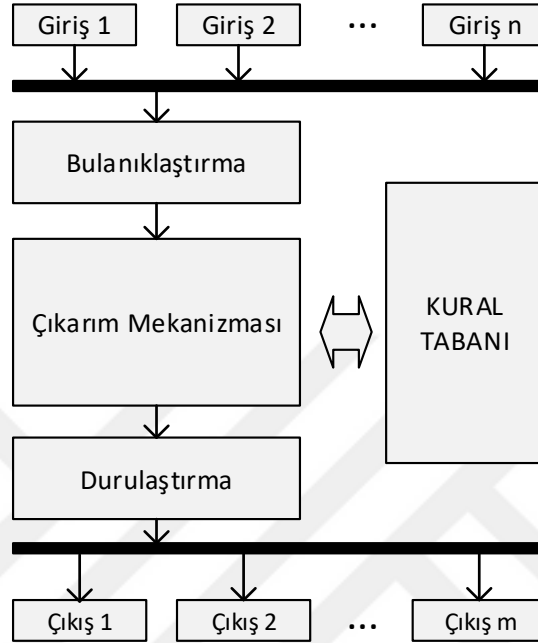


Şekil 3.1. Örnek üyelik fonksiyonları. (a) Klasik küme için üyelik fonksiyonu, (b) Bulanık küme için üyelik fonksiyonu [57].

Klasik ikili mantığın keskin geçişlerinin sebep olduğu dezavantajları ortadan kaldıran bulanık mantık, getirdiği avantajlar nedeniyle problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Ancak üyelik fonksiyonlarının ve kural tablosunun uzmanlar tarafından belirlenmesi gerekliliği bu yöntemin en büyük dezavantajıdır ki bazen bunların belirlenmesi uzun süre gerektiren deneme yanılmalar ile mümkün olmaktadır [58]. Yine de bulanık mantık matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayan veya matematiksel olarak modellenmesi zor olan problemler için pratik bir çözüm sunmaktadır.

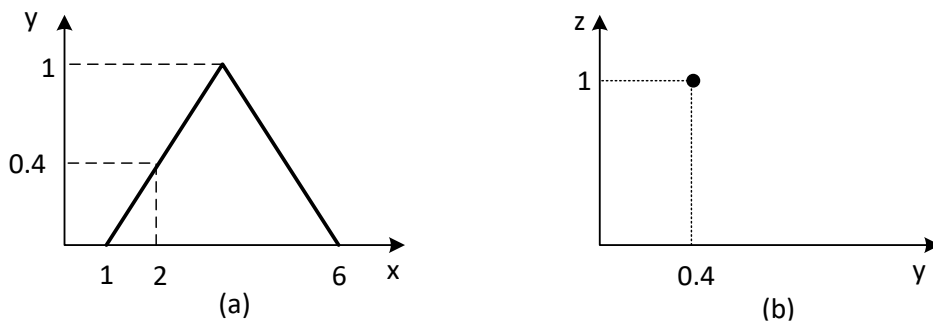
Klasik bir bulanık mantık probleminin çözümü temel olarak Şekil 3.2 ile verildiği üzere bulanıklaştırma, çıkarım mekanizması ve durulaştırma adımlarından oluşur. Bulanıklaştırma işlemi, belirlenen üyelik fonksiyonları yardımıyla giriş değerlerini etiketlendirir. Bu işlem sonucunda 80 km hızla giden bir araç üyelik fonksiyonuna bağlı olarak 0.4 oranda orta hızlı ve 0.6 oranında hızlı olarak etiketlendirilebilir. Ardından yine uzmanlarca belirlenen eğer-ise formatındaki kural tablosu yardımı ile sonuç çıkarımı uygulanır. Bu işlemle araç hızlı ve hava yağmurlu ise durmak için frene çok şiddetli basılması gerekir tarzı çıkarımlarda

bulunulur. Son olarak çıkış üyelik fonksiyonu, bir önceki aşamada elde edilen sonuçlar ve bunlara ait üyeliklere göre sınırlandırılarak durulaştırma işlemi uygulanır. Durulaştırma sonucu elde edilen değerler, problemin çözümü olarak kabul edilir.



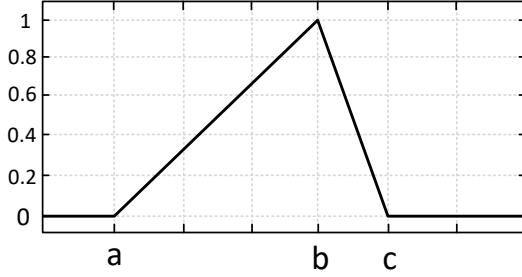
Şekil 3.2. Tip-1 bulanık mantık sistem yapısı [59].

Bulanık mantığın ilk aşaması bulanıklaştırma aşamasıdır. Bu aşamada kullanılan üyelik fonksiyonları probleme göre uzmanlar tarafından belirlenmelidir. Uzmanlar tarafından seçilen ve aralıkları belirlenen üyelik fonksiyonları ile bir değer hangi ölçüde hangi dilsel ifadeye ait olduğu tespit edilir. Örneğin Şekil 3.3.a'daki üyelik fonksiyonuna sahip bir küme için, 2 değerinin bu kümeye aitliği 0.4 olarak bulunur. Literatürde sık kullanılan üyelik fonksiyonları ve grafikleri tablo 3.1 ile verilmiştir.

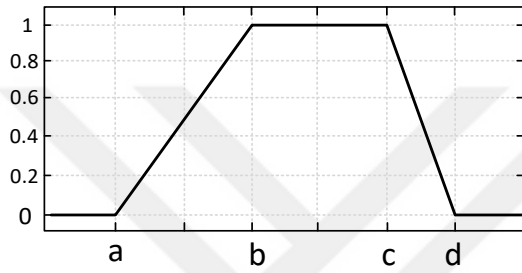


Şekil 3.3. (a) Tip-1 bulanık giriş fonksiyonu, (b) Girişin 2 olduğu değer için üyelik değeri

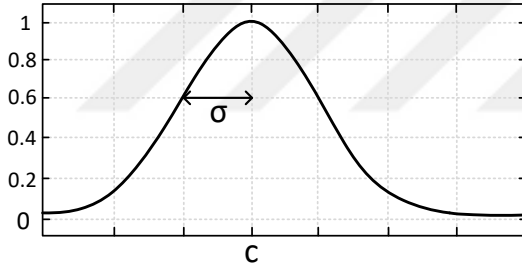
Tablo 3.1. Literatürde kullanılan üçgen, yamuk, gauss ve sigmoid üyelik fonksiyonlarına ait grafik ve formüller [60].



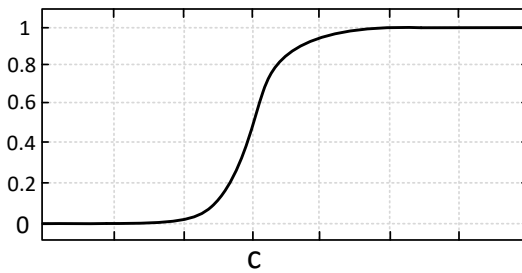
$$\max(\min(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}), 0)$$



$$\max(\min(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}), 0)$$



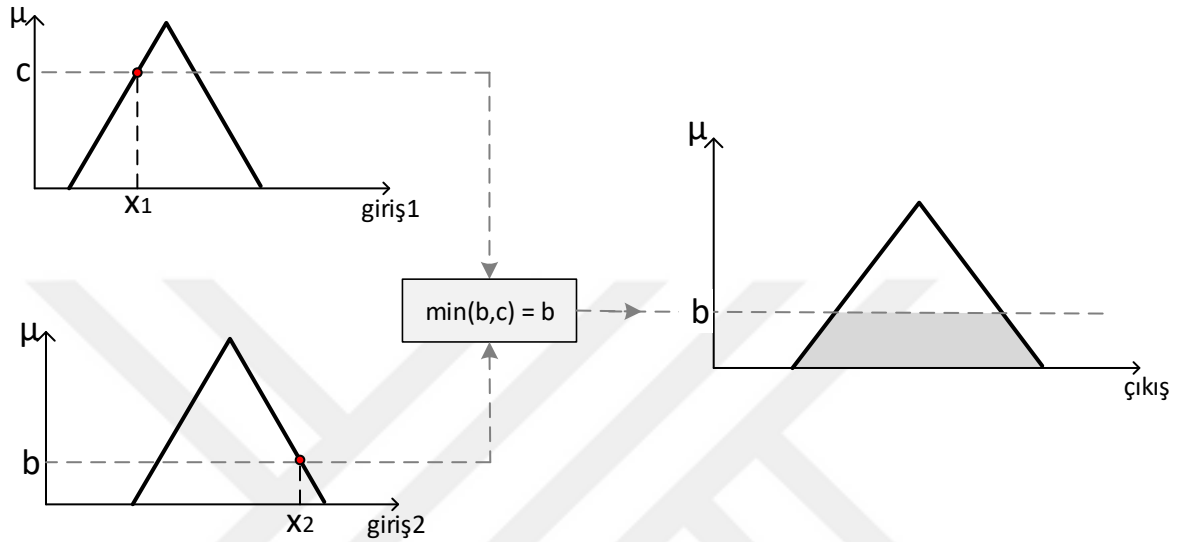
$$e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2}$$



$$\frac{1}{1 + e^{-\sigma(x-c)}}$$

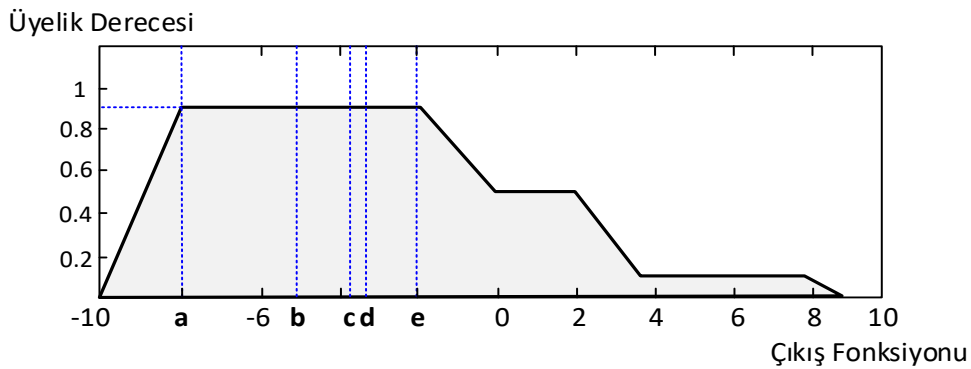
Girişlere ait üyelik derecelerinin hesaplanması ile bulanıklaştırma işlemi biterek çıkarım mekanizması devreye girer. Çıkarım mekanizması kural tabanı yardımı ile girişlere ait dilsel ifadelerin kombinasyonlarının çıkış üyelik fonksiyonunda hangi dilsel ifadeye karşılık geleceğine belirleyen adımdır. Kural tabanı nitel etiketleri içeren ve uzmanlar tarafından belirlenen eğer-ise ifadelerinden oluşmaktadır. Çıkış fonksiyonları, kural tabanı kullanılarak

elde edilen çıkış üyelik değerlerinin yardımı ile kırpılarak durulaştırılma aşamasına gönderilir. Min-max çıkarım yöntemine göre kırpm işlemi örneği Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu yöntemle göre, bir dilsel ifadeye karşılık birden fazla üyelik derecesi elde ediliyorsa bunlardan en büyüğü seçilmesi gerekir.



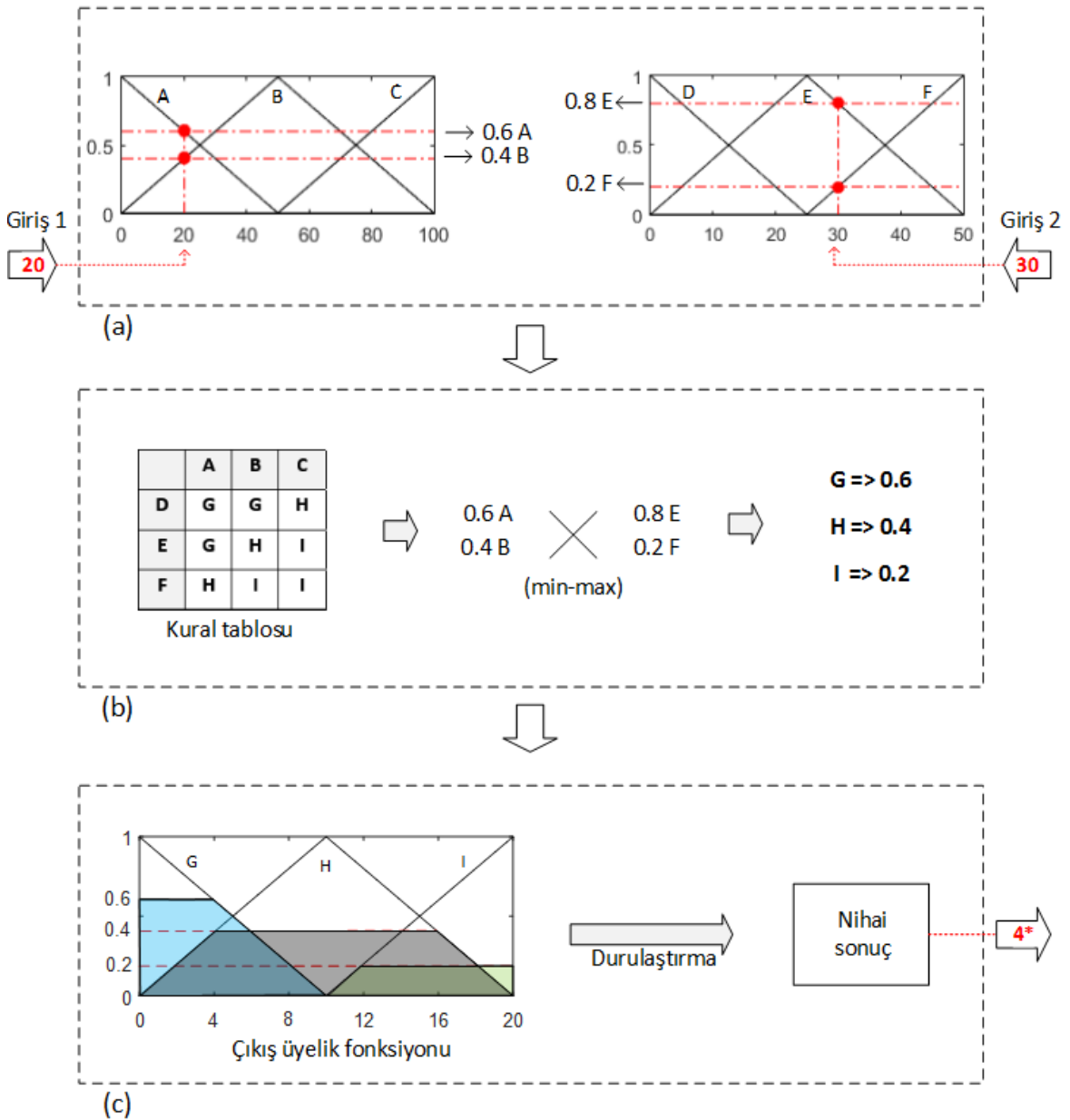
Şekil 3.4. Tip-1 min-max çıkarım mekanizması ile 2 giriş 1 çıkışlı sistemde kuralların kırpılması [61].

Durulaştırma işlemi, sınırlandırılmış çıkış üyelik fonksiyonlarından yararlanarak nihai çıkışı üreten adımdır. Durulaştırma işlemi için ise çeşitli yöntemler mevcuttur. Literatürde sıkça başvurulan yöntemlerden bazıları ağırlık merkezi yöntemi, alan açığortayı yöntemi, en büyükler yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi ve en büyük üyelik derecesi yöntemidir. Bu yöntemler sonucu elde edilen değerler Şekil 3.5'te kıyaslanmıştır.



Şekil 3.5. Sık kullanılan durulaştırma yöntemlerinin görselleştirilmesi. (a) en büyük sol kenar, (b) en büyük kenarların ortası, (c) alan açığortayı, (d) ağırlık merkezi, (e) en büyük sağ kenar

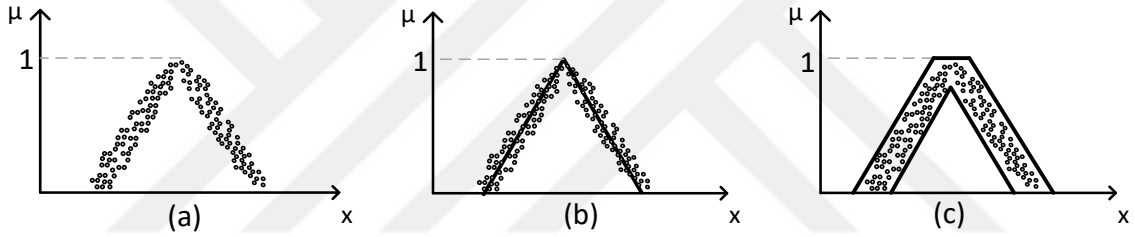
Yukarda adım adım açıklanan tip-1 bulanık sistem Şekil 3.6’da özetlenmeye çalışılmıştır. Şekilde A,B,C dilsel ifadelerine ve D,E,F dilsel ifadelerine sahip olmak üzere toplam iki giriş, bir çıkış içeren sistem örneği verilmiştir. Girilen değerler bulanıklaştırma aşamasında dilsel ifadelere dönüştürülmüş ve çıkarım mekanizması devreye girmiştir. Çıkarım mekanizması sonucu elde edilen sınırlandırılmış çıktılar durulaştırılma adımına gönderilmiş; durulaştırma adımı sonucunda ise nihai çıkış elde edilmiştir. Şekil 3.6’da durulaştırma sonucu elde edilen sonuç en büyük sağ kenar yöntemine göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. İki giriş bir çıkışlı tip-1 bulanık sistem çalışmasının özeti. (a) Bulanıklaştırma aşaması, (b) Çıkarım mekanizması, (c) Durulaştırma aşaması

3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Bulanık mantık temel olarak uzmanlarca belirlenen kurallara dayanmaktadır. Ancak uzman görüşlerindeki farklılıklar, ifadelerin göreceliliği gibi faktörler göz önüne alındığında tip-1 bulanık sistemler ile bunların üstesinden gelmek oldukça zor hale gelmektedir. Bir başka deyişle koşullar çok bulanıksa, yani bir giriş değerinin bir kümeye aitlik durumu 0 ile 1 arasında kesin bir sayı olarak belirlenemiyorsa tip-1 bulanık mantığın uygulanması zorlaşır. Bu durumda tip-2 bulanık sistemler devreye girer. Tip-2 bulanık sistemler farklı görüşleri ve ölçüm hataları gibi belirsiz durumları ele almada tip-1'e göre daha başarılıdır. Bir ölçüm etrafında meydana gelebilecek belirsizliklerin haritası belirsizliğin ayak izi (FOU) olarak adlandırılır. Tip-1 ve tip-2 kümelerin FOU bölgesini temsil edebilme yetenekleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

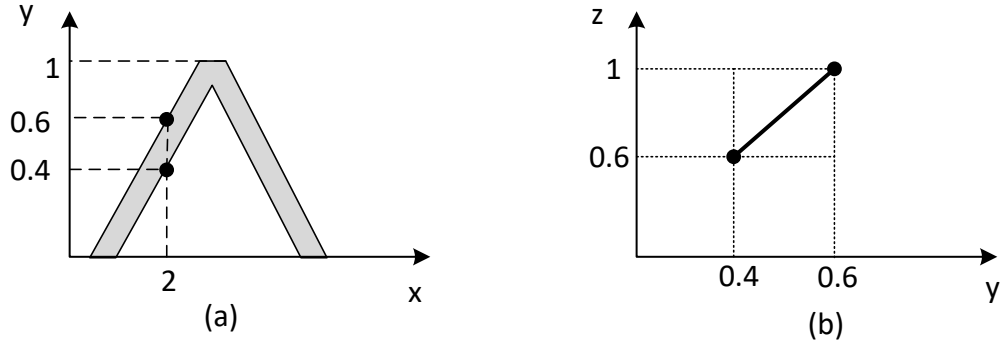


Şekil 3.7. Belirsizlik ve bulanık sistemin belirsizliği ele alma yeteneği. (a) Belirsizliğin ayak izi (FOU), (b) Tip-1 küme ve belirsizlikler, (c) Tip-2 küme ve belirsizlikler

Klasik tip-1 bulanık sistemlerde girişler tek bir fonksiyon ile ifade edilir ve her giriş değeri için üyelik fonksiyonu eğrisi üzerinde tek bir nokta karşılık gelir. Tip-2 bulanık sistemlerde girişler alt ve üst olmak üzere olmak üzere iki fonksiyon ile ifade edilmektedir. Bir giriş değeri için tek bir değer yerine aralık elde edilir ve istenen değere karşılık gelen aralığın etki oranları (ağırlıkları) ikincil üyelik fonksiyonunu verir. İkincil üyelik fonksiyonu sabit olan sistemler aralıklı tip 2 küme (IT2) olarak adlandırılır ve hesapsal karmaşıklığı genel tip 2 (GT2) kümelere göre daha basit olduğundan, daha çok tercih edilir [61].

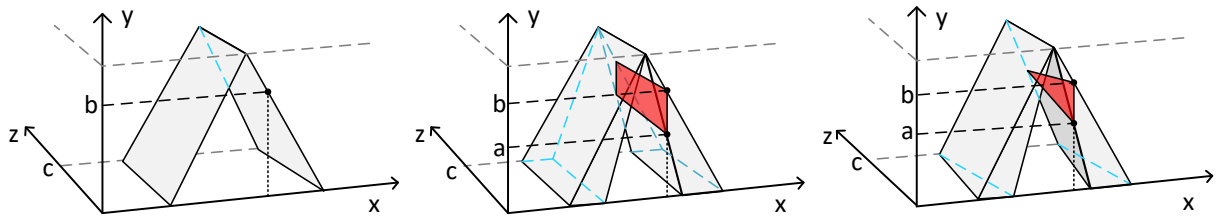
Tip-2 bulanık kümeler farklı uzman görüşlerini güven katsayısı ile hesaba katmaya olanak sağlar. Örneğin Şekil 3.8.a'daki farklı görüşleri de kapsayan bir üyelik fonksiyonu verilirken, Şekil 3.8.b'de verilen ikincil üyelik fonksiyonu bu görüşlere olan güveni ifade eder. Verilen örnekte 0.6'nın daha kabul gören bir görüş olduğu anlaşılmaktadır. Bütün

görüşlere aynı derecede güven duyuluyor ise ikincil üyelik fonksiyonu sabit fonksiyon haline dönüşür ve bu sistem aralıklı tip-2 sistem olarak adlandırılır.

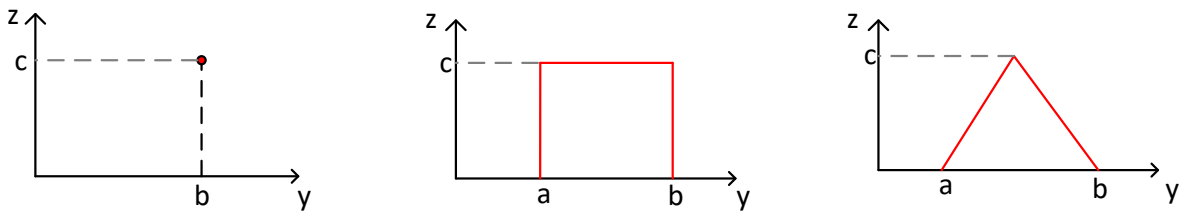


Şekil 3.8. Tip-2 bulanık üyelik ve ikincil üyelik fonksiyonu. (a) Tip-2 bulanık giriş fonksiyonu, (b) Girişin 2 olduğu değer için ikincil üyelik fonksiyonu

Tip-1 üyeliklerinde ikincil üyelik fonksiyonu söz konusu olmadığından dolayı iki boyutlu ortamda kolaylıkla ifade edilebilmektedir. Aralıklı tip-2 üyelikleri de tip-1 ile aynı sebepten dolayı iki boyutlu olarak ifade edilebilirken, bunların ifadesi için alt ve üst olmak üzere iki farklı fonksiyonuna ihtiyaç duyulur. Genel tip-2 üyelik fonksiyonları ise ikincil üyelikleri de ifade edebilmek için ancak üç boyutlu ortamda gösterilebilirler. Karşılaştırma yapabilmek adına tip-1, tip-2 ve aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonlarının üç boyutlu ortamda gösterimi ve bunlara ait ikincil üyelik fonksiyonları Şekil 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.

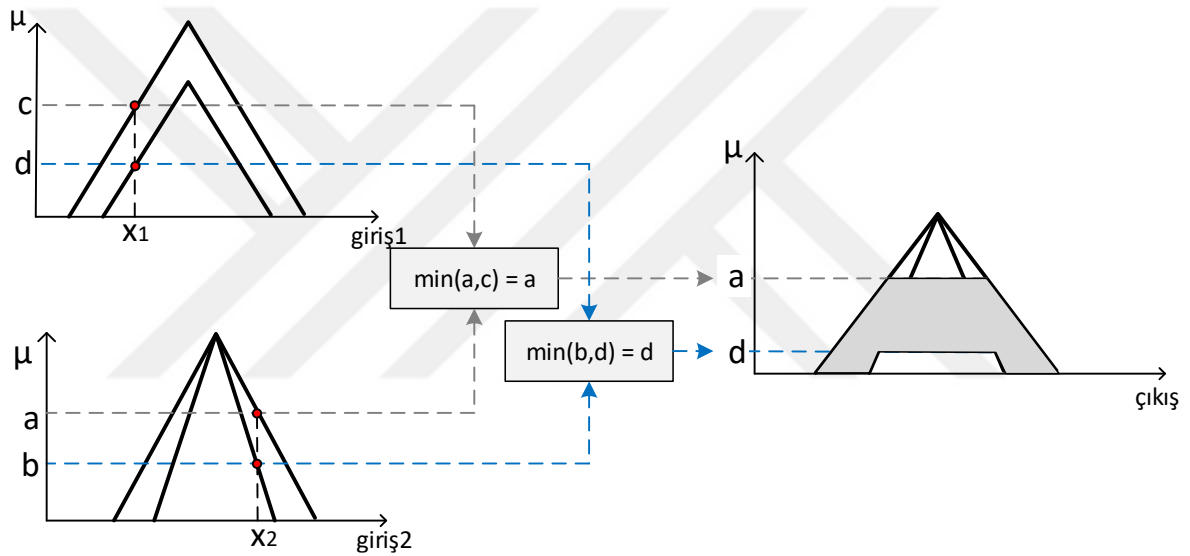


Şekil 3.9. Tip-1, Aralıklı tip-2 ve Genel tip-2 üyelik fonksiyonlarının 3 boyutlu gösterimi. (a) Tip-1 üyelik fonksiyonu, (b) Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu, (c) Genel tip-2 üyelik fonksiyonu.



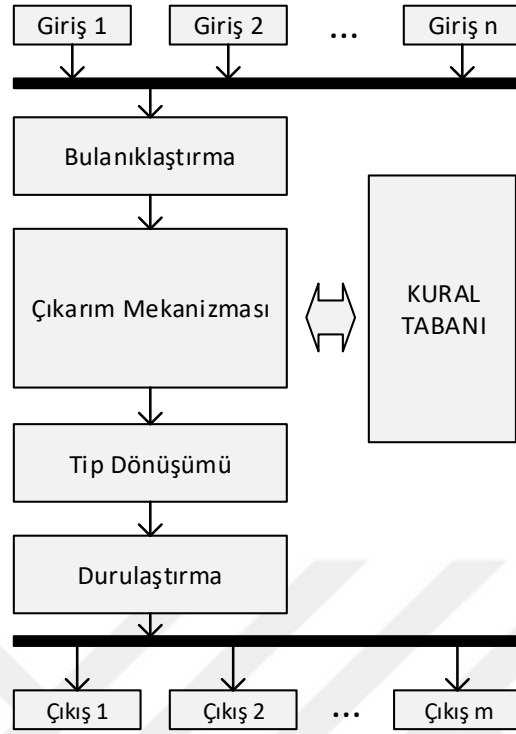
Şekil 3.10. Tip-1, Aralıklı Tip-2 ve Genel Tip-2 ikincil üyelik değerleri. (a) Tip-1 üyelik gösterimi, (b) Aralıklı tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu, (c) genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu

Tip-2 bulanık sistemlerde tip-1 bulanık sistemlerde olduğu gibi bulanıklaştırma ve kural tabanı yardımı ile çıkarımda bulunma adımları uygulanır. Tip-2 sistemlerdeki çıkış fonksiyonunun kırılması tip-1 sistemlere göre ufak farklılıklar göstermektedir. Tip-2 çıkarım mekanizmasında alt ve üst üyelik fonksiyonları kendi içlerinde ayrı değerlendirmelere tabi tutularak sonuçlar elde edilir. Üst üyelik fonksiyonu için elde edilen sonuç çıkış üst üyelik fonksiyonunu, alt üyelik fonksiyonu için elde edilen sonuç çıkış alt üyelik fonksiyonunu kırpmada kullanılır. Tip-2 sistemlerde çıkış fonksiyonu kırma örneği Şekil 3.11 ile verilmiştir. Şekil 3.4 ile kıyaslandığında tip-1 ve tip-2 sistemlerde çıkış fonksiyonlarının kırılması adımları arasındaki farkı gözlemlemek mümkündür.



Şekil 3.11. Tip-2 min-max çıkarım mekanizması ile iki girişli bir çıkışlı sistemde kuralların kırılması [61].

Çıkarım mekanizması sonunda sınırlanan çıkış üyelik fonksiyonu tip dönüşümü işlemine tabi tutularak tip-1 üyelik fonksiyonlarına benzetilir. Elde edilen fonksiyonun tip-1 bulanık sistemlerde olduğu gibi durulaştırılması ile nihai sonuç elde edilmiş olunur. Tip-2 bulanık sistemin çalışma mekanizması Şekil 3.12 ile gösterilmiştir.



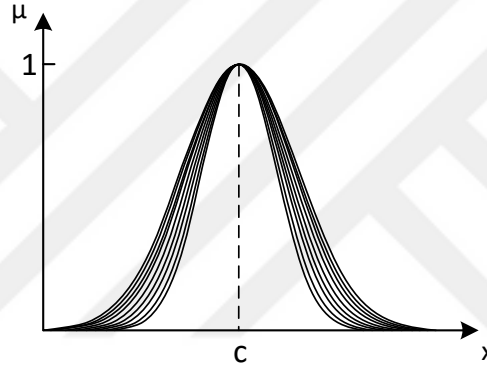
Şekil 3.12. Tip-2 bulanık sistem yapısı [59].

Tip-1 bulanık sistemlerin uygulanmasını gösteren Şekil 3.2 ve tip-2 bulanık sistemlerin uygulanmasını gösteren Şekil 3.12 karşılaştırıldığında, tip-2 bulanık sistemlerin uygulanmasındaki temel farkın tip dönüşümü adımı olduğu görülmektedir. Tip indirgeme işlemi alt ve üst sınır olarak ifade edilen fonksiyondan, tek bir fonksiyon elde etmeyi amaçlar ve tip-2 sistemlerin asıl hesapsal karmaşıklığını oluşturan adımdır. Literatürde yer alan tip indirgeme yöntemlerinden birkaçı aşağıda verilmiştir [62,63]:

- Karnik-Mendel Yöntemi (KM)
- Geliştirilmiş Karnik-Mendel Yöntemi (EKM)
- Durma Şartlı İteratif Yöntem (IASC)
- Geliştirilmiş Durma Şartlı İteratif Yöntem (EIASC)
- Geliştirilmiş Ters Yön Arama Yöntemi (EODS)
- Wu-Mendel Belirsiz Sınırlar Yöntemi (WM)
- Nie-Tan Yöntemi (NT)
- Begian-Melek-Mendel Yöntemi (BMM)

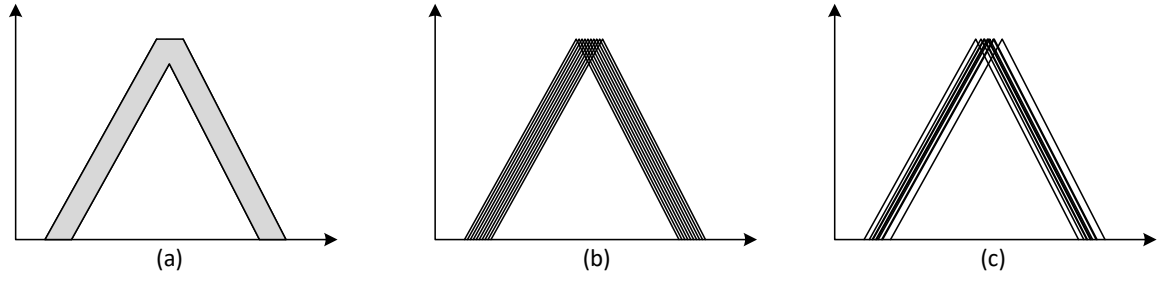
3.3. Durağan Olmayan Bulanık Mantık Sistemler

Genel tip-2 bulanık sistemlerin hesapsal karmaşasını ortadan kaldırmak için aralıklı tip-2 bulanık sistemler ortaya çıkmıştır. Ancak işlem yükünü azaltmada başarı gösteren bu yöntem, ikincil üyelik fonksiyonlarının sabit sebebiyle üçüncü boyuttaki değişikliği ifade etmede yetersiz kalmıştır. Hem genel tip-2 sistemlerin hesapsal karmaşıklığını, hem de aralıklı tip-2 sistemlerin bu dezavantajını ortadan kaldıran yeni bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur. Tip-1 sistemler ile tip-2 sistemleri modellemeyi amaçlayan durağan olmayan bulanık sistemler bu ihtiyaç üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir [55]. “c” merkez olmak üzere örnek bir durağan olmayan bulanık küme Şekil 3.13’te verilmiştir.

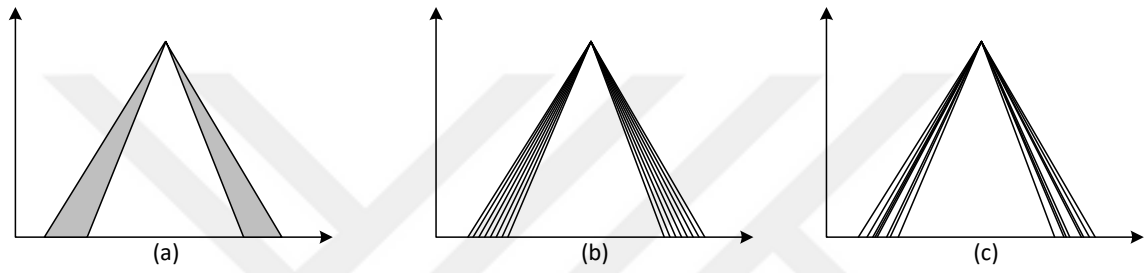


Şekil 3.13. Durağan olmayan bulanık küme örneği

Tip-2 bulanık kümeler alt ve üst üyelik fonksiyonu arasında kalan sonsuz değeri içerir. Yani teorik olarak bu kümelerin sonsuz sayıda tip-1 üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesi mümkündür. Ancak pratikte değişimi ifade edebilecek kadar çok ve işlem yükünü fazla artırmayacak kadar az sayıda tip-1 küme kullanılarak durağan olmayan bulanık kümeler elde edilir. Tip-2 kümelerden durağan olmayan kümeler elde etmek için farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Konumda değişiklik, genlikte değişiklik veya eğimde değişiklik gibi yöntemler bunlardan en sık kullanılanlarıdır [64]. Değişikliklerin nasıl gerçekleşeceğini belirlemede ise homojen dağılım veya normal dağılım gibi farklı dağılımlar tercih edilebilir. Kaç adet tip-1 küme kullanıldığının sayısının da farklılık göstereceği göz önüne alındığında, bir tip-2 kümenin sonsuz sayıda durağan olmayan küme karşılığı bulunduğu söylenebilir. Şekil 3.14 ve 3.15’te sırası ile 10 ve 8 tekrar kullanılarak üretilen durağan olmayan bulanık küme örnekleri verilmektedir.

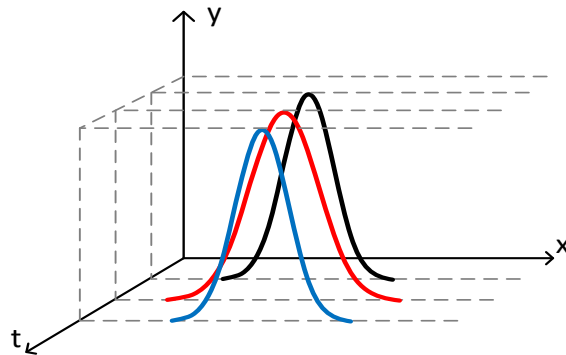


Şekil 3.14. Konumda değişim yöntemi ile üretilen durağan olmayan bulanık kümeler. (a) Tip-2 bulanık küme, (b) Homojen dağılım ile üretilen durağan olmayan bulanık küme, (c) Rastgele normal dağılım ile üretilen durağan olmayan bulanık küme



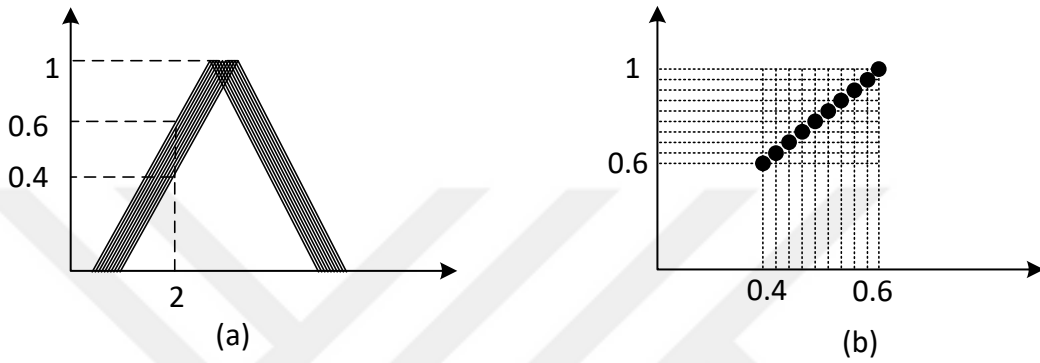
Şekil 3.15. Eğimde değişim yöntemi ile üretilen durağan olmayan bulanık kümeler. (a) Tip-2 bulanık küme, (b) Homojen dağılım ile üretilen durağan olmayan bulanık küme, (c) Rastgele normal dağılım ile üretilen durağan olmayan bulanık küme

Durağan olmayan bulanık sistemler ile aralıklı tip-2 sistemlerin yetersiz kaldığı üçüncü boyuttaki değişimleri ifade etmek mümkündür. Farklı uzmanlar farklı görüşlere sahip olabileceği gibi, aynı uzmanın fikri de zamanla değişebilir. Kişilerin fikirlerinin zamana bağlı farklılık göstereceği muhtemeldir. Her hafta belli kişilerden alınan görüşlerin standart sapma ve varyanslarının farklılık gösterdiklerini varsayalım. Bu durumda 3 haftalık süreçte Şekil 3.16’da verilen gibi durağan olmayan üyelik fonksiyonu elde etmek mümkündür.



Şekil 3.16. Durağan olmayan bulanık küme ile zamana bağlı değişimin gösterimi

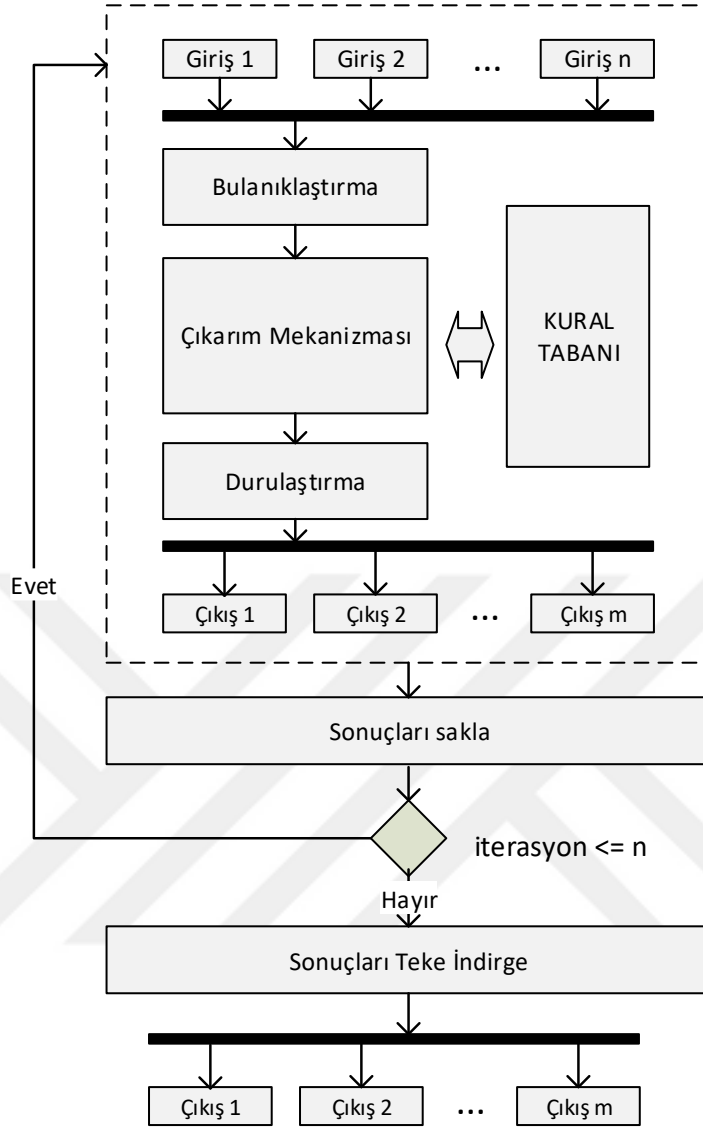
Durağan olmayan bulanık mantıkta ikincil üyelik fonksiyonu tahmin edileceği üzere ayrık zamanlı olarak ifade edilir. Şekil 3.8’deki tip-2 bulanık sistemin konumda değişiklik yöntemi ile homojen olarak 10 kez tekrarlanması sonucu elde edilmiş durağan olmayan bulanık küme karşılığı ve girişin 2 olduğu durumdaki ikincil üyelik fonksiyonu Şekil 3.17’de verilmiştir. Şekil 3.8.b ile Şekil 3.17.b karşılaştırıldığında bu ikincil üyelik fonksiyonlarının birbirlerinin sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı halleri olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.17. Durağan olmayan bulanık üyelik ve ikincil üyelik fonksiyonları. (a) Durağan olmayan bulanık giriş fonksiyonu, (b) Girişin '2' olduğu durum için ikincil üyelik fonksiyonu

Şekil 3.17.a’da yer alan fonksiyonlar ayrı düzlemlerde ifade edildiğinde aslında tip-1 kümelerden bir farkı olmadığı görülür. Bir başka deyişle durağan olmayan bulanık kümelerin aralarında bağ bulunan tip-1 kümelerin birleşiminden oluştuğu söylenebilir. Bu bağ zamana bağlı olarak üyelik fonksiyonunun küçük değişimleri olarak bilinir. Bu değişim ne kadar küçük olursa hassasiyet o kadar büyük olur ve tip-2 kümeyi ifade etmek için kullanılması gereken tip-1 küme sayısı da artar. Ancak küme sayısı ne kadar artarsa artsın, durağan olmayan kümeler ile tam olarak tip-2 kümeyi elde etmek pratikte mümkün değildir. Çünkü tip-2 küme alt ve üst sınır arasındaki sonsuz sayıdaki değerleri içerirken, durağan olmayan kümeler sayılı tip-1 kümenin birleşmesinden elde edilir. Bu sebeple durağan olmayan bir sistemin işleyişi tip-2 bir sistemden farklıdır ve tip-2’de karşılaşılan zorluklar durağan olmayan bulanık sistemlerde görülmemektedir.

Şekil 3.18’de durağan olmayan bulanık sistem adımları görülmektedir. Kesik çizgiler gösterilen işlemler, Şekil 3.2 ile verilen klasik tip-1 bulanık sistem çalışma adımlarının aynısıdır. Şekilden de görüleceği üzere durağan olmayan bulanık sistemler, “n” adet tip-1 bulanık sistemin ürettikleri sonuçların belirli algoritmalarla göre birleştirilerek nihai sonucun elde edilmesini sağlar.



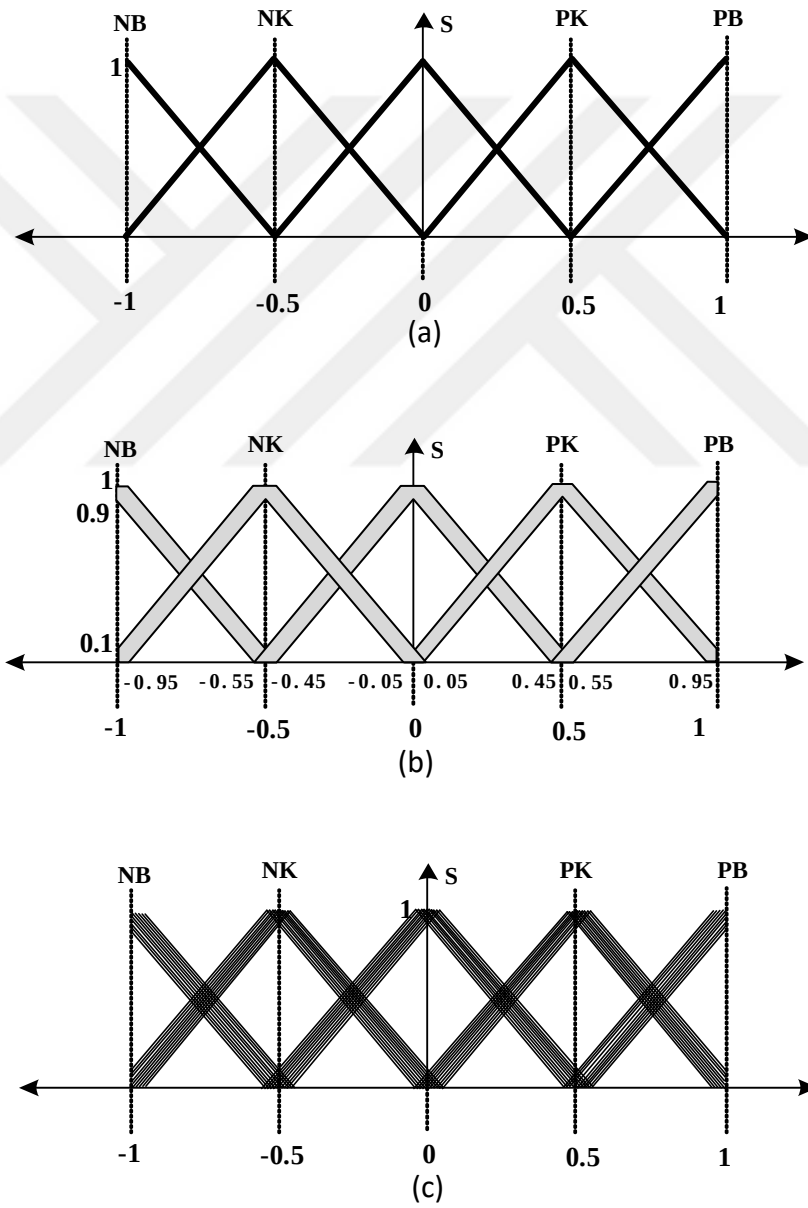
Şekil 3.18. Durağan olmayan bulanık sistem yapısı [55].

Şekil 3.18'deki sistemin genel blok diyagramına bakıldığında tip-1 sistemlere ek olarak sonuçların teke indirgenmesi adımı karşımıza çıkmaktadır. Bu adım her seferinde yeni bir sonuç üreten sistemin, elde edilen sonuçları birleştirerek nihai sonuca ulaşılmasını amaçlamaktadır. Bu işlem için basitçe aritmetik ortalama yöntemi kullanılabilir.

3.4. Tip-1, Tip-2 ve Durağan Olmayan Bulanık Sistemlerin Karşılaştırılması

Bu bölümde tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık ürettikleri çözümün uygunluğu ve bu çözümü üretmek için harcadıkları süre bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için DC motor kontrol problemi seçilmiştir. DC motor kontrolü dürtü

fonksiyonuna bağı olarak optimize edilmiş bir PID yardımıyla gerçekleştirilebilir. Ancak bu denetleyiciler karmaşık matematiksel ifadeler gerektiğinden ve her dürtü fonksiyonu için farklı optimum değerlere sahip olduğundan DC motor kontrol problemlerinde bulanık denetleyiciler de tercih edilmektedir. Hata ve hatanın türevini giriş olarak alan sonuçta gücün ne kadar değiştirilmesi gerektiğini üreten bir bulanık denetleyici tasarlanmıştır. Giriş ve çıkış değerleri normalize edilerek; negatif büyük (NB), negatif küçük (NK), sıfır (S), pozitif küçük (PK) ve pozitif büyük (PB) olmak üzere 5 dilsel değişken ile temsil edilmiştir. Tip-1, tip-2 ve durağan olmayan sistem için kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 3.19 ile verilmiştir.



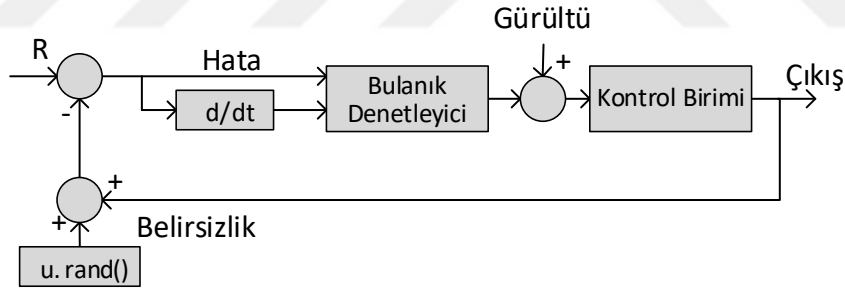
Şekil 3.19. DC motor kontrolü için kullanılan bulanık üyelik fonksiyonları (a) Tip-1 bulanık üyelik fonksiyonu, (b) Tip-2 bulanık üyelik fonksiyonu, (c) Durağan olmayan bulanık üyelik fonksiyonu

Her biri 5'er dilsel değişken ile ifade edilen 2 giriş ve 1 çıkış üyelik fonksiyonuna sahip bulanık denetleyici için kullanılan kural tablosu Tablo 3.2'de verildiği gibidir.

Tablo 3.2. DC motor kontrol için kullanılan kural tabanı tablosu

	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	NK	NK	S
NK	NB	NK	NK	S	PK
S	NK	NK	S	PK	PK
PK	NK	S	PK	PK	PB
PB	S	PK	PK	PB	PB

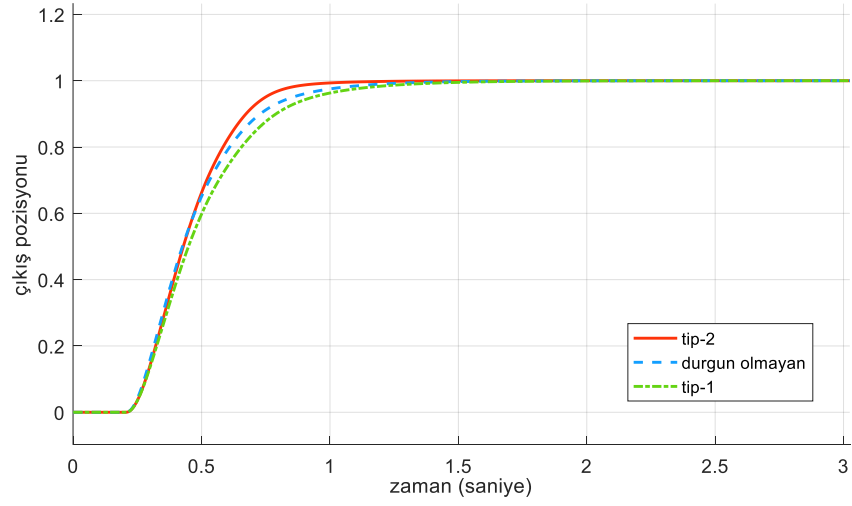
Yukardaki şekilde tasarlanan bulanık denetleyici MATLAB Simulink ortamında test edilmiştir. Tip-2 bulanık sistemi modellemek için açık kaynaklı aralıklı tip-2 bulanık mantık aracından faydalanılmıştır [65]. Test için kurulan sistemin blok diyagramı şekil 3.20 ile gösterilmiştir. Kullanılan alt sistem için transfer fonksiyonu Denklem 3.1 ile verilmiştir.



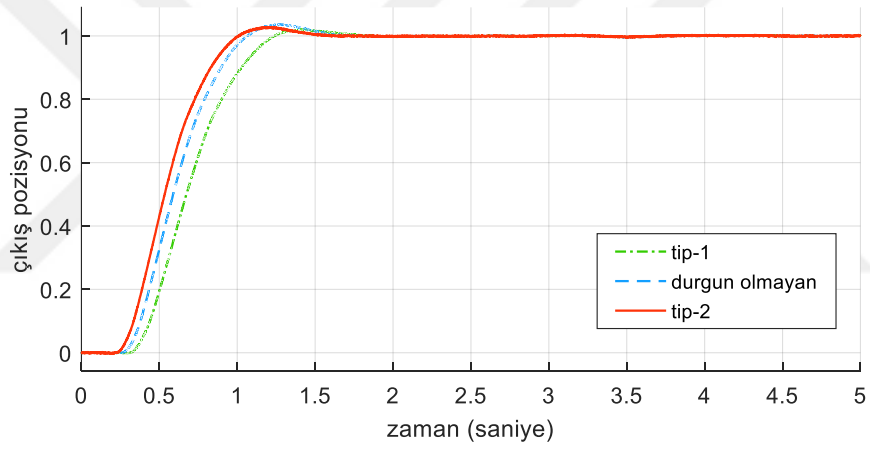
şekil 3.20. DC motor kontrol sisteminin blok diyagramı

$$H(s) = \frac{2.2}{s(8.9 \times 10^{-6} s^2 + 7.3 \times 10^{-3} s + 0.94)} \quad (3.1)$$

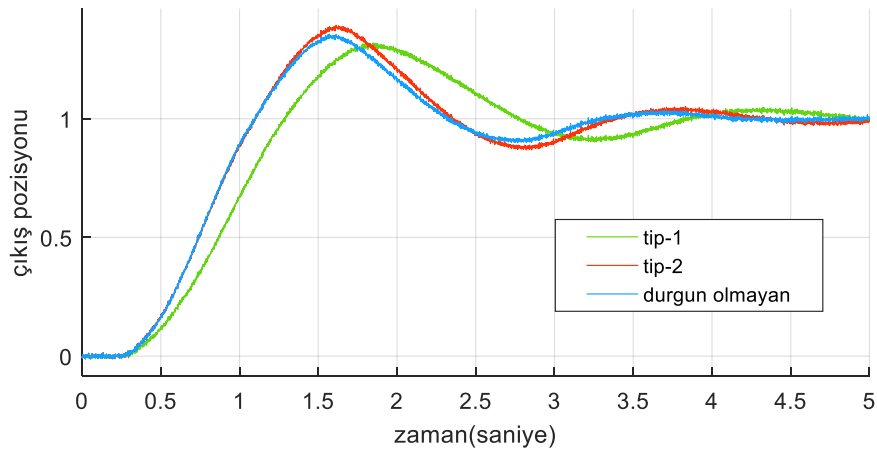
İlk olarak sisteme gürültü eklenmeden tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık denetleyiciler kullanılmıştır. Ardından sisteme 2x, 5x ve 10x gürültü eklenerek testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonuçları şekil 3.21 ile 3.24 arasında verilmiştir. Bu testler aşamasında geçen süreler Tablo 3.3'de gösterilmiştir.



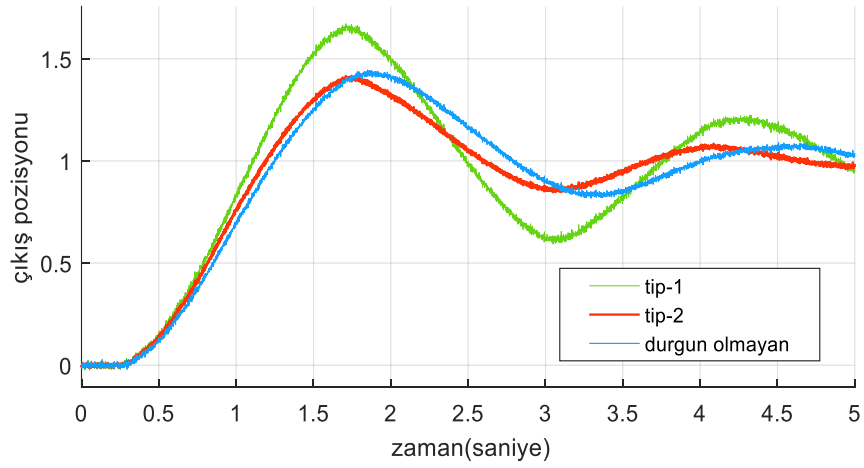
Şekil 3.21. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın gürültüsüz ortamda performansları



Şekil 3.22. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın az gürültülü ortamda performansları



Şekil 3.23. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın orta gürültülü ortamda performansları



Şekil 3.24. Tip-1, Tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantığın çok gürültülü ortamda performansları

Yukardaki performanslar incelendiğinde gürültüsüz ortamda tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık arasında fazla performans farkı gözlemlenmemektedir. Sistemde gürültü arttıkça tip-1 bulanık denetleyicinin referans sinyali yakalaması güçleşmektedir. Tip-2 sistemler referansa daha çabuk ulaşırken, durağan olmayan bulanık sistem ile de benzer sonuç elde edilmektedir. Ancak bunların MATLAB ortamında 5 saniyelik simülasyon çalıştırma için harcadıkları zamanı gösteren Tablo 3.3'e bakıldığında harcadıkları sürelerin farkı göze çarpmaktadır.

Tablo 3.3. Tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık için geçen süreler

	Tip-2 Bulanık Sistem	Durağan Olmayan Bulanık Sistem	Tip-1 Bulanık Sistem
Şekil 3.21	165,2569 sn	3,7522 sn	0,9212 sn
Şekil 3.22	169,9642 sn	3,9756 sn	1,1329 sn
Şekil 3.23	176,0227 sn	4,0985 sn	1,2101 sn
Şekil 3.24	180,5789 sn	4,1714 sn	1,2389 sn

Tablo 3.3, 5 saniyelik sistemin çalışmasını modellemek için kurulan sistemin toplam çalışma sürelerini göstermektedir. 5 saniyenin altındaki performanslar uygulanabilir olarak kabul edilirken bunun üstündekiler gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir. Göstermiş oldukları performans ve harcadıkları süre göz önüne alındığında tip-2 bulanık denetleyici özellikle gürültülü sistemlerde daha başarılı iken, harcadıkları süre bakımından pratikte uygulanabilir değildir.

3.5. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde görüntü mozaikleme işleminde yararlanılacak olan durağan olmayan bulanık mantık açıklanmıştır. Durağan olmayan bulanık mantık, birden fazla farklı tip-1 bulanık mantık sistemin art arda çalıştırılması ve sonuçların birleştirilmesi prensibine dayandığından dolayı tip-1 bulanık mantık hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca durağan olmayan bulanık mantık tip-2 bulanık mantığın getirmiş olduğu hesapsal karmaşıklığı gidermek adına geliştirilen bir yöntem olduğundan tip-2 bulanık mantığa da değinilmiştir.

Sonuç olarak açıklanan tip-1, tip-2 ve durağan olmayan bulanık mantık gerçek bir problem üzerinde denenerek ürettikleri çözümün uygunluğu ve çözüm üretmeleri için geçen süre bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre tip-2 bulanık mantık daha uygun sonuçlar üretirken daha fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Ürettikleri sonuç ve harcadıkları zaman bakımından incelendiğinde, durağan olmayan bulanık mantığın tip-1 bulanık mantıktan daha iyi sonuçlar verdiği ve tip-2 bulanık mantık kadar fazla süreye ihtiyaç duymadığı gözlemlenmiştir.

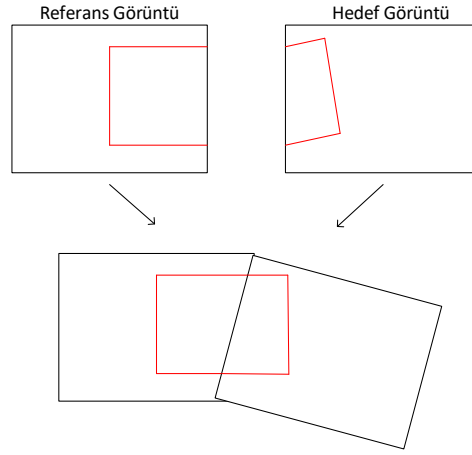
4. GÖRÜNTÜ MOZAİKLEME

Görüntü mozaikleme, aynı sahneye ait birden fazla görüntünün içerdikleri ortak alanlara göre çakıştırılarak, daha çok detay içeren tek bir görüntü elde edilmesi işlemidir. Büyük bir sahneye ait tek bir görüntü karesi elde etmek için yüksek çözünürlüğe sahip bir kameranın yeterince uzak bir konuma yerleştirilmesi gerekmektedir. Kapalı alanlarda kameranın yerleştirilebileceği uzaklığın sınırlı olması ve yüksek çözünürlüklü kameraların pahalı olması gibi sebeplerden dolayı büyük alanların görüntülenmesi için görüntü mozaikleme tekniğinden yararlanılır. Görüntü mozaikleme yöntemi sayesinde standart çözünürlükteki kameralar ile bir bölgeden alınan görüntülerin birleştirilmesi sonucunda yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek mümkün olmaktadır.

Görüntü mozaikleme; düşük maliyetle daha kaliteli görüntü elde etmek, tek bir kameranın görüş açısına sığmayacak kadar büyük alanları fotoğraflamak, panoramik resimler oluşturmak ve bir video içerisindeki hareketli nesneleri silmek gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Görüntü mozaiklemenin kullanıldığı başlıca alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [66]:

- Akıllı Sistemler ve Robotlar (Kamera sistemleri vb.)
- Tıbbi Uygulamalar (Bilgisayar destekli cerrahi vb.)
- Askeri Uygulamalar (İnsansız hava araçları vb.)
- Tarımsal Uygulamalar (Tarımsal arazi planlaması vb.)
- Coğrafi Uygulamalar (Haritalama vb.)

Birleştirilecek görüntülerin sayısından bağımsız olarak, görüntü mozaikleme işlemi her adımda sadece iki resim arasında gerçekleşir. Resimlerden bir tanesi referans, diğeri ise hedef görüntü olarak adlandırılır. Hedef görüntü ve referans görüntüdeki eşleşmiş noktalar çakışacak biçimde hedef görüntü yeniden şekillendirilir. Yeniden şekillendirilen görüntü referans görüntüye eklenerek daha büyük bir resim elde edilmiş olunur. Görüntü mozaikleme işleminin görselleştirilmesi Şekil 4.1’de verilmiştir. Elde mozaiklenmiş edilen görüntü bir sonraki aşamada referans görüntü olarak kullanılarak çoklu mozaikleme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.1. Görüntü mozaikleme işlemi [22].

Görüntü mozaikleme işleminin gerçekleştirilmesi için uzay domaininde ve frekans domaininde olmak üzere farklı yöntemler geliştirilmiştir [67]. Uzay domaininde uygulanan yöntemler kendi içerisinde alan tabanlı ve özellik tabanlı olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Alan tabanlı yöntemler, iki resimdeki alanları renk yoğunluklarına göre eşleştirdiğinden; boyut değişimleri, ışık değişimleri ve pozisyon değişimleri alan tabanlı yöntemlerin çalışmasını ciddi derecede olumsuz bir biçimde etkilemektedir. Özellik tabanlı yöntemler kategorisinde yer alan SIFT yöntemi bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır [68].

Özellik tabanlı görüntü eşleştirmede öncelikle her görüntüye ait anahtar noktalar tespit edilir ve bu noktalara ait özellikler çıkartılır. Ardından çıkarılan özelliklere göre birbirine benzer noktalar birbiri ile eşleştirilir, bu sayede resimler arasındaki ilişki kurulmuş olunur. Sonuçta istenmeyen eşleşmeler de meydana gelebileceğinden dolayı, düzene uymayan eşleşmeler elenir. Elde kalan eşleşmelerden faydalanarak homografi tahmini yapılır ve elde edilen bu matris kullanılarak resim eğilip bükülür. Son olarak resimler arasındaki renk uyumsuzluğunu gidermek için renklerde harmanlama yapılır [69]. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme adım adım aşamaları ve akış diyagramı adımları Şekil 4.2’de verilmiştir.

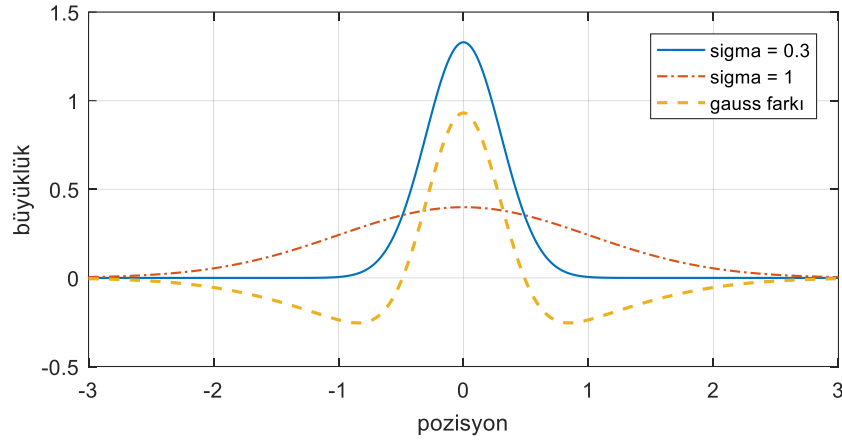


Şekil 4.2. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme adımları [25].

4.1. Anahtar Noktaların Tespiti

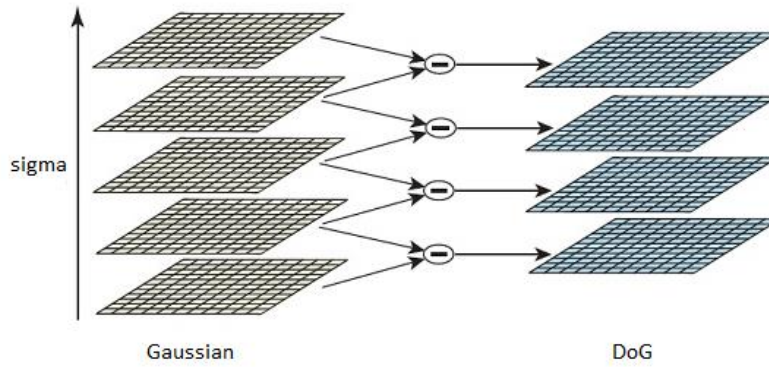
Görüntü mozaikleme işleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle iki resimde de ortak olan alanların tespit edilmesi gerekmektedir. İki görüntünün kıyaslanma işlemi piksel bazında bütün pikseller için gerçekleştiğinde ortaya büyük hesaplama maliyeti çıkmaktadır. Bu yüzden resimde yer alan nesnelerin kenar, köşe veya kabarcık gibi karakteristik bölgeleri tespit edilerek, sadece bu bölgeler üzerinden kıyaslama ve eşleştirme işlemi yapılır [70] .

Bu çalışmada anahtar nokta belirleme işleminde DOG yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle görüntünün farklı sigma değerleri için gauss filtresine tabi tutulmuş halleri elde edilir. Gauss farkı yöntemi ile uç noktalar daha belirgin hale getirilmiş olunur. Bu sayede görüntüdeki karakteristik noktalar belirlenir. Şekil 4.3'te farklı sigma değerleri için elde edilen gauss sinyalleri ve bunların farkı görselleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise tespit edilen bu anahtar noktalara ait özellikler çıkarılır.



Şekil 4.3. DOG yönteminin tek boyutlu sinyal üzerindeki görüntüsü

Gauss farkı işlemi görüntü üzerinde farklı sigma değerleri için uygulanır. Varsayılan olarak 8 farklı sigma değerine sahip gauss filtresinden geçirilmiş görüntü elde edilir ve bunların farkı alınır. Alınan farklar üzerinde belirgin olarak öne çıkan bölgeler anahtar nokta olarak seçilir. Bu işlem görüntünün farklı oranlarda boyutlandırılmış versiyonları üzerinde de tekrar ettirilir. Bu şekilde ölçekten bağımsızlık sağlanmış olunur. Şekil 4.4'te DOG yönteminin uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 4.4. DOG ile görüntüdeki anahtar noktaların tespit edilmesi [71].

4.2. Anahtar Noktalara Ait Özelliklerin Çıkarılması

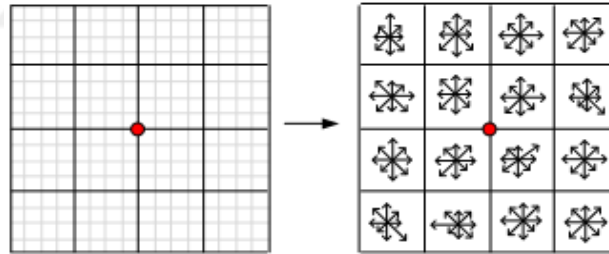
İki görüntünün koordinatları arasında bağlantı kurabilmek için anahtar noktalar kullanılmaktadır. Anahtar noktaların eşleştirilmesi aşamasında, bunların birbirine benzerliğini ölçmek için bazı kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde birçok özellik çıkarma yöntemi geliştirilmiştir [72]. SIFT yöntemi de bunlardan bir tanesidir. SIFT yöntemi; nesnenin boyutunun değişmesi, nesnenin farklı açılardan görüntülenmiş olması,

nesnenin bir kısmının başka bir nesne tarafından saklanması gibi durumlara karşı oldukça iyi sonuçlar vermektedir. SIFT yöntemine göre tespit edilen anahtar noktanın etrafında bir alan seçilir. Bu alandaki piksellerin geçişine ait yönelim değerleri hesaplanır. Yönelim büyüklüğünün hesaplanması Denklem 4.1’de, yönelim açısının hesaplanması ise Denklem 4.2’de verilmiştir.

$$m(x, y) = \sqrt{(I(x + 1, y) - I(x, y - 1))^2 + (I(x, y + 1) - I(x - 1, y))^2} \quad (4.1)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}(I(x, y + 1) - I(x, y - 1))^2 + (I(x + 1, y) - I(x - 1, y))^2 \quad (4.2)$$

Ardından anahtar nokta etrafında 16x16’lık bir alan seçilir. Bu alan 4x4 boyutunda toplam 16 alt alana ayrılacak şekilde gruplandırılır. Her alt alan için 45 derecelik açıları baz alan 8 değere sahip histogram grafiği hesaplanır. Bir alt alana ait histogram 8 değer ile ifade edildiğinden ve toplamda 16 alt alan bulunduğundan dolayı sonuçta 128 boyutunda anahtar nokta tanımlayıcısı olarak adlandırılan bir vektör elde edilir. Her alt alana ait 8 yönelimi bulunan, toplamda 128 özelliğe sahip anahtar nokta tanımlayıcısı Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.5. Ölçekten bağımsız özellik dönüşümü yöntemi ile çıkarılan özellikler [73].

4.3. Anahtar Noktaların Eşleştirilmesi

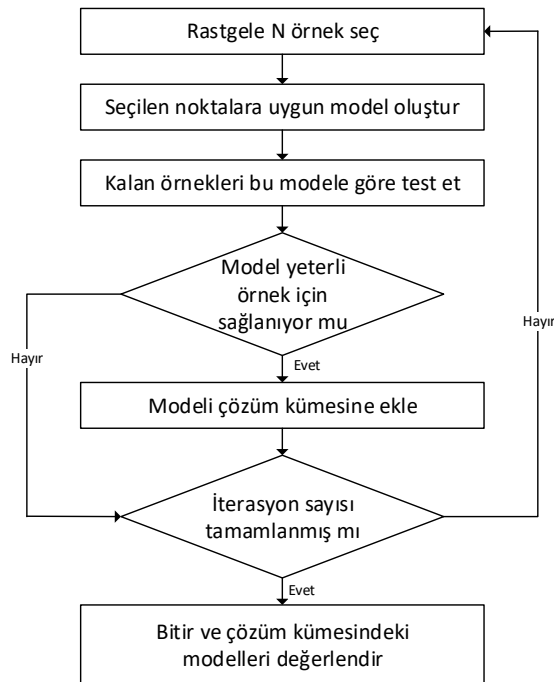
Özellikleri çıkarılan anahtar noktalar eşleştirme işlemi için hazırdırlar. Birinci görüntüdeki anahtar noktalar ile ikinci görüntüdeki anahtar noktalar özelliklerinin benzerliklerine göre eşleştirilirler. Bu aşamada hedef görüntü üzerinde referans görüntüdeki anahtar noktaya benzeyen birden fazla nokta var ise bir karışıklığa yol açmamak için anahtar nokta eşleştirilmesi yapılmaz. Bunun için referans görüntüdeki bir anahtar noktaya karşılık gelen hedef görüntüdeki en yakın iki anahtar nokta tespit edilir. Referans görüntüdeki anahtar noktanın, hedef görüntüdeki en yakın nokta ile eşleşme sağlanması için, birinci en

yakın nokta ile olan mesafe ikinci en yakın nokta ile olan mesafe arasında uzaklık oranı kadar bir fark olması gerekmektedir. Optimum uzaklık oranını her resim için farklı olmakla birlikte genelde 0.6 alınır.

4.4. Uyuşmayan Eşleştirmelerin Elenmesi

Anahtar noktaların eşleştirmesi sırasında hatalı eşleştirmeler elde etmek de mümkündür. Hatalı eşleştirmelerin olduğu durumda iki resmi aynı düzleme düşürmeye çalışmak probleme yol açacaktır. Bundan dolayı homografi tahmini yapılmadan önce ortaya çıkan hatalı eşleşmelerin elenmesi gerekmektedir. İteratif olarak çalışan RANSAC bu amaçla kullanılan algoritmalarından bir tanesidir [74].

RANSAC algoritmasına göre eldeki noktalardan rastgele bir kaç tanesi seçilir. Bu seçilen rastgele noktalara göre genel bir denklem oluşturulmaya çalışılır. Daha sonra tüm noktalar oluşturulan bu denklem ile hesaplanarak gerçek değerleri ile elde edilen değerleri arasındaki hata elde edilir. Bu işlem önceden belirlenen iterasyon sayısı kadar gerçekleşir. En az hata ile verileri doğru bir şekilde gruplandıran denklem seçilir. Ardından bu denkleme uymayan noktalar aykırı nokta olarak değerlendirilir. Bulunan bu aykırı noktaların göz ardı edilmesi ile uyuşmayan eşleşmeler elenmiş olur. RANSAC akış diyagramı Şekil 4.6’da verilmiştir.



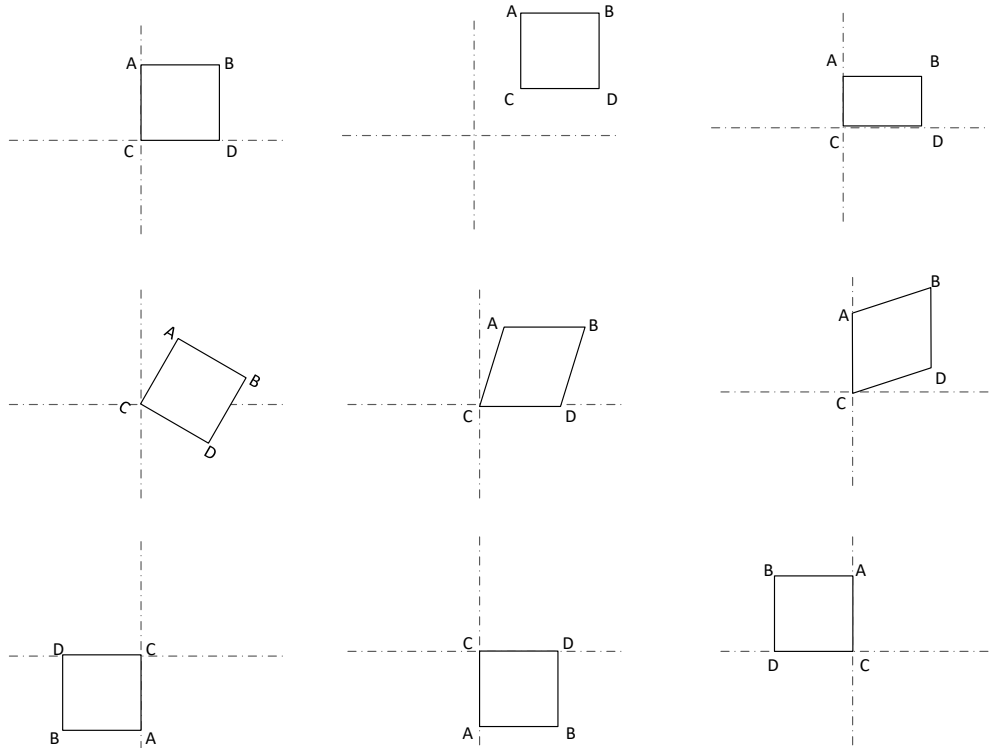
Şekil 4.6. Rastgele örneklerin fikir birliği algoritmasının akış şeması [75].

4.5. Homografi Matrisinin Hesaplanması

Homografi hedef görüntüdeki anahtar noktaları, referans görüntüde eşleştikleri anahtar noktalar ile aynı düzleme düşürmeye yarayan matrisin adıdır. Dönüşümü yapılacak olan görüntüdeki pikseller homojen gösterim ile ifade edilir.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'teki H matrisinde [76] h_{11} ve h_{21} yeni görüntünün sağ alt kısmının, h_{12} ve h_{22} yeni görüntünün sol üst kısmının yeni konumlarına ait x ve y koordinatlarına etki etmektedir. h_{31} , h_{32} ve h_{33} homojen gösterimde en altta yer alan ölçek parametreleri olup varsayılan değerleri sırası ile 0, 0 ve 1 olmaktadır. h_{13} ve h_{23} ise görüntünün sırası ile x ve y eksenlerinde ne kadar öteleneceğini etkilemektedir. Temel homografi dönüşümleri ve bunlara ait homografi matrisleri Şekil 4.7 ve Tablo 4.1 ile sırası ile verilmiştir.



Şekil 4.7. Temel homografi dönüşümleri

Tablo 4.1. Şekil 4.7'deki dönüşümleri gerçekleştiren homografi matrisleri

$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & X \\ 0 & 1 & Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} W & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \cos x & \sin x & 0 \\ -\sin x & \cos x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & A & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ B & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Görüleceği üzere basit dönüşümler için homografi matrisleri bellidir. Ancak mozaikleme işleminde kullanılan dönüşümler bu kadar basit değildir. Hedef görüntü ile referans görüntü arasındaki eşleşen anahtar noktaların üst üste gelmesi için yukardaki dönüşümlerin bir kaçının aynı anda gerçekleşmesi gerekebilir. Bu yeniden şekillendirme işlemi için gerekli homografi matrisi tahmin edilmelidir. Homografi matrisi, her piksel için Denklem 4.4'deki eşitliği en az hata ile sağlayacak şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Homojen koordinat sistemine göre yeni X ve Y değerleri $X' = X_n/Z_n$ ve $Y' = Y_n/Z_n$ olacağından dolayı bu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$X' = \frac{X_n}{Z_n} = \frac{h_{11}X_1 + h_{12}Y_1 + h_{13}Z_1}{h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1} \quad (4.5)$$

$$Y' = \frac{Y_n}{Z_n} = \frac{h_{21}X_1 + h_{22}Y_1 + h_{23}Z_1}{h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1} \quad (4.6)$$

Denklem 4.5 ve 4.6 içler dışlar çarpımına tabi tutulduğunda sırası ile Denklem 4.7 ve 4.8 elde edilmektedir.

$$X' (h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1) - (h_{11}X_1 + h_{12}Y_1 + h_{13}Z_1) = 0 \quad (4.7)$$

$$Y' (h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1) - (h_{21}X_1 + h_{22}Y_1 + h_{23}Z_1) = 0 \quad (4.8)$$

Denklem 4.7 ve 4.8'i matris biçiminde tek bir denklem olarak yazmaya çalıştığımız zaman Denklem 4.9'u elde ederiz.

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & -X'_1 & -Y'_1 & -Z'_1 \\ 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & -Y'_1 & -X'_1 & -Z'_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Tek X_1 ve Y_1 noktası için 4.9 ile verilen matrise diğer noktaların da alt alta eklenmesi ile tüm noktalar için tek bir denklem elde edilmiş olunur. Eşleşmesi gereken diğer noktaların da birinci matrise eklenmesi ile oluşan eşitliği en az hatayla sağlayan h parametreleri bulunmaya çalışılır.

4.6. Eşleşen Anahtar Noktaların Aynı Düzleme Düşürülmesi

Homografi matrisi hesaplandıktan sonra bir pikselin yeni konumunu bulmak için eski piksel koordinatları bu matris ile çarpılır (4.10). Homojen uzayda elde edilen sonuç, 2 boyutlu koordinat sistemine dönüştürülerek pikselin yeni konumları hesaplanır (4.11).

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{eski} \\ Y_{eski} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$X_{yeni} = \frac{X_n}{Z_n}, \quad Y_{yeni} = \frac{Y_n}{Z_n} \quad (4.11)$$

Piksellere ait yeni konumlar hesaplandıktan sonra, eski piksele ait renk değerleri yeni piksele aktarılır. Bu sayede resim birleştirilmek üzere, diğer görüntü ile eşleşen noktaları çıkaracak şekilde yeniden şekillendirilmiş olunur. Bu iki görüntü ortak pikselleri üst üste gelecek biçimde aynı düzlemde gösterilir ve mozaiklenmiş görüntü elde edilir.

4.7. Renk Harmanlama

Birleştirilecek olan görüntülerin çakıştırılan noktaları birebir aynı renk değerlerini içermiyor olabilir. Bu durum görüntülerin alındığı kameraların farklı olması, görüntü alınırken kameraların açıların farklı olması veya görüntünün çekildiği anlardaki ışığın durumunun farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. Görüntülerin ayırt edilemeyecek bir şekilde tek bir görüntü olarak birleştirilmesi için bu farkın ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çakışan alanlardaki piksel farklarından yararlanarak renkler yeniden harmanlanabilmektedir [77]. Renk harmanlamanın etkisi Şekil 4.8’de gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.8. Renk harmanlama etkisi. (a) Harmanlamadan önce, (b) Harmanlamadan sonra [76].

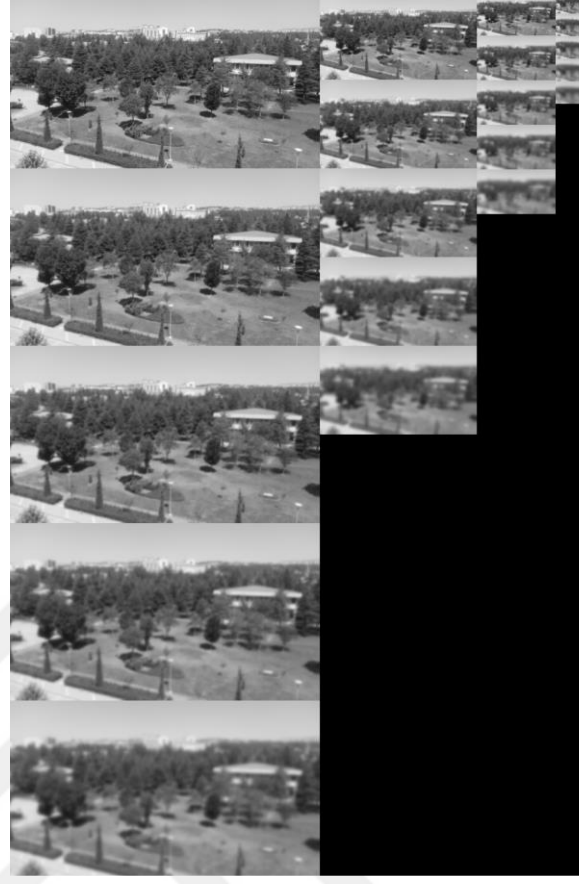
4.8. Uygulama Sonuçları

Bu bölümde, yukarda açıklanan SIFT algoritması çeşitli görüntüler üzerinde denenerek sonuçlar verilmiştir. SIFT algoritmasının denenmesi için fazla detay içeren ve az detay içeren görüntüler kullanılmıştır. Uygulamalar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. İlk test farklı açılardan dış ortamdan alınan görüntüler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonuçları Şekil 4.9’da adım adım gösterilmiştir.





(c) Referans görüntünün farklı boyutlarda ve sigma değerlerinde gaussian uygulanmış versiyonları



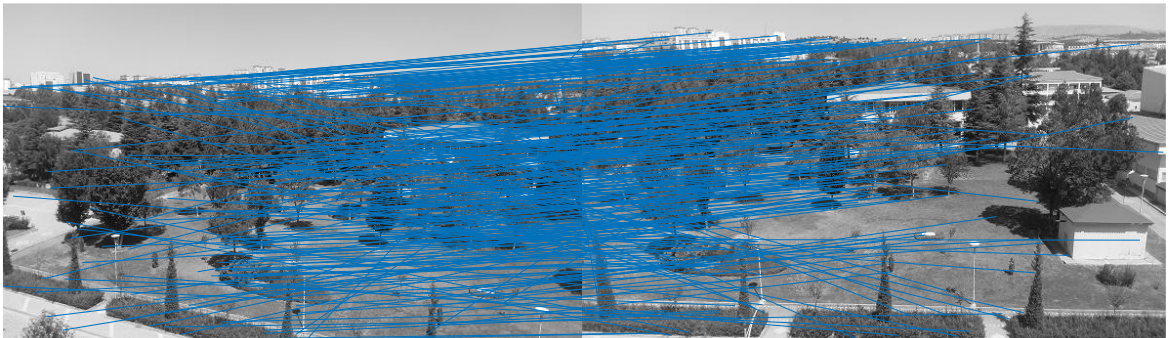
(d) Hedef görüntünün farklı boyutlarda ve sigma değerlerinde gaussian uygulanmış versiyonları



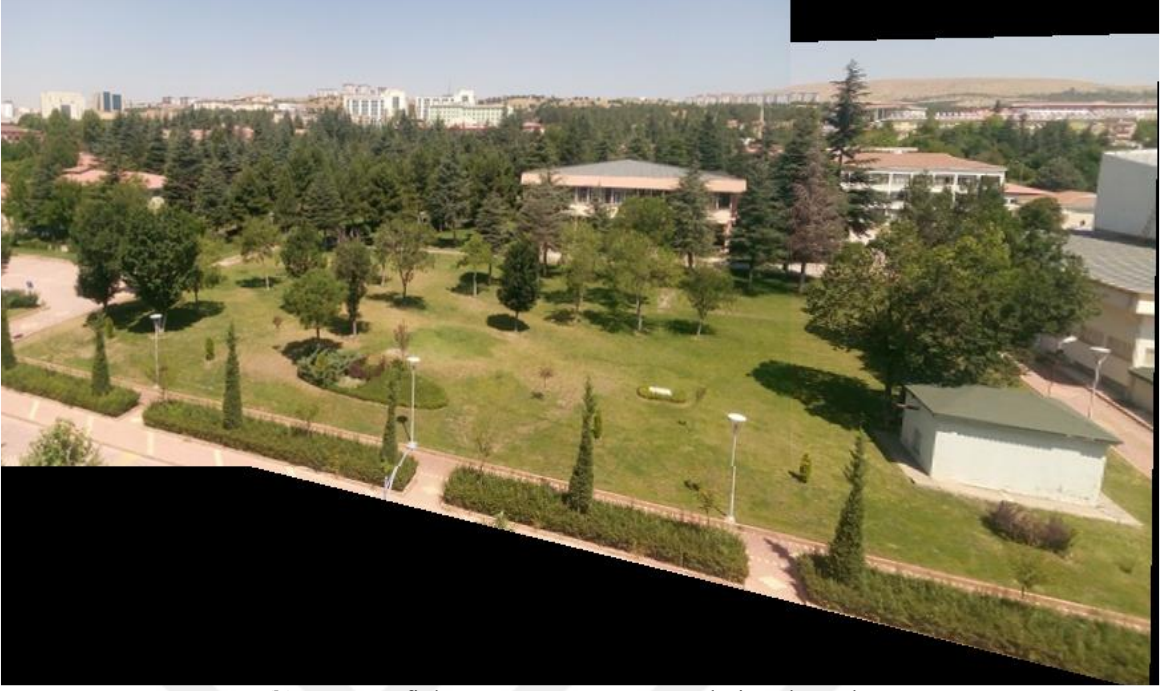
(e) Referans görüntüde tespit edilen aday anahtar noktalar



(f) Hedef görüntüde tespit edilen aday anahtar noktalar



(g) Anahtar noktaların eşleştirilmesi

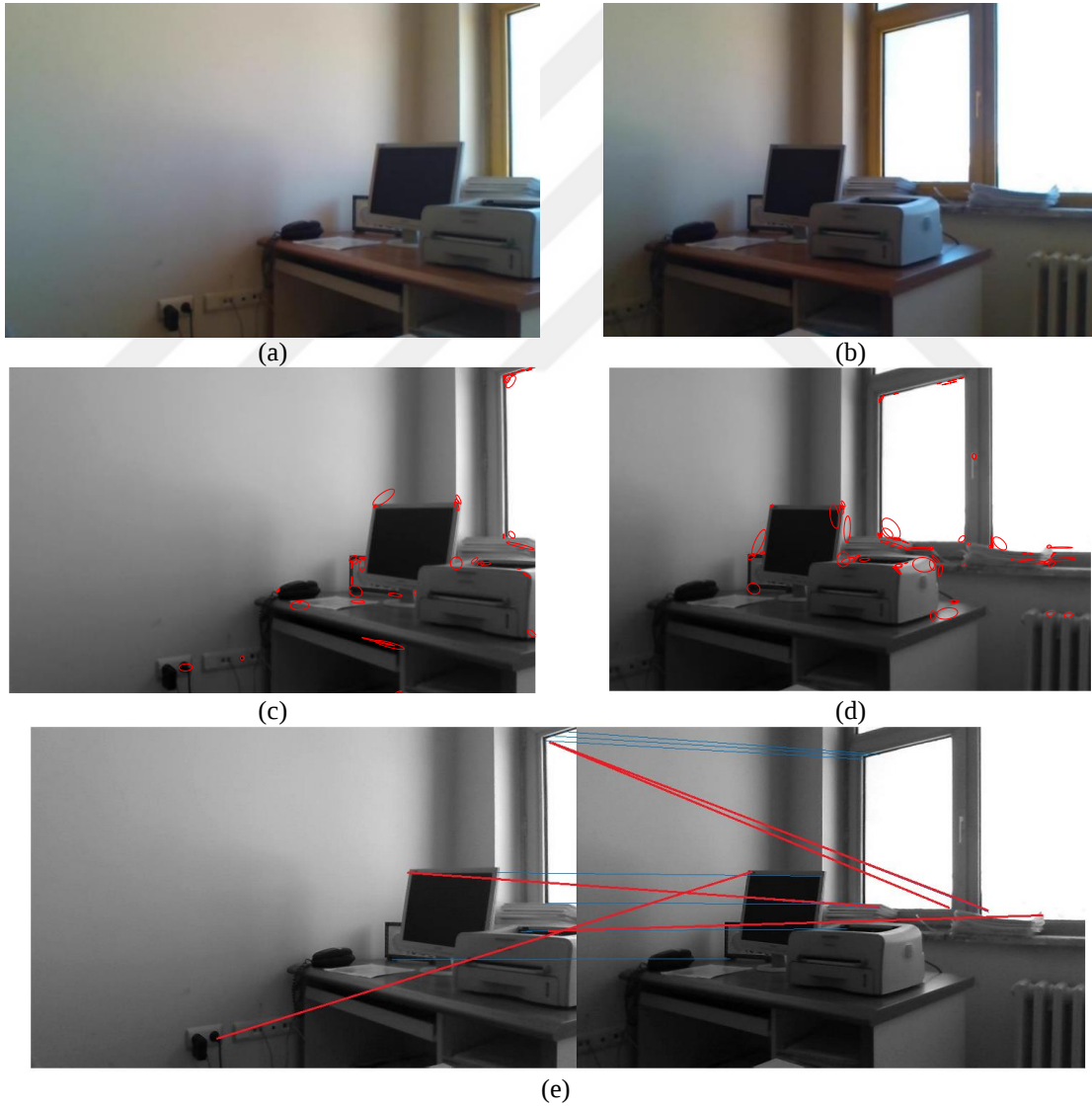


(h) Homografi dönüşümü sonucu görüntülerin çakıştırılması

Şekil 4.9. Mozaikleme işleminin örnek bir problem üzerinde adım adım gösterimi.

Aşamalar ile birlikte örnek bir mozaikleme işlemi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. 4.9.c ve 4.9.d'de 4 farklı boyutta 5 farklı sigma değeri uygulanan gauss filtrelerin sonuçları gösterilmiştir. 4.9.e ve 4.9.f'de bir önceki adımdan yararlanarak tespit edilen aday anahtar nokta yerleri, yönelimleri ve büyüklükleri tespit edilmiştir. 4.9.g'de iki resimde de tespit edilen anahtar noktalar arasında özelliklerine göre eşleştirme işlemi uygulanmıştır. Yukardaki problem için hedef görüntüde 1191, referans görüntüde 1396 aday anahtar nokta tespit edilirken, bunlardan sadece 306 tanesi eşleşmiştir. Şekilden de görüleceği üzere eşleştirme aşamasında hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalı eşleşmelerin daha düzgün homografi tahmini gerçekleştirilebilmesi adına elenmesi gerekir. Bir bütün olarak incelendiğinde birbirine benzer hareket gösteren eşleşmelerin doğru olma olasılığı daha fazladır. Şekil 4.9.g incelendiğinde hatalı eşleşmelerin varlığı aykırı çizgilerden anlaşılmaktadır. Güvenilir eşleşmeler yardımı ile dönüşümü gerçekleştirmek için kullanacağımız homografi matrisinin tahmini gerçekleştirilir. Bu dönüşüm matrisi yardımı ile hedef görüntü yeniden şekillendirilir ve görüntüler aynı düzlem üzerinde gösterilir. Son olarak 4.9.h'de mozaiklenmiş görüntü gözükmemektedir. Burada birleştirilen görüntülerin dönüşümlerinin daha net gözlemlenmesi için renk harmanlama işlemi uygulanmamıştır.

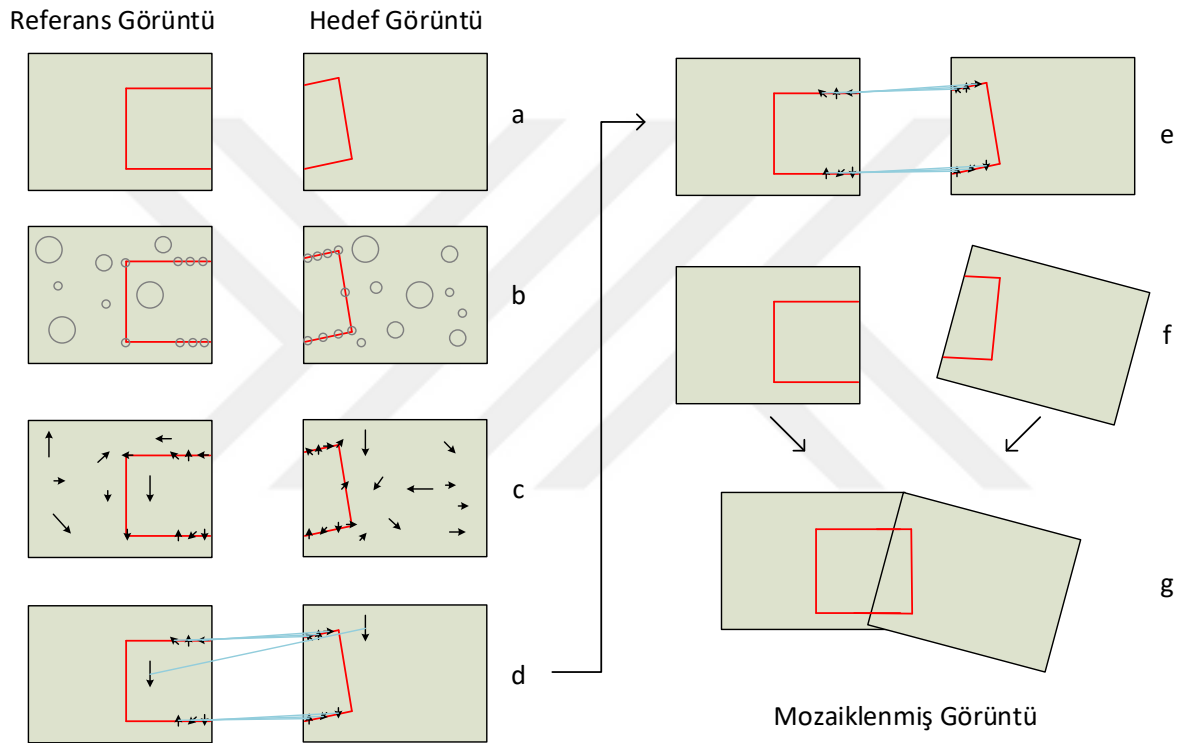
Eşleşmelerin fazla olduğu yerlerde hatalı eşleşme sayısı, hatalı eşleşme oranını nispeten daha az etkileyeceğinden bu tarz problemlerde hatalı eşleşmelerin sonuca olan olumsuz etkisi daha az olacaktır. Ancak detayın ve anahtar nokta sayısının az olduğu problemlerde eşleşme sayısının da azalacağı göz önüne alındığında bu tarz problemler için doğru eşleşmelerin elde edilmesi daha kritik öneme sahiptir. Daha az detay içeren ve uygun aydınlatmanın olmadığı bir problem 4.10'da verilmiştir. Bu problemde referans görüntüde 45, hedef görüntüde 75 anahtar nokta tespit edilirken bunlardan 12 tanesi eşleşmiştir. Eşleşen noktaların hatalı olanları 4.10.e'de kırmızı renkte çizgiler ile gösterilmiştir. Yöntem bu görüntülerde başarısız olmuştur.



Şekil 4.10. Az detaya sahip başarısız mozaikleme örneği. (a) referans görüntü, (b) hedef görüntü, (c) referans görüntüdeki anahtar noktalar, (d) hedef görüntüdeki anahtar noktalar, (e) aday anahtar noktaların tespiti, (d) eşleştirilmiş görüntüler

4.9. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde görüntü mozaikleme hakkında bilgi verilmiş ve tez kapsamında yararlanılan ölçekten bağımsız özellik dönüşümü yöntemi açıklanmıştır [68]. Temel olarak görüntülerin alınması, anahtar noktaların çıkarılması, özellik tespiti, özellik eşleştirme, hatalı eşleşmelerin elenmesi, homografi dönüşümü ve görüntülerin aynı düzlem üzerinde çakıştırılması adımlarını kapsayan yönteme ait bir görsel Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Görüntü mozaikleme adımları. (a) birleştirilecek görüntülerin alınması, (b) görüntüler üzerinde anahtar noktaların tespit edilmesi, (c) anahtar noktalara ait özelliklerin çıkarılması, (d) anahtar noktaların eşleştirilmesi, (e) hatalı eşleşmelerin elenmesi, (f) homografi dönüşümü, (g) mozaiklenmiş görüntü

Yöntem MATLAB ortamında test edilerek, adım adım test sonuçları bölüm 4.8’de verilmiştir. Yapılan testlerde görüntüdeki detayların az olması, meydana gelecek hatalı eşleşmelerin olumsuz etkilerini artırdığı gözlemlenmiştir. Özellikle ışık, renk ve netlik bakımından yeterli olmayan görüntülerde yöntemin tam verimli çalışmadığı tespit edilmiştir. Bölüm 5’te yer alan karşılaştırmalı sonuçlarda bu fark daha net gözlemlenmektedir.

5. DURGUN OLMAYAN BULANIK MANTIK TABANLI GÖRÜNTÜ MOZAİKLEME YAKLAŞIMI

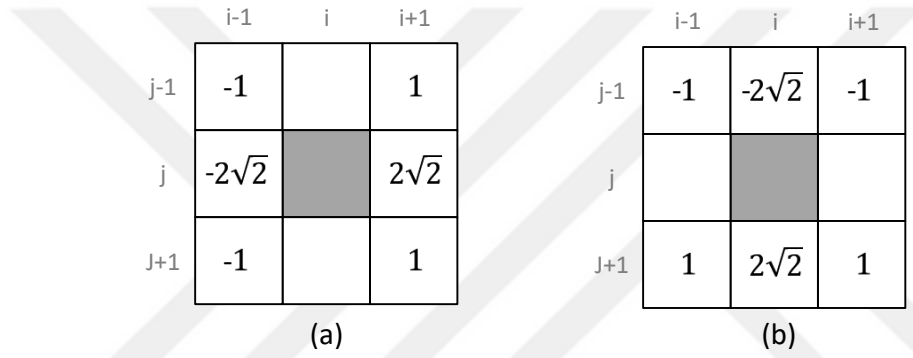
Görüntü mozaikleme işleminin temelini oluşturan kısım görüntülerin eşleştirilmesi aşamasıdır. Farklı açılardan alınan görüntülerin, farklı açılardan ışık almasından kaynaklı görüntüler arasında parlaklık farkları meydana gelebilmektedir. Ayrıca görüntülerden birinin daha yakından diğerinin daha uzaktan alınması, yakalanan nesnelerin boyutlarının farklı olmasına sebep olmaktadır. Bu tarz olumsuz etkilerin yanında kameranın eğimi de elde edilen görüntülerin dönmesine sebep olacaktır. Tüm bunlar iki görüntü arasındaki benzer nesne tespitinde problem oluşturmaktadır. Yukarıda sayılan dezavantajları ortadan kaldırmak adına boyuttan, ışıktan ve açıdan bağımsız olarak çıkarılan özellikler geliştirilmiştir [68]. Yani SIFT ile özellikleri elde edilmiş bir bölge, diğer görüntüde parlamış, dönmüş, küçülmüş veya büyümüş olarak karşımıza çıktığında yine benzer özellikler elde edilmektedir. Bu sayede iki görüntü arasındaki ortak bölgeler bu özelliklerin benzerliklerine göre tespit edilebilir hale gelmektedir.

SIFT yöntemine dayalı görüntü mozaikleme adımları bölüm 4'te açıklanmıştır. Bu yöntem çeşitli görüntü mozaikleme problemleri uygulanmıştır. Her ne kadar bu yöntem istenmeyen eşleşmeleri elemek adına bazı önlemler almış olsa da meydana gelen yanlış eşleşmeler çözümün kalitesine olumsuz etki etmektedir. Yanlış eşleşmeler homografi tahmininin doğruluğunu ve dolayısıyla da görüntü mozaiklemenin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu sebepten hatalı eşleşmelerin sayısının indirgenmesi mozaiklemenin kalitesini artıracaktır.

Hatalı eşleşmelerin sayısını indirmek adına Kumar ve arkadaşları SIFT yöntemine bulanık mantığı da katarak bulanık tanımlayıcıları ortaya atmıştır [78]. Bu çalışmaya göre, ölçekten bağımsız özellik çıkarım yönteminde yer alan geçişleri kümeleme işleminde klasik küme yerine bulanık küme kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışması bulanık mantığın yöntem üzerinde göstermiş olduğu başarıdan esinlenmiştir. Bu çalışmada görüntü özelliklerinin, özellikle gürültülü durumlarda daha doğru çıkarılması için durağan olmayan bulanık kümelerden yararlanılmıştır. Anahtar noktaların tespiti aşamasında Bölüm 4'te yer alan DOG yöntemi kullanılmış olduğundan tekrar açıklamaya gerek duyulmamıştır [79]. Bu bölümde tespit edilen bir anahtar noktaya ait özelliklerin çıkarılması üzerinde durulmuştur.

5.1. Anahtar Noktaların Yönelim Büyüklüklerinin Hesaplanması

Gerçekleştirilen yöntem özellik olarak piksel geçişlerini ve büyüklüklerini baz aldığından dolayı özellikleri çıkarılması gereken görüntünün öncelikle geçiş açısı ve büyüklüklerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu işlem için pikselin 3 komşuluğundaki yatay ve dikeydeki geçişlerin belirlenmesi gerekmektedir. 3x3 lük bir piksel komşuluğu göz önüne alındığında yakın piksellerin asıl noktanın özelliğine daha fazla etki etmesi beklenmektedir. Bunun için yatay ve dikey geçişlerin büyüklüklerinin hesaplanması için kullanılan ağırlıklar Şekil 5.1 ile verilmiştir. Şekil 5.1’de gri boyalı alanlar asıl pikseli ifade etmektedir.



Şekil 5.1. Geçiş hesabı için kullanılan ağırlıklar. (a) yatay geçiş hesabı için ağırlıklar, (b) dikey geçiş hesabı için ağırlıklar

I görüntü matrisi olmak üzere bu ağırlıklardan yararlanarak yatay geçiş büyüklüğü formül 5.1.a'daki gibi, dikey geçiş büyüklüğü ise formül 5.1.b'deki gibi hesaplanır.

$$m_x(i, j) = -I(i-1, j-1) + I(i+1, j-1) - 2\sqrt{2}I(i-1, j) + 2\sqrt{2}I(i+1, j) - I(i-1, j+1) + I(i+1, j+1) \quad (5.1.a)$$

$$m_y(i, j) = -I(i-1, j-1) - 2\sqrt{2}I(i, j-1) - I(i+1, j-1) + I(i-1, j+1) + 2\sqrt{2}I(i, j+1) + I(i+1, j+1) \quad (5.1.b)$$

5.2. Anahtar noktaların yönelim açılarının hesaplanması

Bir vektörün açısını X ve Y eksenindeki büyüklüklerinin oranı belirler. Tanjant işlemi ile açısı verilen bir eğrinin eğimi bulunurken bunun tersi olan ters tanjant işlemi ile ise eğimi

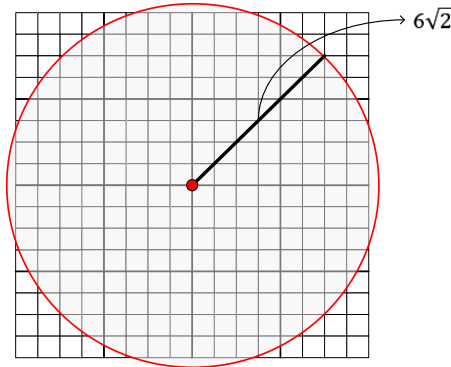
verilen bir doğrunun açısı hesaplanabilir. Dolayısıyla X ve Y büyüklüğü belli olan bir vektörün açısı hesaplanırken ters tanjant işleminden yararlanılır.

Denklem 5.1.a ve 5.1.b’de yatay ve dikey geçiş büyüklüklerinin hesaplanması verilmiştir. Bu büyüklüklerden yararlanarak geçiş açısı Denklem 5.2 ile tespit edilir. Yatay ve dikey büyüklüklerin 0’a eşit olması o noktaya etki eden vektörel bir kuvvetin olmadığını temsil ettiğinden eğim açısı 0 olarak alınır.

$$\theta(i, j) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{m_y(i, j)}{m_x(i, j)}\right), & m_x(i, j) > 0 \\ \arctan\left(\frac{m_y(i, j)}{m_x(i, j)}\right) + \pi, & m_x(i, j) < 0, \quad m_y(i, j) \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{m_y(i, j)}{m_x(i, j)}\right) - \pi, & m_x(i, j) < 0, \quad m_y(i, j) < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & m_x(i, j) = 0, \quad m_y(i, j) > 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & m_x(i, j) = 0, \quad m_y(i, j) < 0 \\ 0, & m_x(i, j) = 0, \quad m_y(i, j) = 0 \end{cases} \quad (5.2)$$

5.3. Durağan Olmayan Bulanık Tabanlı Tanımlayıcıların Hesaplanması

Tespit edilen aday anahtar noktaların geçiş büyüklük ve açılarının hesaplanmasının ardından sıra anahtar noktanın yöneliminin hesaplanmasına gelir. n indisine ait bir anahtar noktanın tespit edildiği boyuta bağlı olarak ölçeğinin $s(n)$ olduğunu varsayalım. Şekil 5.2’de gösterildiği gibi bu anahtar nokta merkezleri etrafında $6\sqrt{2}s(n)$ yarıçapında bir dairesel alan seçilir. Seçilen alanın gauss filtresi yardımı ile ağırlıklı büyüklükleri hesaplanır.

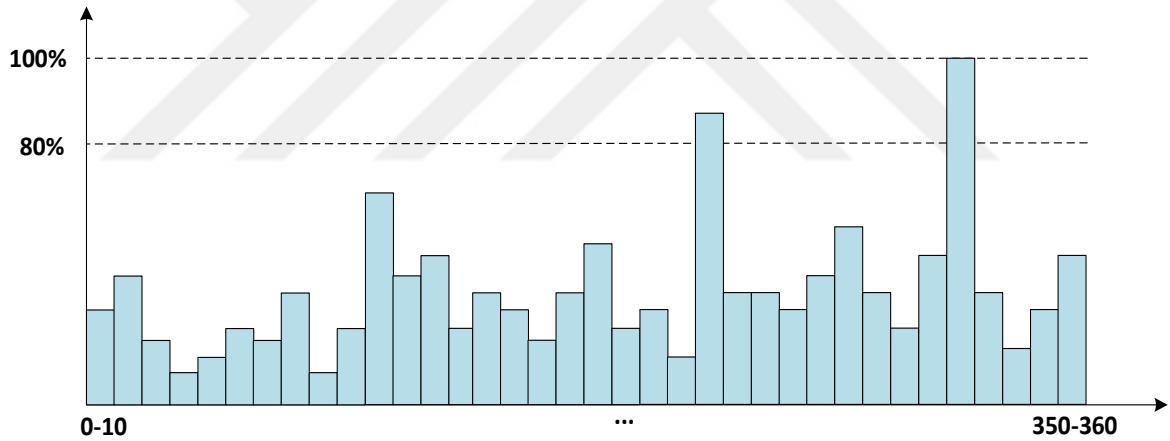


Şekil 5.2. Anahtar noktanın etrafındaki geçişler

Bu anahtar noktanın merkez koordinatları $x'(n)$ ve $y'(n)$ olsun. Bu durumda n noktasının Şekil 5.2’de gösterilen sınır dahilinde kalıp kalmadığını ifade eden M_n ’i bulmak için Denklem 5.3’teki formül kullanılır.

$$M_n = \begin{cases} 1, & \sqrt{(x - x'(n))^2 + (y - y'(n))^2} < 6\sqrt{2}s(n) \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (5.3)$$

Seçilen bölgedeki geçiş vektörleri açılarına göre 10’luk değerlere yuvarlanmış 36 kümeye ayrılır. Ardından aynı kümeye ait büyüklükler toplanarak 36 bölmeli histogram elde edilir. Örnek bir histogram grafiği Şekil 5.3’te verilmiştir. İlgili anahtar noktanın yönelimi elde edilen histogramın en yüksek değerine sahip açı ve bu değer 80%’inden büyük değerlere sahip olan açı veya açılar olarak belirlenir. Yani bir anahtar noktanın birden fazla yönelim açısı olabilir ve anahtar noktalar ile işlem yaparken bu açılar her biri göz önünde bulundurulur.



Şekil 5.3. 36 bölmeli histogram grafiği

Özellik çıkarımı için yönelimi belirlenen anahtar noktanın etrafındaki dairesel alan içerisinde $1.5\sqrt{2}s(n)$ yarıçapında 4×4 alt alan seçilir. Bu alanların merkezlerinin belirlenmesinde daha önceden hesaplanmış olan anahtar noktanın yönelim açısı kullanılır. Yönelim açısı α olan bir anahtar nokta için alt alanların merkezleri Denklem 5.4’teki gibi bulunur. Böylelikle toplamda 16 alt bölge elde edilmiş olunur.

$$\begin{aligned} x_n^i &= x'(n) + 3s(n) * [C_x(i) * \cos(\alpha) - C_y(i) * \sin(\alpha)] \\ y_n^i &= y'(n) + 3s(n) * [C_x(i) * \sin(\alpha) + C_y(i) * \cos(\alpha)] \end{aligned} \quad (5.4)$$

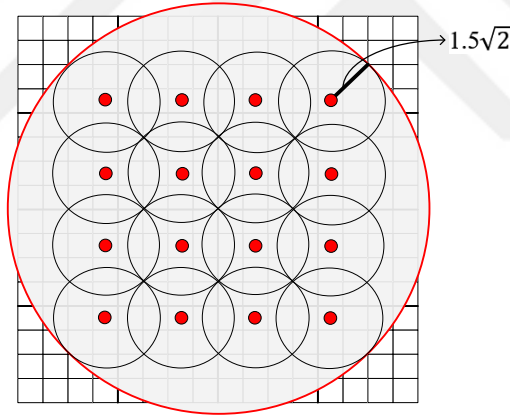
Denklem 5.4'teki C_x ve C_y sırayla Denklem 5.5'te verilen değerleri almaktadır.

$$(C_x, C_y) = \{(-1.5, -1.5), (-0.5, -1.5), (0.5, -1.5), (1.5, -1.5), \\ (-1.5, -0.5), (-0.5, -0.5), (0.5, -0.5), (1.5, -0.5), \\ (-1.5, 0.5), (-0.5, 0.5), (0.5, 0.5), (1.5, 0.5), \\ (-1.5, 1.5), (-0.5, 1.5), (0.5, 1.5), (1.5, 1.5)\}; \quad (5.5)$$

Merkezleri bulunan noktalar $1.5\sqrt{2}s(n)$ yarıçapına sahip olacağından, bir noktanın bu alan içerisinde kalıp kalmadığını ifade eden formül Denklem 5.6'da verildiği gibi olur.

$$M_n^i = \begin{cases} 1, & \sqrt{(x - x_n^i)^2 + (y - y_n^i)^2} < 1.5\sqrt{2}s(n) \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (5.6)$$

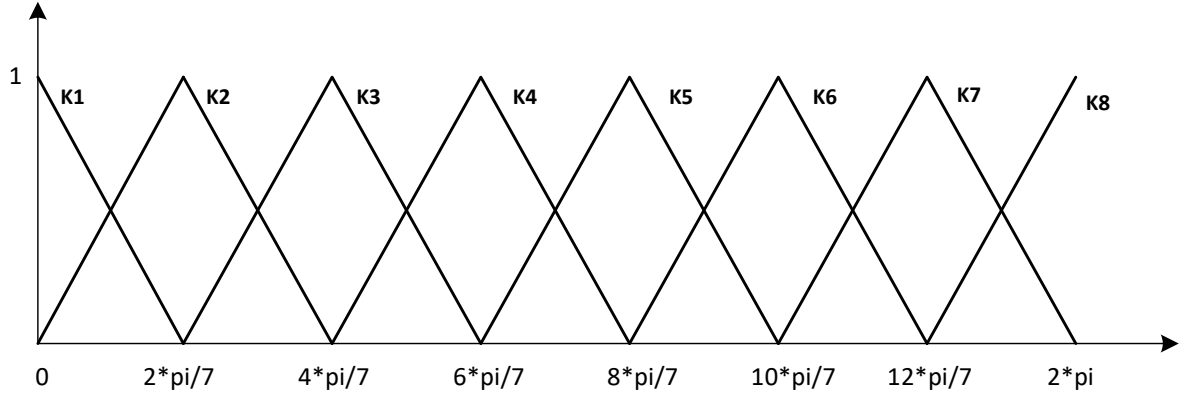
36 bölmeli histograma göre yönelim açısı 0 hesaplanan bir anahtar nokta için toplamda elde edilecek 16 alt bölge Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Özellik çıkarımı için alt alanların elde edilmesi

Alt alanlarda yer alan geçişler için 45 derecelik aralıklarla 8 bölmeli histogram grafikleri hesaplanır. SIFT yönteminde, anahtar noktanın yöneliminin hesaplanmasında klasik kümeleme kullanılırken, durağan olmayan bulanık mantık tabanlı özellik çıkarımında durağan olmayan bulanık kümeler kullanılmaktadır. Bulanık kümeleme için bulanık üyelik fonksiyonlarının tanımlanması gerekir. Şekil 5.5'teki üyelik fonksiyonlarının sınırlarının artış miktarları 5.7'deki gibi belirlenir.

$$p = \frac{\max - \min}{\text{bölme sayısı}} = \frac{2 * \pi - 0}{7} \quad (5.7)$$

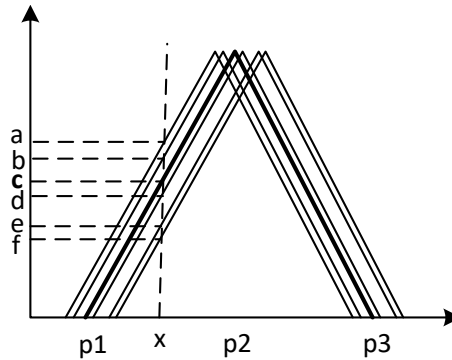


Şekil 5.5. Bulanık kümeleme için kullanılacak üyelik fonksiyonları

Şekil 5.5’de verilen üyelik fonksiyonlarını matematiksel olarak ifade edecek olursak, $p=2*\pi/7$ ve t küme olmak üzere bunlara ait üyelik denklemleri 5.8’de verildiği gibi olur.

$$\mu(t) = \begin{cases} \max\left(0, \min\left(1, \frac{p-x}{p}\right)\right) & , \quad t = 1 \\ \max\left(0, \min\left(\frac{x-(t-1)p}{p}, \frac{tp-x}{p}\right)\right) & , \quad t = 2,3,4,5,6,7 \\ \max\left(0, \min\left(\frac{x-6p}{p}, 1\right)\right) & , \quad t = 8 \end{cases} \quad (5.8)$$

Bulanık mantığa göre ifade edilen üyelik fonksiyonları rastgele olarak merkezin etrafındaki $\pm\pi/36$ ’lık alanda 5 kez üretilerek durağan olmayan küme karşılıkları elde edilir. Elde edilen kümelere olan üyelikler asıl üyelik fonksiyonunu 0.3, rastgele üretilenler 0.14 katsayısı ile çarpılıp toplanır. Buradaki katsayılar ortamdan gelen veriye olan güvene göre ayarlanabilirler. Bu sayede ağırlıklı ortalamaları bulunmuş olunur. Bu işlem için bir örnek Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Örnek durağan olmayan bulanık küme elde edilmesi

5.4. Anahtar Noktaların Eşleştirilmesi

Özellikleri hesaplanan görüntüler üzerindeki bölgeler, ilgili bölgeleri temsil eden özellik vektörlerinin birbirlerine olan benzerliklerine göre eşleştirilirler. İki vektörün birbirine olan benzerliği Öklid benzerliği, kosinüs benzerliği gibi farklı yöntemler ile hesaplanabilir. Denklem 5.9’da v_1 ve v_2 vektörleri arasındaki uzaklığı ölçmek için bu özellik vektörlerinin farklarının kareleri toplamı alınmıştır.

$$d = \sum (v_1 - v_2)^2 \quad (5.9)$$

Uygun eşleşmenin bulunabilmesi için referans görüntüdeki bir anahtar nokta için hedef görüntüdeki tüm anahtar noktalar arasındaki mesafe hesaplanır. Bu noktalar aralarındaki uzaklığa göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Aralarında uzaklığı en az olan noktalar birbirine en benzeyen noktalardır. Ancak hedef görüntüde referans görüntüdeki noktaya benzeyen birden fazla anahtar nokta bulunabilir. Birbirine benzeyen birden fazla nokta olduğunda hatalı eşleşme olasılığı da artmaktadır. Bu durumu önlemek için iki noktayı eşleşmiş saymadan önce en yakın ikinci komşuluk uzaklığı kontrolü yapılır. İkinci en yakın komşuluk kontrolü; en yakın uzaklığının, ikinci en yakın noktanın uzaklığından belirli bir oranda daha küçük olmasını garanti eder. İkinci en yakın kontrolü 5.10 ile verilmiş olup, bu çalışmada kullanılan uzaklık oranı parametresi 0.6 olarak seçilmiştir.

$$\frac{enYakınUzaklık}{enYakınİkinciUzaklık} < uzaklıkOranı \quad (5.10)$$

5.5. Karşılaştırmalı Uygulama Sonuçları

Geliştirilen yöntemin adım adım çalışma sonuçlarını gösteren bir örnek tablo adımlarını içeren bir örnek Şekil 5.8’de verilmiştir. 5.8’de a ve b giriş görüntüleri olup, fark edileceği üzere farklı aydınlatmaya maruz kalmışlardır. Anahtar noktaları tespit edilen görüntüler hem klasik ölçekten bağımsız özellik çıkarımından elde edilen özellikler ile hem de geliştirilen yöntemden elde edilen özellikler ile eşleştirilmiştir. Hedef görüntüde 1569, referans görüntüde 1083 anahtar nokta bulunmakta olup geliştirilen yöntem ile 355 eşleşme, klasik yöntem ile 401 eşleşme elde edilmiştir. 5.8.g ve 5.8.h incelendiğinde geliştirilen yöntem ile

elde edilen eşleştirmelerin daha doğru olduğu görülmektedir. Mozaiklenen görüntü üzerinde gözle görülür bir fark olmadığından tek bir mozaiklenmiş görüntü sonucu konulmuştur.



(a)



(b)



(c)



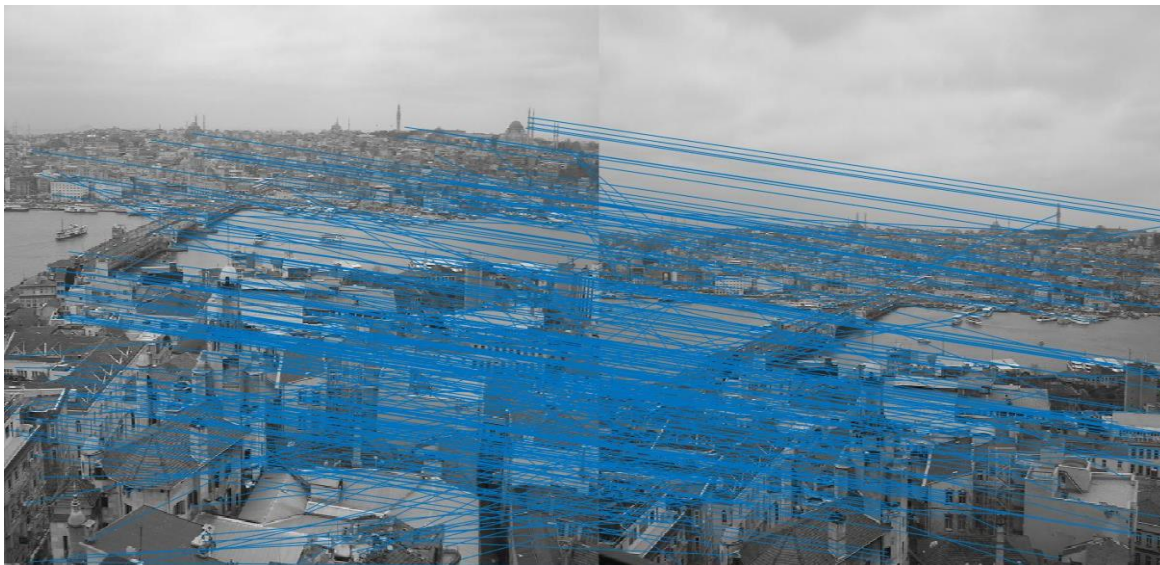
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(1)

Şekil 5.8. Geliştirilen yöntemin adım adım gösterimi ve ölçekten bağımsız yöntem ile kıyaslanması. (a) hedef görüntü, (b) referans görüntü, (c,d) gauss farkı yöntemi, (e,f) tespit edilen aday anahtar noktalar, (g) geliştirilen yöntem ile elde edilen eşleşmeler, (h) klasik yöntem ile elde edilen eşleşmeler, (i) mozaiklenmiş görüntü

Şekil 5.8'e bakıldığında çıkarılan özelliklerden öncesi SIFT yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Bu sebeple bundan sonra yapılacak karşılaştırmalarda sadece eşleştirilmiş görüntüler ve mozaiklenmiş görüntüye yer verilecektir.

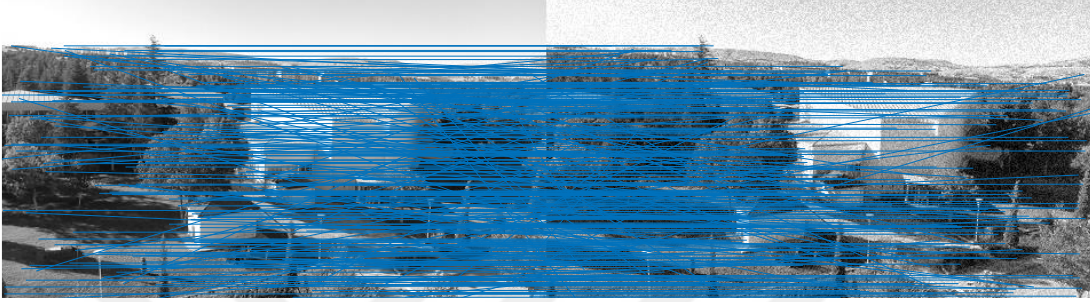
Geliştirilen yöntem belirsizlikleri ele almasıyla ünlü olan durağan olmayan bulanık mantık kullanmaktadır. Bu sebepten geliştirilen yöntemin özellikle bozuk görüntülerde daha iyi sonuçlar vereceği öngörüldüğünden, gürültülü görüntülerde eşleştirme işleminin başarımlı test edilecektir. Bu işlem bir görüntüye çeşitli miktarda gürültüler eklenerek orijinal hali aralarındaki benzerliklerin aranması ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.9.a'da verilen görüntüye sırası ile ± 5 , ± 10 , ± 20 ve ± 25 gri seviye piksel gürültüsü eklenerek testler gerçekleştirilmiştir. Eklenen gürültüler sonucu eşleştirmeler Şekil 5.9'da verilmiş olup, eşleşen nokta sayıları Tablo 5.2'de verilmiştir.



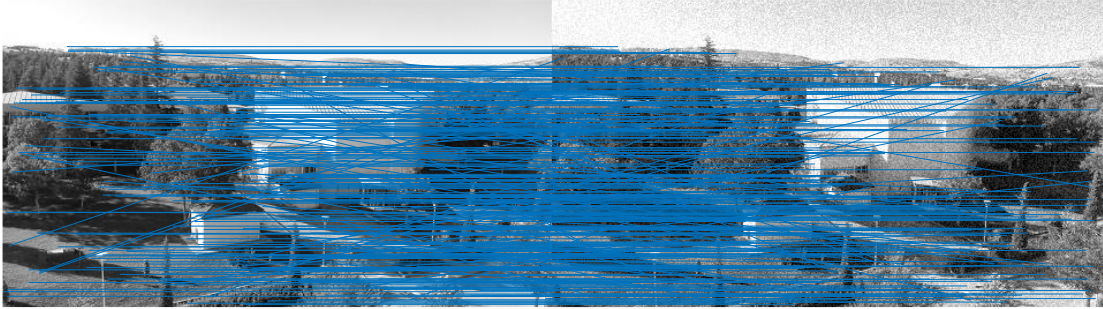
(a) orijinal görüntü



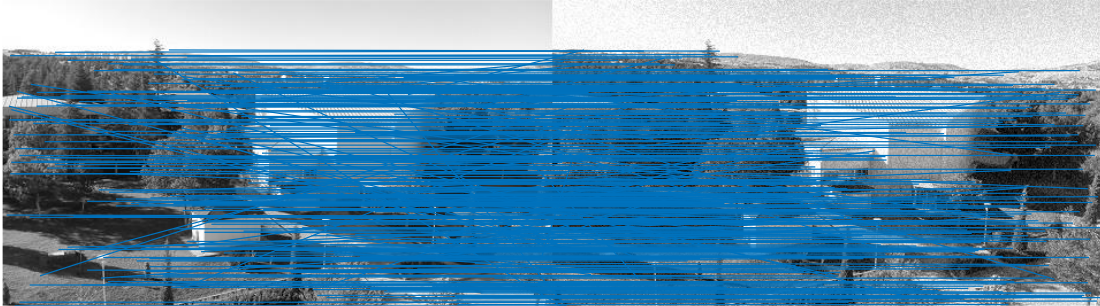
(b) ± 25 gürültü eklenmiş görüntü



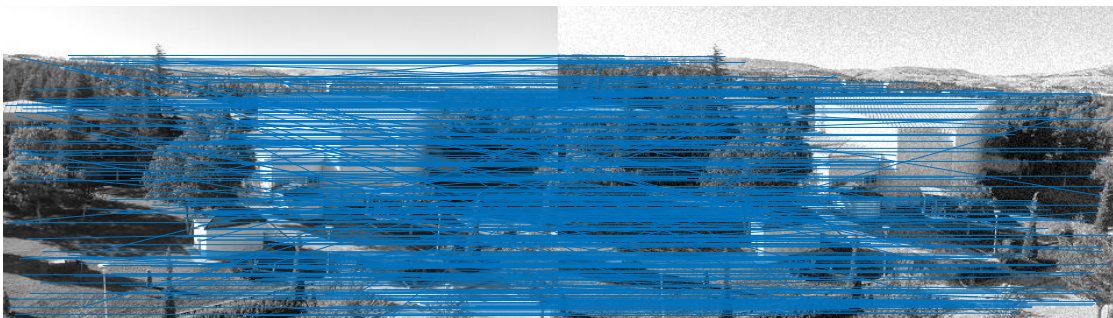
(c) ± 25 gürültü ortamda geliştirilen yöntem



(d) ± 25 gürültülü ortamda klasik yöntem



(e) ± 20 gürültülü ortamda geliştirilen yöntem



(f) ± 20 gürültü ortamda klasik yöntem performansları

Şekil 5.9. Geliştirilen yöntem ile klasik yöntemin gürültülü ortamlarda testi.

Tablo 5.2. Gürültülü ortamda yöntemlerin kıyaslanması için gerçekleştirilen testler

Gürültü	Birincideki Anahtar Nokta	İkincideki Anahtar Nokta	Eşleşme Sayısı		Gürültü oranı
			Geliştirilen Yöntem	Klasik Yöntem	
0	907	907	892	892	0
± 5	907	909	703	695	± 2%
± 10	907	932	572	573	± 4%
± 20	907	992	387	377	± 8%
± 25	907	962	343	313	± 10%

Eşleşme çizgilerinin paralelliğine aykırı çizgilerin yer alması yanlış eşleşmelerin olduğunu göstermektedir. Gürültünün azalması ile elde edilen eşleşmeler arttığından şekil üzerinde net olarak gözlemlenememektedir. Bu sebepten düşük gürültülü örnekler için resim eklenmemiştir. Gürültünün 0 olduğu durumda ise iki yöntemde aynı eşleşme sayısını tam doğrulukla vermektedir. Hiç gürültünün olmadığı durumda 907 anahtar nokta varken 892 eşleşme elde edilmesi en yakın ikincil komşuluk kontrolünden kaynaklanmaktadır. Tablo 5.2’deki değerler geliştirilen yöntemin klasik yöntemle göre çoğu durumda daha çok eşleşme tespit ettiğini; Şekil 5.9’deki çizgiler ise geliştirilen yöntemde elde edilen eşleşmelerin daha tutarlı olduğunu göstermektedir.

Yöntemin gerçekten bozulmuş görüntüler üzerinde performanslarını doğrulamak için bir test daha gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testte giriş görüntüleri olarak öncelikle kayma olmadan normal çekilmiş görüntü, ardından benzer açılardan alınmış ve kayma sebebiyle bulanıklık içeren görüntü kullanılmıştır. Normal ve kaymış giriş görüntüleri Şekil 5.10.a ve 5.10.d’de verilmiştir. Bu görüntüler sırası ile 5.10.b ve 5.10.c’de verilen aynı görüntü ile eşleştirilmiştir. Birinci durum için referans görüntüde 2178, hedef görüntüde 2032 anahtar nokta tespit edilmiş ve hem klasik hem de geliştirilen yöntem ile 5.10.e’den de görülebileceği üzere her iki yöntemde de bunlardan yaklaşık 210 tanesi doğru bir şekilde eşleştirilmiştir. İkinci durumda ise referansta 1810, hedefte yine 2032 anahtar nokta tespit edilmiştir. Ancak bu seferki eşleşme sayısı klasik yöntem için 43 ile sınırlı kalırken, önerilen yöntem ile 57 adet doğru eşleşme sağlanmıştır. Bu eşleşmeler 5.10.f’de gösterilmiştir.



(a) Düzgün referans görüntü



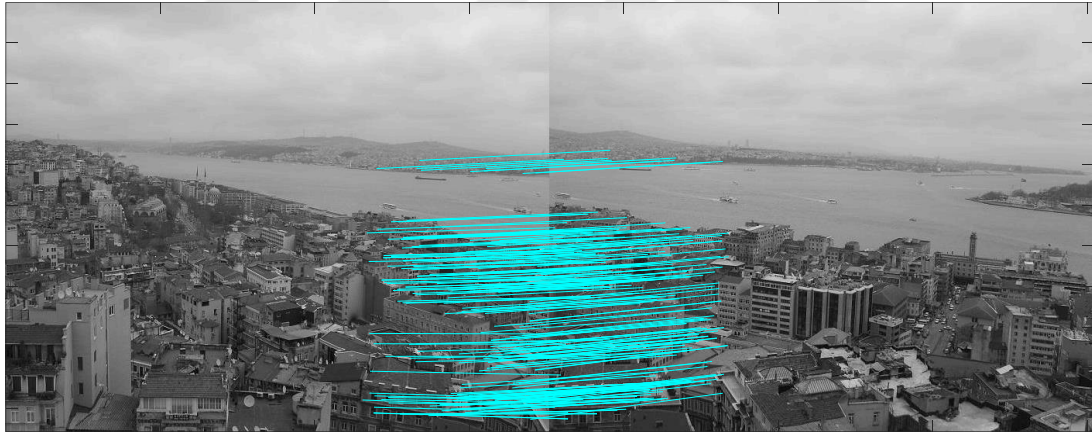
(b) Hedef görüntü



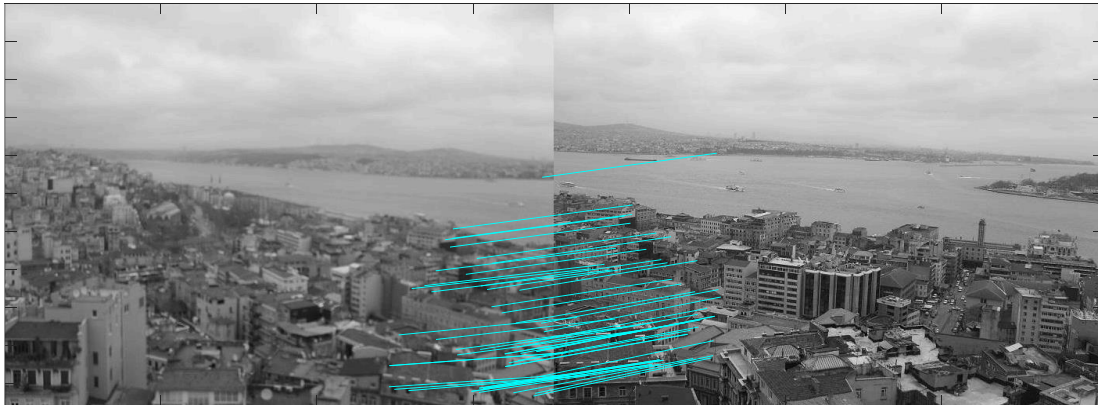
(c) Kaymış referans görüntü



(d) Hedef görüntü



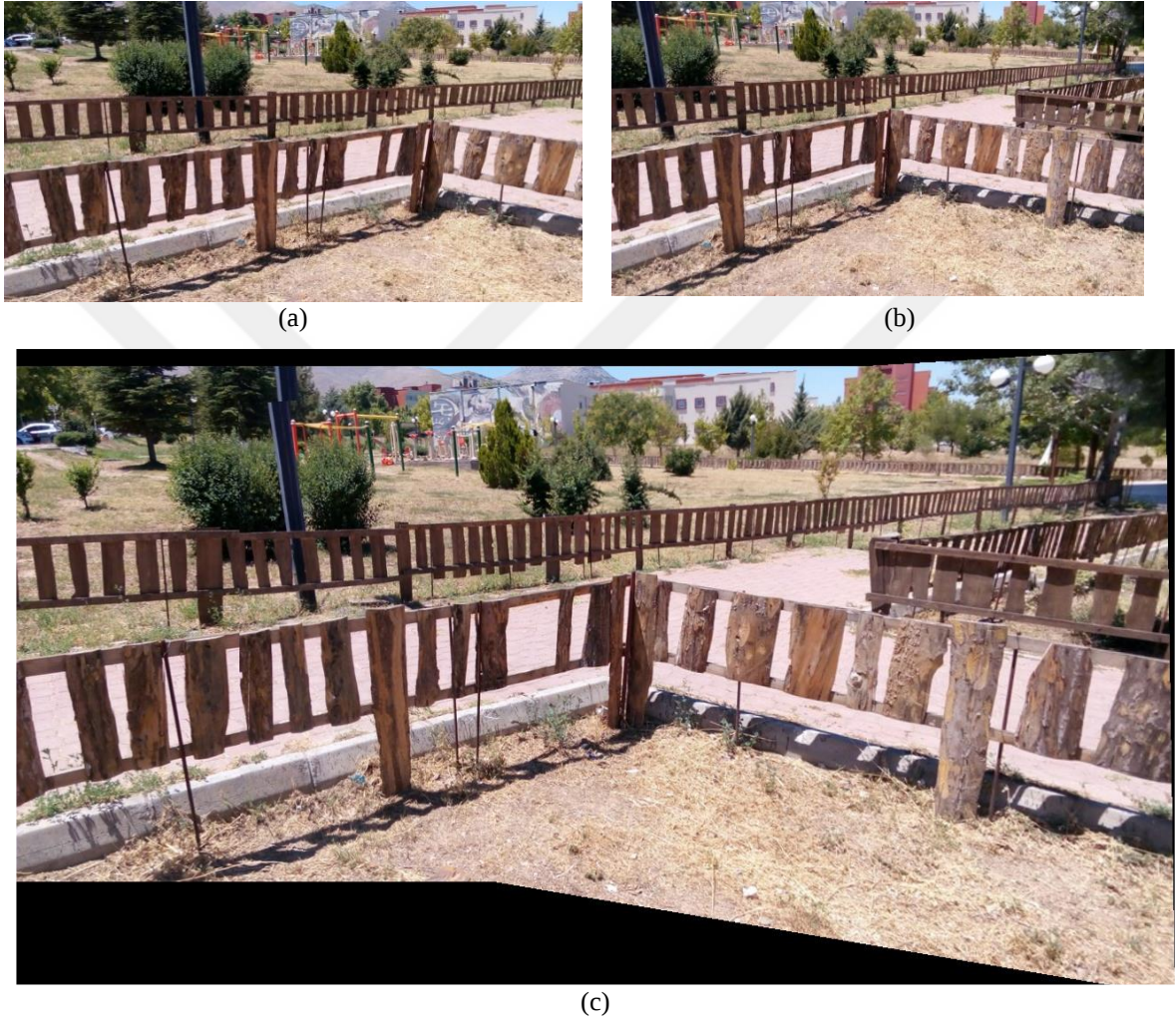
(e) Düzgün görüntünün eşleştirilmesi



(f) Kaymış görüntünün eşleştirilmesi

Şekil 5.10. Bozulmuş görüntü üzerinde sistemin test edilmesi

Gerçekleştirilen testler geliştirilen yöntemin özellikle bozuk görüntüler üzerinde daha fazla doğru eşleşme sağladığını göstermektedir. Doğru eşleşmeler homografi tahminin doğruluğunu artıracığından daha kaliteli mozaikleme sonuçları elde edilmektedir. Geliştirilen yöntem ile gerçekleştirilen mozaikleme örnekleri Şekil 5.11, 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Geliştirilen yöntem ile mozaikleme örneği 1. (a,b) Giriş görüntüleri, (c) mozaiklenmiş görüntü



Şekil 5.12. Geliştirilen yöntem ile mozaikleme örneği 2. (a,b) Giriş görüntüleri, (c) mozaiklenmiş görüntü

5.6. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde ölçekten bağımsız görüntü mozaikleme yöntemi bulanık mantığın sağlamış olduğu avantajlar ile birleştirilerek yeni bir mozaikleme yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ölçekten bağımsız mozaikleme yöntemi gibi ışık, boyut veya perspektif açısı değişimlerinden fazla etkilenmemektedir. Ölçekten bağımsız mozaikleme yönteminde yer

alan klasik küme mantığının sebebiyet verdiği dezavantaj bu çalışmada durağan olmayan bulanık mantık kullanılarak ortadan kaldırılmıştır.

Çeşitli sebeplerden dolayı alınan görüntünün piksellerinde bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu bozulmalar piksel değerlerinin olması gerektiğinden farklı olmasına sebep olur. Bu tarz belirsizlik durumlarında tip-1 bulanık sistemler yetersiz kaldığından çok verimli olmamaktadır. Tip-2 bulanık sistemlerin belirsizlik durumlarını daha iyi ele aldığı göz önüne alındığında daha doğru bir seçim olacaktır. Ancak bu sistemlerde de giriş değerlerinden tek bir çıkış değerinin elde edilmesi oldukça zahmet gerektiren bir iştir. Bu sebepten geliştirilen yöntemde tip-1 bulanık kümeler ile tip-2 bulanık kümelerin modellendiği durağan olmayan bulanık kümelerden faydalanılmıştır. Yapılan karşılaştırmalı sonuçlar yöntemin özellikle gürültü içeren problemlerde daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

6. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN BELİRSİZLİK İÇEREN SİBER FİZİKSEL SİSTEMLERDE UYGULANMASI

SFS'ler büyük çaplı uygulamalar olduğundan genellikle geniş alana yayılmaktadır [80]. Gerek kapsadıkları alanın genişliği, gerek kapalı ortamda gerçekleştirilen SFS uygulamaları dolayısıyla sistemin tek bir kamera ile görüntülenmesi mümkün olmamakta veya tek kamera ile alınan görüntülerde detaylar kaybolmaktadır. Bu sebepten görüntü mozaikleme işlemi bir SFS'nin izlenmesi için gerekliliktir. Bir önceki bölümde geliştirilmiş olan görüntü mozaikleme yöntemi bu bölümde örnek bir SFS üzerinde denenmiştir. Örnek SFS uygulaması için endüstriyel ortam seçilmiştir ve bu ortamı gerçekleştirmek için robot kollar, geliştirme kartları, haberleşme kitleri, kameralar ve bilgisayar kullanılmıştır.

6.1. Örnek SFS Ortamının Kurulması

Tez çalışmasının bir kısmını da örnek bir SFS ortamının modellenmesi oluşturulmaktadır. Endüstriyel üretim ortamını taklit eden küçük sistem için Arduino Braccio robot kolu, Arduino geliştirme kartı, Arduino Wi-Fi Adaptörü, kamera ve bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Braccio robot kol

6 eksene sahip Braccio robot kol bir Braccio adaptörü tarafından kontrol edilmektedir. Demonte olarak gelen robot kol parçaları birleştirilerek Şekil 6.1’de görülen cihaz oluşturulmuştur. Braccio adaptörü komuta etmek için Arduino geliştirme kartları kullanılmıştır. Bu kartlar üzerinde algoritmik bir işlem uygulanmayıp, sadece ana bilgisayardan gelen komutları Braccio’ya yaptırtmak için kullanılırlar. Çalışmada Şekil 6.2’de verilen Arduino AT Mega 2560 geliştirme kartı kullanılmıştır.



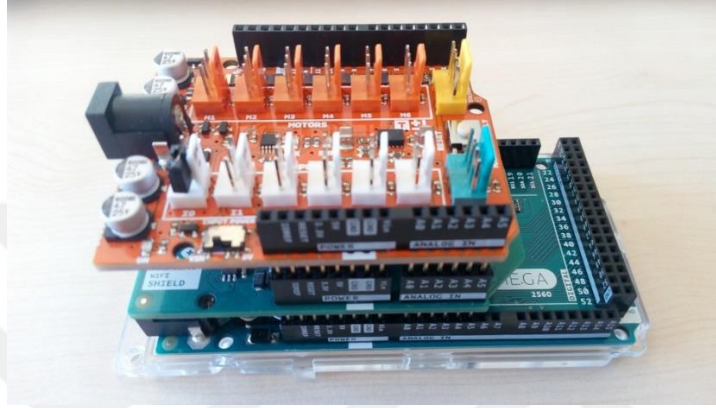
Şekil 6.2. Arduino AT Mega 2560 geliştirme kartı

Bu kartın uzaktaki bilgisayar ile kablosuz olarak haberleşmesi için yine Arduino firması tarafından geliştirilen Arduino Wi-Fi adaptörü gerekmektedir. Bu kart siber katman ile fiziksel katman arasındaki haberleşmeyi sağlayan temel bileşendir. Siber katman olarak değerlendirdiğimiz kişisel bilgisayardan gelen komutları Arduino Mega’ya iletmekte ve Arduino Mega’ya bağlanacak olası sensörlerden gelen verileri siber katmana iletmek ile yükümlüdür. Modüler olarak Arduino’ya bağlantısı gerçekleştirilebilen Wi-Fi adaptörü Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Arduino Wi-Fi adaptörü

Modüler yapıdaki bu bileşenler Braccio adaptörü de eklenerek birleştirilmiştir. Bileşenlerin entegre edilmiş hali Şekil 6.4 ile verilmiştir. Braccio adaptörü aracılığıyla robot kol ve Arduino arasındaki bağlantılar gerçekleştirildikten sonra, robot kollar dizüstü bilgisayar tarafından gönderilen komutlar doğrultusunda hareket ettirilmiştir. Kabaca uygulamanın fiziksel katmanında Arduino, Braccio Adaptör, Braccio ve kamera; iletişim katmanında Wi-Fi adaptörü; siber katmanında ise dizüstü bilgisayar yer almaktadır.

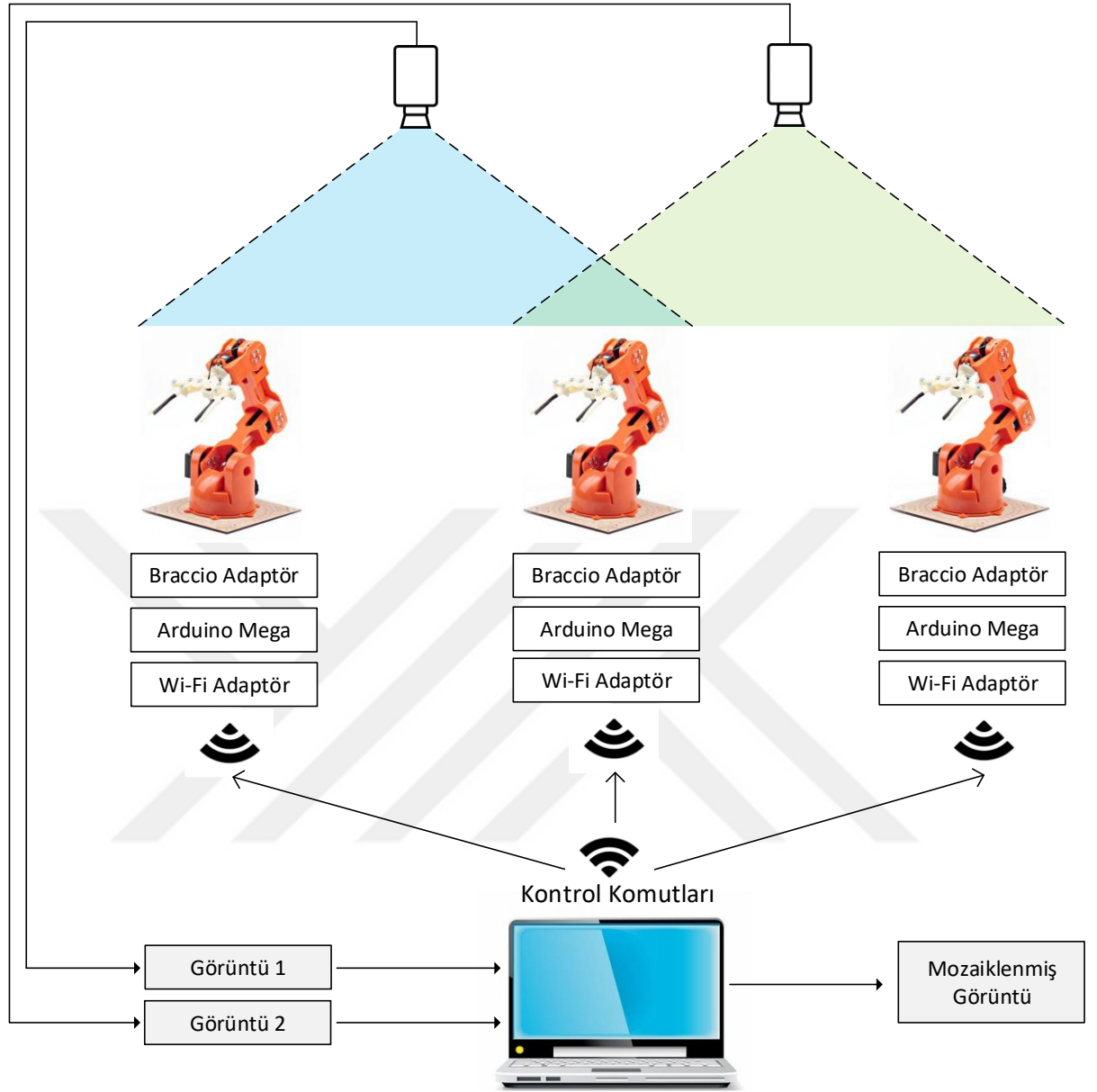


Şekil 6.4. Modüler adaptörlerin Arduino ile birleştirilmiş hali

Braccio kolun çalışmaya hazır şekilde bağlantılarının gerçekleştirilmiş hali Şekil 6.5'te verilmiştir. Kurulan sistemin genel yapısı Şekil 6.6'da verilmiştir. Burada sistemi görüntülemek için 2 farklı konumdan alınan kamera görüntülerinin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca siber katman olarak kişisel bilgisayarın kullanıldığı yine bu resimden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.5. Braccio kolun çalışır vaziyete gelmesi



Şekil 6.6. Siber fiziksel sistemlerde durum izleme için kurulan örnek deney ortamı

Şekil 6.6’da gerçekleştirilen sistemde örnek bir davranış sergilenmesi istenmiş ve fiziksel bileşenler siber katmandan gelen komutlar doğrultusunda başarıyla işletilmiştir. Ardından elde edilen görüntüler yine kontrol komutlarının gönderildiği bilgisayara iletilerek alınan görüntüler üzerinde mozaikleme işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak mozaiklenmiş görüntü elde edilmiş ve bu görüntüyü kullanarak geliştirilecek uygulamaların önü açılmıştır.

6.2. Sistemden Elde Edilen Görüntülerin Birleştirilmesi

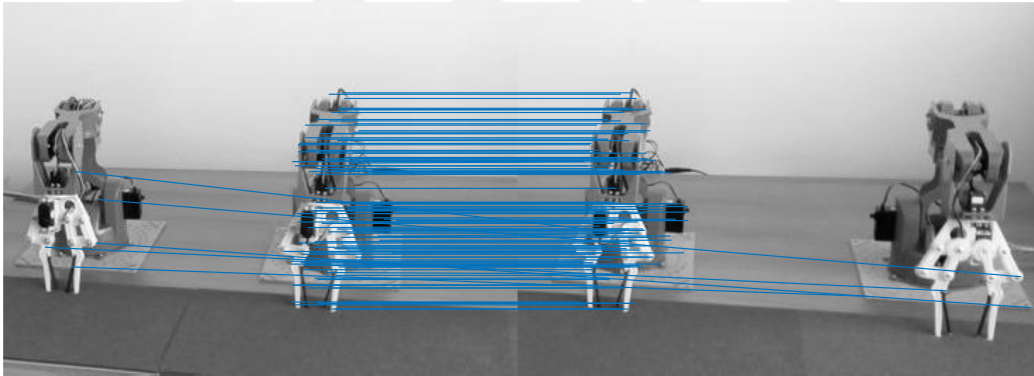
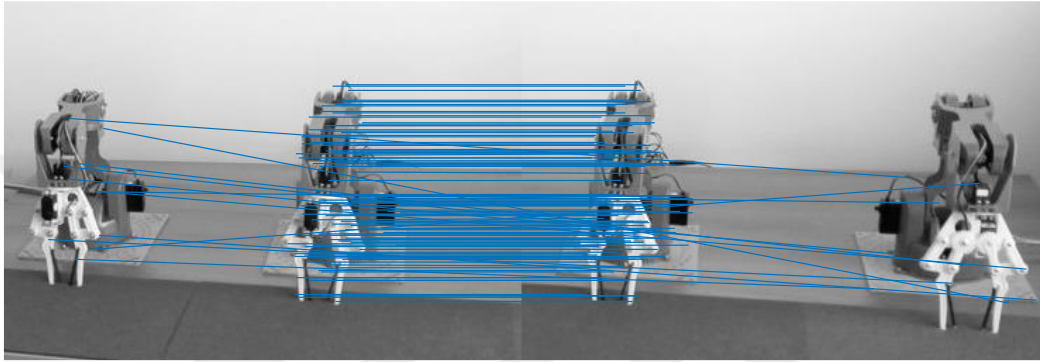
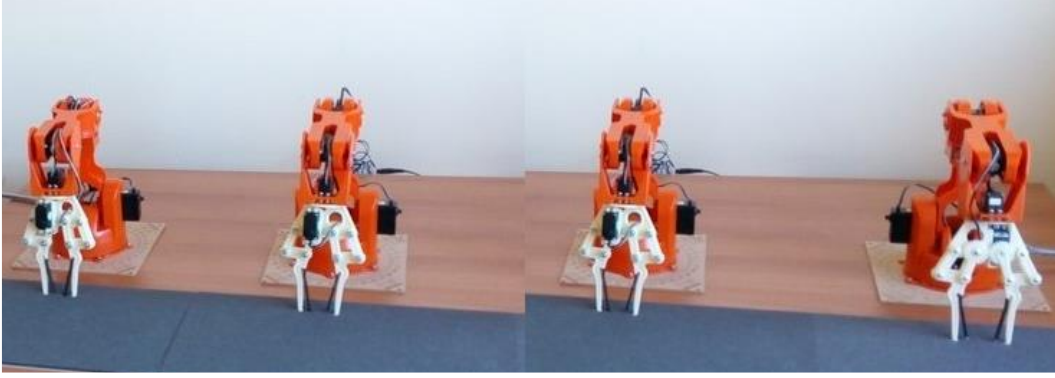
SFS kurulumu gerçekleştirildikten sonra elde edilen görüntüler geliştirilen yöntem aracılığıyla mozaikleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kameralardan alınan anlık görüntüler üzerinde uygulanan işlemler için giriş ve çıkış görüntüleri Şekil 6.7.a ve 6.7.b’de verilmiştir. Birinci görüntüde 267, ikinci görüntüde 270 anahtar nokta tespit edilirken, geliştirilen yöntem ile 128, klasik yöntem ile 131 eşleştirme elde edilmiştir. Ancak Şekil 6.7.c ve Şekil 6.7.d kıyaslandığında geliştirilen yöntem ile hatalı eşleşmelerin önüne geçildiği görülmektedir.

Şekil 6.7’deki mozaikleme probleminde iki yöntem arasında gözle görülür bir fark bulunmamaktadır. Oysa farklı eşleşmeler sonucunda elde edilecek homografi matrisleri de farklı olacağından iki durumda da birebir sonucu elde etmek pek olası değildir. Bu sebepten daha hassas değerlendirmelerde bulunmak adına mozaikleme kalitesini ölçmek için farklı yöntemlere ihtiyaç vardır. Çakışan nokta sayısı güveni (G), çakışan noktalar arasındaki farkların mutlak değerce toplamalarının çakışan nokta sayısına bölünmesi ise hatayı (E) vermek üzere mozaikleme başarımını hesaplama için kullanılan formüller Denklem 6.1’de verilmiştir. Burada I_1 ve I_2 dönüşümleri yapılmış ve aynı düzlemde gösterilmeye hazır gri seviye görüntüleri, I_M ise mozaiklenmiş görüntüyü temsil etmektedir.

$$M(i, j) = \begin{cases} 1 & , I_1(i, j) > 0 \text{ ve } I_2(i, j) > 0 \\ 0 & , \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (6.1.a)$$

$$G = \sum_{i, j \in I_M} M(i, j) \quad (6.1.b)$$

$$E = \frac{M(i, j) \cdot |I_1(i, j) - I_2(i, j)|}{G} \quad (6.1.c)$$



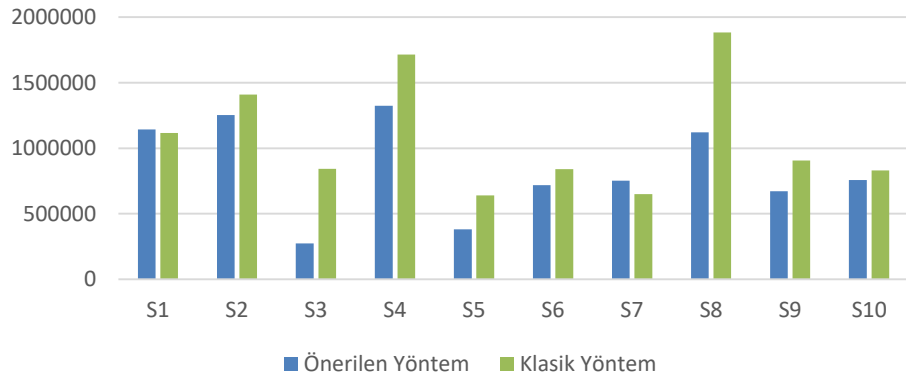
Şekil 6.7. Sistemin çalışma anından elde edilen görüntülerin birleştirilmesi

Hata değeri az çıkan mozaikleme bize mozaikleme işleminin daha başarılı olduğunu gösterirken, aynı probleme ait mozaiklenmiş görüntülerde güven değerlerinden birbirinden çok farklı olması mozaiklenmiş görüntülerden en az birinin çok yanlış gerçekleştiğini gösterir. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan robot kolların benzerliği dikkat çekmektedir. Özellikle daha uzaktan çekilen görüntülerde detaylar kaybolduğundan birbirine daha benzer görüntüler elde edileceğinden hatalı eşleşmeler artmaktadır. Bu durumu önlemek için kameraların yerleşimleri itibariyle, görüntülerin içerdiği ortak alanın görüntünün toplam alanın 50%'sini geçmeyeceği varsayılarak işlem yapılmıştır. Bu kontrol sağlanmadan işlem yapmak isteniyorsa görüntüleri alınacak cihazlar üzerinde renk değişimi veya ortama karakteristik katacak başka nesneler yerleştirilmesi önerilmektedir. Geliştirilen metot ile klasik metot 10 farklı senaryo için denenmiş ve Denklem 6.1'e göre değerlendirilmiştir. Sonuçta elde edilen veriler Tablo 6.1'de verilmiştir.

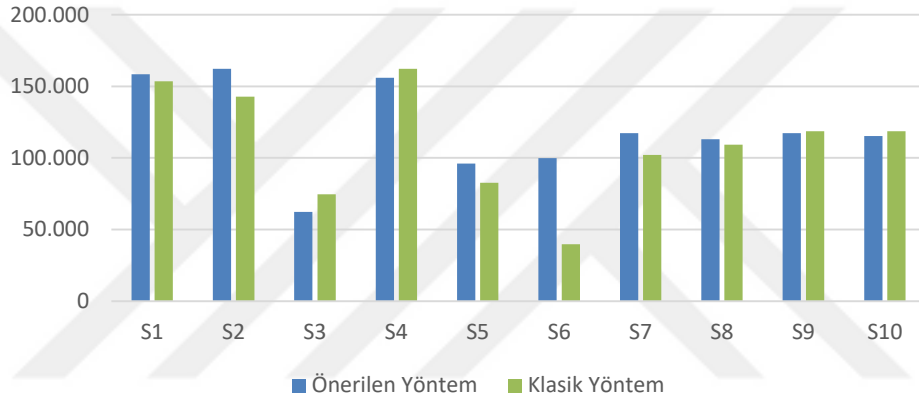
Tablo 6.1. Önerilen yöntem ve klasik yöntemin farklı senaryolar için karşılaştırılması

	Anahtar Nokta Sayısı 1	Anahtar Nokta Sayısı 2	Önerilen Yöntem			Klasik Yöntem		
			Eşleşme	Güven	Hata	Eşleşme	Güven	Hata
S1	267	270	128	158.421	7,21	131	153.421	7,27
S2	380	326	152	162.278	7,72	143	142.874	9,86
S3	289	275	57	62.234	4,41	86	74.661	11,29
S4	352	285	141	155.887	8,50	138	162.164	10,57
S5	312	298	98	95.985	3,98	109	82.576	7,74
S6	274	291	83	99.752	7,21	115	39.728	21,14
S7	297	322	102	117.231	6,41	107	102.116	6,37
S8	319	327	125	122.961	9,12	118	109.227	17,24
S9	294	296	112	117.310	5,72	121	114.981	7,89
S10	332	301	107	115.286	6,56	110	118.637	7,01

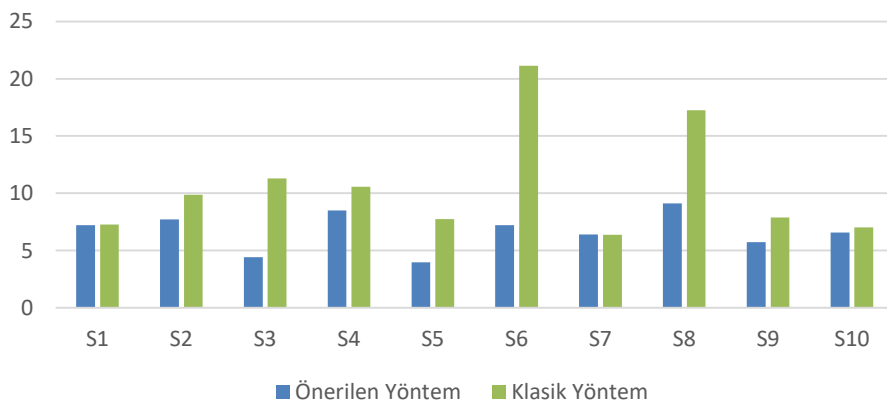
Tablo 6.1'deki örnek senaryolar 640x480 çözünürlüklü fotoğraflar üzerinde denenirken elde edilen anahtar nokta sayıları tabloda verilmiştir. Senaryolar göz önüne alındığında S1 ve S7 için yöntemlerin performansları arasında çok fark gözükmemektedir. Diğer problemlerde yöntem ufak üstünlükler gösterirken; S3, S6 ve S9 gözle görülür bir üstünlük göstermesi, alınan görüntülerde hareketten dolayı kaymalar olmasına bağlanmaktadır. Doğru ışıklandırılmış ortamdan alınan net görüntüler üzerinde, mozaiklenmiş görüntünün kalitesi açısından yöntemler arasında fazla fark oluşmadığı gözlemlenmektedir. Tablonun daha net anlaşılması için senaryolar şekil 6.8 ile 6.10 arasında görselleştirilmiştir.



Şekil 6.8. Senaryolardan elde edilen toplam piksel farkının karşılaştırması



Şekil 6.9. Senaryolardan elde edilen çakışan piksel sayısının karşılaştırması



Şekil 6.10. Senaryolardan elde edilen ortalama hata değerlerinin karşılaştırması

6.3. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde tezin bir parçası olan örnek bir SFS modelinin oluşturulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Ortamın oluşturulması için Arduino geliştirme kartı, Wi-Fi adaptörü, Braccio robot kol, kamera ve bilgisayar kullanılmıştır. Kameralar aracılığıyla edinilen görüntüler geliştirmiş olduğumuz durağan olmayan bulanık mantık tabanlı görüntü mozaikleme algoritması aracılığıyla mozaikleme işlemine tabi tutulmuştur. Farklı zamanlarda farklı konum ve açılarla alınan görüntüler üzerinden klasik yöntemin ve geliştirilen yöntemin başarımları kıyaslanmıştır. Klasik yöntem için grafikler incelendiğinde S8 durumunun çakışan nokta sayısında çok fark yokken, toplam piksel farkı fazladır. Bu da görüntünün yaklaşık aynı oranda farklı bir bölgeyle birleştirildiği anlamına gelmektedir. S6'da ise çakışan nokta sayısındaki fark, homografinin büyük ölçüde yanlış hesaplandığını gösterir. Elde edilen başarılı sonuçlar yöntemin uygunluğunu göstermektedir.

7. SONUÇLAR

SFS'ler sağladığı esnek, güvenilir ve ölçeklenebilir yapılarından dolayı birçok alana uygulanmış ve uygulanmaya devam etmektedir. Özellikle kritik ve büyük çaplı uygulamaların gerçekleşmesinde daha büyük avantajlar sağlayan SFS'lerin tutarlılığı ve güvenilirliği bu bağlamda oldukça önemlidir. SFS'nin başarımı fiziksel ortamın siber katmanda ne derece gerçekçi modellendiği ile alakalıdır. Ancak deterministik olarak modellenmesi mümkün olmayan belirsizlikler her sistemde olduğu gibi SFS için de bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışma belirsizliği tespit etme yerine, belirsizliğin sebebiyet vereceği olumsuz durumları yakalama ve zararı asgari seviyeye indirme fikrinden ortaya çıkmıştır. Sistemde meydana gelen anomali hareketler kameradan alınan görüntüler üzerinden bilgisayarlar tarafından tespit edilebilmektedir. Ancak bunun için anlamlı hareketlerin tek bir karede bilgisayara verilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile genellikle büyük alanlara yayılmış veya kapalı alanlarda olduğundan dolayı kameranın yeteri kadar uzağa yerleştirilemediği SFS'ler için ortamdaki anlamlı nesnelerin hepsini tek bir karede görmek amacıyla mozaikleme işlemi önerilmiştir.

Literatürdeki mozaikleme algoritmaları incelenerek bunların eksik yönleri tespit edilmiştir. Mevcut mozaikleme yönteminde kullanılan klasik kümelemenin getirdiği dezavantajların bu çalışmada bulanık kümeleme kullanılarak ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Klasik bulanık kümenin belirsizlik veya gürültü gibi durumları ele almada yetersizliği, tip-2 bulanık kümenin ise getirdiği hesapsal karmaşıklıktan dolayı bu çalışmada belirsizlikleri ele alabilirken zaman karmaşıklığı fazla olmayan durağan olmayan bulanık kümelerden yararlanılmıştır. Geliştirilen yöntem çeşitli senaryolar için test edilerek doğruluğu ve kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.

Birleştirilme noktaları daha doğru bir şekilde tespit edilen görüntülerin mozaiklenmesi sonucu elde edilen görüntüleri de daha kaliteli olmaktadır. Elde edilen bu görüntülerin bilgisayarlar tarafından işlenerek anlam çıkarılması ile sistemin belirsizlik gibi durumlarda sergilemesi muhtemel olan anomali hareketlerin tespiti ve engellenmesi mümkün hale gelecektir. Gelecek çalışmalarda SFS güvenilirliğini artırmak adına bu tarz çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **F. Pasqualetti, F. Dörfler ve F. Bullo**, “Attack Detection and Identification in Cyber-Physical Systems,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, cilt 58, no. 11, pp. 2715 - 2729, 2013.
- [2] **M. Zhang, B. Selic, S. Ali, T. Yue, O. Okariz ve R. Norgren**, “Understanding Uncertainty in Cyber-Physical Systems: A Conceptual Model,” *Lecture Notes in Computer Science*, cilt 9764, Cham, Springer, 2016, pp. 247-264.
- [3] **K. D. Kim ve P. R. Kumar**, “Cyber-Physical Systems: A Perspective at the Centennial,” *Proceedings of the IEEE*, cilt 100, pp. 1287-1308, 2012.
- [4] **E. Akagündüz**, *Siber-fiziksel sistemler için katmanlı yazılım mimarisi*, Ankara: ODTÜ Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [5] **G. Mois, T. Sanislav ve S. C. Folea**, “A Cyber-Physical System for Environmental Monitoring,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, cilt 65, no. 6, pp. 1463-1471, 2016.
- [6] **C. R. Rad, O. Hancu, . I. A. Takacs ve G. Olteanu**, “Smart Monitoring of Potato Crop: A Cyber-Physical System Architecture Model in the Field of Precision Agriculture,” *Int. Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture*, 2015.
- [7] **R. S. Bali ve N. Kumar**, “Learning Automata-assisted Predictive Clustering approach for Vehicular Cyber-Physical System,” *Computers & Electrical Engineering*, cilt 52, pp. 82-97, 2016.
- [8] **G. Xiong, F. Zhu, X. Liu, X. Dong, W. Huang, S. Chen ve K. Zhao**, “Cyber-physical-social system in intelligent transportation,” *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, cilt 2, no. 3, pp. 320-333, 2015.
- [9] **Y. Zhou , Z. Mo, Q. Xiao, S. Chen ve Y. Yin**, “Privacy-Preserving Transportation Traffic Measurement in Intelligent Cyber-physical Road Systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, cilt 65, no. 5, pp. 3749-3759, 2016.
- [10] **A. Sargolzaei, C. D. Crane, A. Abbaspour ve S. Noei**, “A Machine Learning Approach for Fault Detection in Vehicular Cyber-Physical Systems,” *15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2016.

- [11] **S. I. Shafiq, C. Sanin, E. Szczerbicki ve C. Toroc**, “Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0,” *Procedia Computer Science*, cilt 60, pp. 1146-1155, 2015.
- [12] **K. Thramboulidis**, “A cyber–physical system-based approach for industrial automation systems,” *Computers in Industry*, cilt 72, pp. 92-102, 2015.
- [13] **J. Lee, H. D. Ardakani, S. Yang ve B. Begheri**, “Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation,” *Procedia CIRP*, cilt 38, pp. 3-7, 2015.
- [14] **J. Morgan ve G. E. O'Donnell**, “The Cyber Physical Implementation of Cloud Manufactuirng Monitoring Systems,” *Procedia CIRP*, cilt 33, pp. 29-34, 2016.
- [15] **X. Yue, H. Cai, H. Yan, C. Zou ve K. Zhou**, “Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight,” *Microprocessors and Microsystems*, cilt 39, no. 8, pp. 1262-1270, 2015.
- [16] **P. Leitão, A. W. Colombo ve S. Karnouskos**, “Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges,” *Computers in Industry*, cilt 81, pp. 11-25, 2016.
- [17] **S. Mitra, T. Wongpiromsarn ve R. M. Murray**, “Verifying Cyber-Physical Interactions in Safety-Critical Systems,” *IEEE Security & Privacy*, cilt 11, no. 4, pp. 28-37, 2013.
- [18] **X. Jin, W. M. Haddad ve T. Yucelen**, “An Adaptive Control Architecture for Mitigating Sensor and Actuator Attacks in Cyber-Physical Systems,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, cilt PP, no. 99, pp. 1-1, 2017.
- [19] **L. Ordinez, O. Alimenti, E. Rinland, M. Gomez ve J. Marchetti**, “Modeling and Specifying Requirements for Cyber-Physical Systems,” *IEEE Latin America Transactions* , cilt 11, no. 1, pp. 625-632, 2013.
- [20] **C. Kroiß ve T. Burešb**, “Logic-based modeling of information transfer in cyber–physical multi-agent systems,” *Future Generation Computer Systems*, cilt 56, pp. 124-139, 2016.
- [21] **T. Sanislav, G. Mois ve L. Miclea**, “An approach to model dependability of cyber-physical systems,” *Microprocessors and Microsystems*, cilt 41, pp. 67-76, 2016.
- [22] **M. Riedl, H. Zipper, M. Meier ve C. Diedrich**, “Cyber-physical systems alter automation architectures,” *Annual Reviews in Control*, cilt 38, no. 1, pp. 123-133, 2014.

- [23] **G. Schirner, D. Erdogmus, K. Chowdhury ve T. Padir**, “The Future of Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems,” *Computer*, cilt 46, no. 1, pp. 36-45, 2013.
- [24] **K. Nawa ve N. P. Chandrasiri**, “Information Analysis and Natural Presentation Based on a Cyber-Physical System for Automobiles,” *IEEE Internet Computing*, cilt 19, no. 2, pp. 78-82, 2015.
- [25] **X. Guan, B. Yang, C. Chen, W. Dai ve Y. Wang**, “A comprehensive overview of cyber-physical systems: from perspective of feedback system,” *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, cilt 3, no. 1, pp. 1-14, 2016.
- [26] **R. L. Hartung, A. Hakansson ve E. Moradian**, “A Prescription for Cyber Physical Systems,” *Procedia Computer Science*, cilt 60, pp. 1552-1558, 2015.
- [27] **Y. Zhang, M. Qiu, C. W. Tsai, M. M. Hassan ve A. Alamri**, “Health-CPS: Healthcare Cyber-Physical System Assisted by Cloud and Big Data,” *IEEE Systems Journal*, cilt 11, no. 1, pp. 88-95, 2017.
- [28] **P. Kaveh, G. Yishuang, R. C. David, B. Guanqun, M. Liang, A. Emmanuel, K. Andrew, S. Kamran ve T. Vahid**, “A Novel Cyber Physical System for 3-D Imaging of the Small Intestine In Vivo,” *IEEE Access*, cilt 3, pp. 2730-2742, 2015.
- [29] **A. Rintu ve P. Simon**, “Review on Mosaicing Techniques in Image Processing,” *Third International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT)*, 2013.
- [30] **M. Lin, G. Xu, X. Ren ve K. Xu**, “Cylindrical panoramic image stitching method based on multi-cameras,” *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015.
- [31] **M. S. Patel, N. M. Patel ve M. S. Holia**, “Feature based multi-view image registration using SURF,” *International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)*, 2015.
- [32] **C. M. Huang, S. W. Lin ve J. H. Chen**, “Efficient Image Stitching of Continuous Image Sequence With Image and Seam Selections,” *IEEE Sensors Journal*, cilt 15, no. 10, pp. 5910-5918, 2015.
- [33] **S. Lee, Y. Park ve D. Lee**, “Seamless image stitching using structure deformation with HoG matching,” *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2015.

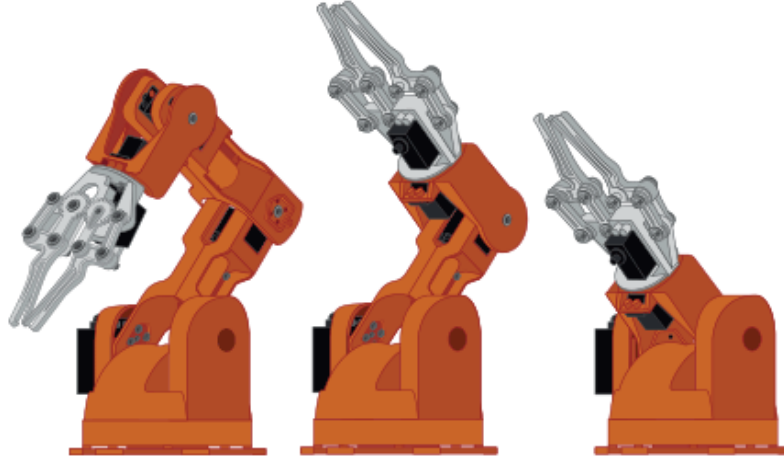
- [34] **Z. Qiu, P. Shi, X. Jiang, D. Pan, C. Feng ve Y. Sha**, “Image stitching and ghost elimination based on Shape-Preserving Half-Projective warps,” *IEEE International Conference on Information and Automation*, 2015.
- [35] **G. Divya ve C. Chandrasekhar**, “Image Mosaicing Technique for Wide Angle Panorama,” *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, cilt 15, pp. 420-429, 2015.
- [36] **A. Elibol, J. Kim, N. Gracias ve R. Garcia**, “Fast Underwater Image Mosaicing through Submapping,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, cilt 85, no. 1, p. 167–187, 2017.
- [37] **U. M. Akram , D. Usmani , A. Tanveer , A. Sarmad ve N. F. Syeda**, “Seamless Fundus image stitching using WLD to improve field of view,” *Fifth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*, 2015.
- [38] **G. Yang ve X. Zhou**, “High Fidelity Virtualization of Cyber-Physical Systems,” *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, cilt 4, no. 2, pp. 1-26, 2013.
- [39] **H. Yetiş, M. Baygın ve M. Karaköse**, “An Investigation for Benefits of Cyber-Physical Systems in Higher Education Courses,” *15th Int. Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, İstanbul, 2016.
- [40] **J. M. Bradley ve E. M. Atkins**, “Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems,” *Sensors*, cilt 15, pp. 23020-23049, 2015.
- [41] **C. Chena, L. Xiaomin, Q. Tie ve K. Arun**, “A short-term traffic prediction model in the vehicular cyber–physical systems,” *Future Generation Computer Systems*, 2017.
- [42] **Z. Yue , H. Cai ve M. Zhu**, “RESTful Management for Cyber-Physical Systems,” *15th IEEE International Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing Workshops (ISORCW)*, 2012.
- [43] **A. D. Wood ve J. A. Stankovic**, “Security of distributed, ubiquitous, and embedded computing platforms,” *Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security*, 2010, p. 2888.
- [44] **C. Konstantinou, M. Maniatakos, F. Saqib, S. Hu, J. Plusquellic ve Y. Jin**, “Cyber-Physical Systems: A Security Perspective,” *20th IEEE European Test Symposium (ETS)*, 2015.

- [45] **E. B. Fernandez**, “Threat modeling in cyber-physical systems,” *14th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing*, 2016.
- [46] **W. Chipman , C. Grimm ve R. Carna**, “Coverage of Uncertainties in Cyber-Physical Systems,” *8. GMM/ITG/GI-Symposium Reliability by Design*, 2015.
- [47] **J. Shi, J. Wan, H. Yan ve H. Suo**, “A survey of cyber-physical systems,” *IEEE Int. Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, 2011.
- [48] **D. T. Trung, A. Gursel, Z. Hao ve L. Weihua**, “A Review of Localization Systems for Robotic Endoscopic Capsules,” *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, cilt 59, no. 9, pp. 2387-2399, 2012.
- [49] **L. Zadeh**, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, cilt 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [50] **C. Esposito, M. Ficco, F. Palmieri ve A. Castiglione**, “Smart Cloud Storage Service Selection Based on Fuzzy Logic, Theory of Evidence and Game Theory,” *IEEE Transactions on Computers*, cilt 65, no. 8, pp. 2348 - 2362, 2015.
- [51] **M. Pasięka, N. Grzesik ve K. Kuźma**, “Simulation Modeling of Fuzzy Logic Controller for Aircraft Engines,” *International Journal of Computing*, cilt 16, no. 1, pp. 27-33, 2017.
- [52] **C. Lucas, R. M. Milasi ve B. N. Araabi**, “Intelligent Modeling and Control of Washing Machine Using Locally Linear Neuro-Fuzzy (Llnf) Modeling and Modified Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller (Belbic),” *Asian Journal of Control*, cilt 8, no. 4, pp. 393-400, 2006.
- [53] **T. Arima**, “Fujitsu”. Birleşmiş Milletler Patent: US 08/188,071, 27 Ocak 1994.
- [54] **J. M. Mendel**, “Type-2 Fuzzy Sets,” *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems*, Springer International Publishing, 2017, pp. 259-306.
- [55] **J. M. Garibaldi, . M. Jaroszewski ve S. Musikasuwan**, “Nonstationary Fuzzy Sets,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, cilt 16, no. 4, pp. 1072-1086, 2008.
- [56] **M. Osswald, M. Wehrle, E. Portmann ve A. Denzler**, “Transforming fuzzy graphs into linguistic variables,” *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)*, El Paso, TX, USA, 2016.
- [57] **H. Yetiş ve M. Karaköse**, “The Inference Process of Nonstationary Fuzzy Sets with Uncertainty for Cyber Physical Systems,” *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'17)*, İstanbul, 2017.

- [58] **M. K. Choudhury, M. Kumar ve N. Baruah**, “A Fuzzy Logic Based Expert System for Determination of Health Risk Level of Patient,” *International Journal of Research in Engineering and Technology*, cilt 4, no. 5, pp. 261-267, 2015.
- [59] **M. Karaköse**, “Bulanık İntegral Tabanlı Rastgele Belirsizlik İçeren Bulanık Sistemler,” *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, Kocaeli, 2010.
- [60] **G. T. Tchendjou , R. Alhakim ve E. Simeu**, “Fuzzy logic modeling for objective image quality assessment,” *Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP)*, Rennes, France, 2016.
- [61] **J. M. Mendel**, “Type-2 Fuzzy Sets and Systems: An Overview,” *IEEE Computational Intelligence Magazine*, cilt 2, no. 1, pp. 20-29, 2007.
- [62] **M. Nie ve W. W. Tan**, “Towards an efficient type-reduction method for interval type-2 fuzzy logic systems,” *IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZY-IEEE*, 2008.
- [63] **U. Dongrui ve N. Maowen**, “Comparison and Practical Implementation of Type-Reduction Algorithms for Type-2 Fuzzy Sets and Systems,” *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Taipei, Taiwan, 2011.
- [64] **J. M. Garibaldi, S. Musikasuwan ve T. Ozen**, “The Association between Non-Stationary and Interval Type-2 Fuzzy Sets: A Case Study,” *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2005.
- [65] **A. Taskin ve T. Kumbasar**, “An open source Matlab/Simulink Toolbox for Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems,” *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, Cape Town, South Africa, 2015.
- [66] **T. Müezzinoğlu**, “Fotovoltaik Dizeler için Görüntü Mozaikleme Tekniklerinin Geliştirilmesi,” *Yüksek Lisans Tezi*, 2014.
- [67] **P. M. Jain ve V. K. Shandliya**, “A Review Paper on Various Approaches for Image Mosaicing,” *International Journal of Computational Engineering Research*, cilt 3, no. 4, pp. 106-109, 2013.
- [68] **D. G. Lowe**, “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints,” *International journal of computer vision*, cilt 60, no. 2, pp. 91-110, 2004.
- [69] **H. Joshi ve K. Sinha**, “A Survey on Image Mosaicing Techniques,” *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, cilt 2, no. 2, pp. 365-369, 2013.

- [70] **I. K. Sarangi ve S. Nayak**, *Image Mosaicing of Panoramic Images*, Rourkela: Bachelor Thesis, National Institute of Technology, 2014.
- [71] **L. Yao, H. Feng, Y. Zhu, Z. Jiang ve D. Zhao**, “An architecture of optimised SIFT feature detection for an FPGA implementation of an image matcher,” *International Conference on Field-Programmable Technology*, Sydney, NSW, 2009.
- [72] **K. S. V. Prathap, S. Jilani ve P. R. Reddy**, “A critical review on Image Mosaicing,” *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 2016.
- [73] **J. Krizaj, V. Struc ve N. Pvesic**, “Adaptation of SIFT Features for Robust Face Recognition,” *International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR)*, Povo de Varzim, Portugal, 2010.
- [74] **S. Mistry ve A. Patel**, “Image Stitching using Harris Feature Detection,” *Int. Research Journal of Engineering and Technology*, cilt 3, no. 4, pp. 2220-2226, 2016.
- [75] **D. K. Jain, G. Saxena ve V. K. Singh**, “Image Mosaicing Using Corner Techniques,” *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Rajkot, India, 2012.
- [76] **C. S. Andres**, “Homography-Based State Estimation for Autonomous UAV Landing,” *AIAA Information Systes-AIAA Infortech@Aerospace*, pp. 1-16, 2017.
- [77] **A. Levin, A. Zomet, S. Peleg ve Y. Weiss**, “Seamless Image Stitching in the Gradient Domain,” *Computer Vision (ECCV)*, pp. 377-389, 2004.
- [78] **M. Kumar, . N. Stoll, K. Thurow ve R. Stoll**, “Fuzzy Membership Descriptors for Images,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, cilt 24, no. 1, pp. 195-207, 2016.
- [79] **D. Ghosh ve N. Kaabouch**, “A survey on image mosaicing techniques,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, cilt 34, pp. 1-11, 2016.
- [80] **J. K. S. Lau, C. K. Tham ve T. Luo**, “Participatory cyber physical system in public transport application,” *4th IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing*, 2011.

EK-1: Braccio Teknik Özellikler



Ağırlık	792 gr
Azami çalışma uzanımı	80 cm
Azami yükseklik	52 cm
Taban genişliği	14 cm
Tutucu genişliği	90 mm
Kablo uzunluğu	40 cm
Yük kapasitesi	150-400 gr
Eksen (motor) sayısı	SpringRC SR431 x 4 SpringRC SR311 x 2
Bağlantı şekli	Braccio adaptör

Motor Özellikleri:

	SpringRC SR431	SpringRC SR311
Kontrol sinyali	PWM Analog	PWM Analog
Motor torku	12.2-14.5	3.8 kg-cm
Ağırlık	62.0 g	27.0 g
Boyutlar	42.0×20.5×39.5 mm	31.3×16.5×28.6 mm
Hız	0.20-0.18 sn/60°	0.14-0.12 sn/60°
Dişli malzemesi	Metal	Metal
Konnektör Türü	J (aka Futaba)	J (aka Futaba)

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Malatya’da doğan Hasan YETİŞ, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Mustafa Necati İlköğretim Okulu ve Malatya Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2010 yılında kazandığı İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü 2014 yılında başarıyla bitirmiştir. 2015 yılında yüksek lisans eğitimine Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Halen Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.