



T.C.

**BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEMENİN
ÖNEMİ**

Osman Melih ÖZASLAN

2215052011

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER

Bandırma 2025

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEMENİN
ÖNEMİ

Osman Melih ÖZASLAN
2215052011

Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER

Bandırma 2025

ETİK BEYAN SAYFASI

TÜRKİYE CUMHURİYETİ BANDIRMA ON YEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu belge ile, bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim. (24/06/2025)

Osman Melih ÖZASLAN

ÖZET

HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEMENİN ÖNEMİ

Osman Melih ÖZASLAN

Bu tez, havacılık ve uzay sanayisinde dijital görüntü işleme teknolojilerinin kullanımını, mevcut uygulamalarını ve sağladığı avantajları kapsamlı biçimde incelemektedir. Çalışmada, insansız hava araçları (İHA), uydu sistemleri ve bakım-onarım süreçlerinde görüntü işleme tekniklerinin operasyonel verimlilik ve güvenlik üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) çerçevesinde görüntü işleme sistemlerinin entegrasyonu ele alınmış; makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının bu süreçlerdeki rolü detaylandırılmıştır. Ayrıca, milli savunma ve uzay projelerinde kullanılan görüntü işleme tabanlı çözümler vaka örnekleri ve literatür taraması yoluyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, görüntü işleme teknolojilerinin sektörde yalnızca teknolojik yenilik sağlamadığını, aynı zamanda stratejik üstünlük ve maliyet avantajı yaratarak rekabetçi konum kazandırdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: Derin Öğrenme, Görüntü İşleme, Havacılık ve Uzay Sanayisi, Makine Öğrenmesi, Yönetim Bilişim Sistemler

ABSTRACT

THE IMPORTANCE OF MACHINE VISION IN THE AEROSPACE INDUSTRY

Osman Melih ÖZASLAN

This thesis provides a comprehensive analysis of the use, current applications, and advantages of digital image processing technologies in the aerospace industry. The study examines how image processing techniques, particularly in unmanned aerial vehicles (UAVs), satellite systems, and maintenance-repair processes, enhance operational efficiency and safety. The integration of image processing systems within the framework of Management Information Systems (MIS) is explored, with a detailed focus on the role of machine learning and deep learning algorithms in these workflows. Additionally, the significance of image-processing-based solutions in national defense and space projects is evaluated through case studies and literature review. The findings demonstrate that image processing technologies not only offer technological innovation but also provide strategic superiority and cost advantages, strengthening the competitive position of the sector.

Keywords: Aerospace Industry, Deep Learning, Image Processing, Machine Learning, Management Information Systems

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, dijital dönüşümün havacılık ve uzay sanayisine etkilerini, özellikle görüntü işleme teknolojileri bağlamında ele alarak, bu teknolojilerin savunma uygulamalarındaki yerini ve önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Günümüz dünyasında askeri ve sivil havacılık projelerinde karar alma süreçleri giderek daha fazla otomasyon, veri madenciliği ve görsel analiz tabanlı sistemlerle desteklenmektedir. Görüntü işleme teknolojileri, yalnızca mühendislik alanında değil; aynı zamanda Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS), yapay zekâ, karar destek sistemleri ve stratejik planlama gibi disiplinlerde de etkileşimli bir biçimde kullanılmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'nin son yıllarda geliştirdiği yerli ve millî projelerde görüntü işleme sistemlerinin oynadığı rol, teknik altyapıları, örnek uygulamaları ve yönetsel katkılarıyla birlikte analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın her aşamasında bilimsel yaklaşımdan sapmadan ilerleyebilmemi sağlayan, yol gösterici tutumuyla bilgi ve deneyimini benimle paylaşan kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER'e en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Alan taraması, veri toplama, yazım ve sistematik analiz süreçlerinde bana destek olan öğretim üyeleri ve araştırmacı arkadaşlarıma, akademik bir dayanışma ortamı sundukları için müteşekkirim.

Ayrıca çalışmam süresince bana sabır, moral ve motivasyon sağlayan, düşünsel üretim sürecimde yanımda olan aileme ve sevdiklerime içtenlikle teşekkür ederim. Onların manevi desteği, bu çalışmanın hayata geçmesinde en az bilimsel kaynaklar kadar belirleyici olmuştur.

Bu tezin hem literatüre katkı sağlayacağına hem de savunma ve uzay sanayisinde dijital dönüşümün anlaşılmasına ışık tutacağına inanıyorum.

Osman Melih ÖZASLAN

Bandırma 2025

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN SAYFASI.....	ii
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar.....	vii
ŞEKİLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	11
1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	11
2. YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ.....	11
3. VERİ YÖNETİMİ VE İŞ ZEKÂSI.....	13
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİLERİNİN TEMELLERİ.....	27
5. BİLGİSAYARLI GÖRÜ VE DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARI.....	28
6. GÖRÜNTÜ VERİSİ DEPOLAMA VE GÜVENLİK	29
İKİNCİ BÖLÜM.....	31
1. HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİ VE YBS UYGULAMALARI.....	31
1.1. Havacılık ve Uzay Sanayisinde Teknoloji.....	32
1.2. Görüntü İşleme Sistemlerinin YBS ile Entegrasyonu	33
1.3. İHA ve Uydu Verilerinin İş Zekâsı Platformlarında Kullanımı.....	34
1.4. Bakım-Onarım Yönetiminde Görüntü Tabanlı Karar Destek Sistemleri.....	35
1.5. Agile ve DevOps Yaklaşımları ile Görüntü İşleme Projeleri.....	36
1.5.1. Örnek Proje Senaryosu: Bir Görüntü İşleme Sisteminin Agile ve DevOps Yaklaşımları ile Geliştirilmesi	38
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	41
1. HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME	41
2. GÖRÜNTÜ VERİSİNİN İŞLENMESİ VE ANLAMLANDIRILMASI.....	43
2.1. Veri Toplama ve Ön İşleme.....	44
2.1.1. Gürültü Azaltma	44
2.1.2. Kontrast ve Parlaklık Düzeltme.....	44
2.1.3. Geometrik Düzeltmeler	45
2.1.4. Radyometrik Kalibrasyon.....	45
2.2. Segmentasyon ve Özellik Çıkarma.....	45
2.2.1. Kenar Belirleme Algoritmaları:	46
2.2.2. Bölge Tabanlı Segmentasyon:	46
2.2.3. Derin Öğrenme Tabanlı Segmentasyon:	46
2.2.4. Optik Akış ve Hareket Analizi:.....	46
2.2.5. Analiz ve Yorumlama	47
2.3. Makine Öğrenmesi Algoritmaları	47
2.3.1. Derin Öğrenme Ağları	48
2.4. İstatistiksel Analiz ve Anomali Tespiti.....	48
2.5. Çıktıların Sunumu ve Raporlama.....	48
2.5.1. Isı Haritaları ve Anotasyonlu Görseller	49
2.5.2. 3B Modellemeler ve Deformasyon Haritaları	49
2.5.3. Otomatik Raporlama ve Bakım Planlama Sistemleri	49
2.6. Kullanılan Yazılımlar ve Araçlar.....	50
2.6.1. Python (OpenCV, Scikit-image).....	50

2.6.2. MATLAB (Image Processing Toolbox).....	50
2.6.3. TensorFlow, PyTorch (Derin Öğrenme Modelleri).....	50
2.6.4. Pix4D, Agisoft Metashape (Fotogrametri)	51
2.6.5. GOM Inspect (Optik Deformasyon Analizi)	51
2.7. Makine Öğrenmesi ile Anomali Tespiti	51
2.8. Borescope Görüntüleri ile Derin Öğrenme Tabanlı Kusur Tespiti.....	52
2.9. Zaman Serisi Verilerle Motor Arızalarının LSTM ile Tahmini.....	53
2.10. Sensör Füzyonu ile Çoklu Veri Kaynaklarından Anomali Tespiti	53
2.11. Probabilistik Modellerle Arıza Olasılığı Hesaplama.....	55
2.12. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Haritalama	56
2.12.1. Veri (Data)	56
2.12.2. Donanım ve Yazılım (Hardware & Software)	57
2.12.3. Yöntem ve İnsan Kaynağı (Method & People)	57
2.12.4. Haritalama Teknikleri ve Uygulama Alanları.....	61
2.12.5. CBS Tabanlı Karar Destek Sistemleri	65
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	67
1. MİLLİ PROJELERDE GÖRÜNTÜ İŞLEME ENTEGRASYONU.....	67
1.1. ANKA İHA ve AKSUNGUR TİHA'da Veri Yönetimi.....	68
1.1.1. ANKA İHA: Orta İrtifada Gerçek Zamanlı Veri İşleme.....	68
1.1.2. AKSUNGUR TİHA: Yüksek Hacimli Verinin Yönetimi	69
1.1.3. GÖKTÜRK Uyduları ile Stratejik İstihbarat Sistemleri.....	71
2. AKADEMİ SANAYİ İŞ BİRLİKLERİ	73
2.1. Üniversite-Sanayi İş Birliklerinin Kavramsal Temeli	74
2.2. Havacılık ve Uzay Sanayisinde Akademi-Sanayi İş Birliklerinin Yansımaları.....	74
2.3. TÜBİTAK UZAY ve ASELSAN Projeleri	76
3. ULUSLARARASI UYGULAMALAR VE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME.....	79
3.1. Amerika Birleşik Devletleri	79
3.2. Avrupa Birliği ve ESA Projeleri	80
3.3. Asya Ülkeleri: Çin, Hindistan ve Japonya.....	81
3.4. Karşılaştırmalı Analiz.....	81
SONUÇ	83
ÖNERİLER.....	85
KAYNAKÇA.....	87

TABLÖLAR

Tablo 1: OLTP ve OLAP sistemlerinin temel farklarının karşılaştırılması	18
--	----



ŞEKİLLER

Şekil 1: Uzaktan algılama verilerinin görüntü işleme ve sınıflandırma süreçlerinden geçirilerek CBS analizlerine entegrasyonunu gösteren akış diyagramı..... 54



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AI	: Artificial Intelligence – Yapay Zekâ
AR	: Augmented Reality – Artırılmış Gerçeklik
ASELSAN	: Askerî Elektronik Sanayii
BI	: Business Intelligence – İş Zekâsı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CNN	: Convolutional Neural Network – Evrişimli Sinir Ağı
ERP	: Enterprise Resource Planning – Kurumsal Kaynak Planlaması
ESB	: Enterprise Service Bus – Kurumsal Servis Veri Yolu
ETL	: Extract, Transform, Load – Çıkar, Dönüştür, Yükle
GAN	: Generative Adversarial Network – Üretici Çekişmeli Ağ
GDPR	: General Data Protection Regulation – Genel Veri Koruma Tüzüğü
GÖKTÜRK	: Görüntüleme Uyduları Serisi (TÜBİTAK tarafından geliştirilen millî uydur programı)
HOLAP	: Hybrid OLAP – Melez OLAP
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KVKK	: Kişisel Verileri Koruma Kanunu
LSTM	: Long Short-Term Memory – Uzun Kısa Süreli Bellek (zaman serisi analizlerinde kullanılan yapay sinir ağı türü)
ML	: Machine Learning – Makine Öğrenimi
MOLAP	: Multidimensional OLAP – Çok Boyutlu OLAP
NLP	: Natural Language Processing – Doğal Dil İşleme
OLAP	: Online Analytical Processing – Çevrim İçi Analitik İşleme
R&D	: Research and Development – Araştırma ve Geliştirme
ROLAP	: Relational OLAP – İlişkisel OLAP
ROKETSAN	: Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş.
SAR	: Synthetic Aperture Radar – Sentetik Açıklıklı Radar
SSA	: Space Situational Awareness – Uzay Durumsal Farkındalık
STM	: Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
TİHA	: Taarruzi İnsansız Hava Aracı

TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUSAŞ : Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
UX : User Experience – Kullanıcı Deneyimi
YBS : Yönetim Bilişim Sistemleri AB: Avrupa Birliği



GİRİŞ

Dijital dönüşümün endüstriyel üretimden kamu yönetimine, savunmadan uzay teknolojilerine kadar her alanda belirleyici olduğu çağımızda, bilgiye dayalı teknolojiler stratejik üstünlüğün temel unsurlarından biri hâline gelmiştir. Özellikle savunma ve havacılık sektörü, teknolojik yeniliklerin hızla entegre edildiği, yüksek güvenlik, doğruluk ve verimlilik gereksinimiyle şekillenen bir yapı arz etmektedir. Bu dönüşümün merkezinde yer alan teknolojilerden biri olan görüntü işleme, savunma sistemlerinin algılama, analiz, karar verme ve müdahale gibi fonksiyonlarını güçlendiren kilit bir teknolojik bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme sistemleri; uydu gözlem verilerinin değerlendirilmesi, İHA'lar tarafından elde edilen görsellerin analiz edilmesi, uçak bakım süreçlerinde termal ve borescope verilerin işlenmesi gibi birçok kritik uygulama alanına sahiptir. Özellikle Türkiye'nin millî savunma projelerinde bu teknolojilerin kullanım oranı artmış, TUSAŞ, ASELSAN, ROKETSAN ve TÜBİTAK UZAY gibi kurumların geliştirdiği projeler bu alanda ciddi kazanımlar sağlamıştır. Görüntü işleme sistemleri bu bağlamda sadece teknik altyapının bir parçası değil, aynı zamanda karar destek sistemlerinin ayrılmaz bir unsuru olarak da değerlendirilmektedir.

Bu sistemlerin sunduğu görsel veri analizi kapasitesi, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zekâ alt disiplinleriyle birleştirilerek, daha yüksek doğrulukla çalışan, öngörüselsel ve adaptif savunma mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, segmentasyon algoritmaları ile hedef sınıflandırması yapılabilmekte, optik deformasyon analizleri ile bakım öncesi risk tespiti sağlanmakta, artırılmış gerçeklik sistemleri ile üretim ve montaj doğruluğu artırılmaktadır. Bu bağlamda görüntü işleme teknolojileri ile yapay zekâ entegrasyonu, günümüzde savunma ve uzay sanayisinin en kritik Ar-Ge alanlarından biri hâline gelmiştir (Szeliski, 2010; Gonzalez & Woods, 2018).

Ayrıca, görüntü işleme sistemlerinin Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) perspektifiyle değerlendirilmesi de büyük önem taşımaktadır. Görsel verilerin

yalnızca teknik çözümler sunmakla kalmayıp; aynı zamanda bilgi yönetimi, operasyonel kontrol, risk analizi ve performans izleme gibi kurumsal fonksiyonlara entegre edilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede YBS; görüntü işleme tabanlı analizlerin veriye dayalı karar alma süreçlerine dâhil edilmesini, kurumlar arası koordinasyonu ve stratejik bilgi altyapısının güçlendirilmesini sağlamaktadır. YBS yaklaşımı sayesinde görüntü tabanlı sistemlerin, veri güvenliği, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yönetilmesi mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme teknolojilerinin kuramsal ve uygulamalı boyutlarını analiz etmek, Türkiye’de geliştirilen millî savunma projeleri bağlamında bu teknolojilerin nasıl yapılandığını ortaya koymak ve bu sistemlerin Yönetim Bilişim Sistemleri ile nasıl entegre edildiğini kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir. Bu doğrultuda çalışmada öncelikle görüntü işleme teknolojilerinin temel kavramları, teknik süreçleri ve algoritmik altyapıları açıklanmakta; ardından İHA sistemlerinden uydu analizlerine, artırılmış gerçeklik destekli üretim hatlarından otomatik bakım süreçlerine kadar farklı uygulama alanları ele alınmaktadır.

Ayrıca, akademi-sanayi iş birlikleri, kamu politikaları ve uluslararası örnekler de analiz edilerek, Türkiye’nin bu alandaki konumu değerlendirilmekte ve geleceğe yönelik gelişim alanları belirlenmektedir. Çalışma boyunca görüntü işleme teknolojisinin sadece teknolojik bir araç değil, aynı zamanda kurumsal dijitalleşmenin ve yönetişimin temel dinamiği olduğu düşüncesi temel alınmaktadır.

Bu giriş bölümünü takiben tez; kavramsal çerçeve, teknolojik analiz, uygulama örnekleri ve değerlendirme bölümleri ile çok boyutlu bir inceleme sunmayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların, havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik hem akademik literatüre hem de sektörel uygulamalara katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme teknolojilerinin kullanım alanlarını çok boyutlu bir yaklaşımla incelemek ve bu teknolojilerin savunma sistemleri içindeki stratejik önemini ortaya koymaktır. Özellikle görüntü verilerinin elde edilmesinden işlenmesine, bu verilerin analiz edilerek karar destek sistemlerine aktarılmasına kadar uzanan süreçler teknik, yönetsel ve stratejik düzeyde ele alınarak değerlendirilmiştir.

İnsansız hava araçları (İHA), yüksek çözünürlüklü uydu sistemleri, otomatik bakım ve onarım altyapıları ile artırılmış gerçeklik destekli üretim hatları gibi alanlarda kullanılan görüntü işleme teknolojileri, yalnızca veriyi işleyen bir mekanizma olmaktan çıkmış, operasyonel karar alma süreçlerinin merkezinde yer alan bir yapıya dönüşmüştür. Bu bağlamda çalışmanın hedefi, bu teknolojilerin sunduğu katkıları sadece teknik düzeyde değil, aynı zamanda yönetim bilişim sistemleri (YBS) perspektifiyle birlikte ele alarak, karar destek yapıları, kurumsal veri güvenliği, süreç verimliliği ve dijital altyapı yönetimi üzerindeki etkilerini bütüncül biçimde analiz etmektir.

Ayrıca çalışma, Türkiye'nin geliştirdiği yerli ve millî savunma projelerindeki (ANKA, AKSUNGUR, GÖKTÜRK, İMECE vb.) görüntü işleme altyapılarının sistem mimarileri, kullanılan yazılım ve donanım çözümleri ile nasıl yapılandığını teknik raporlar ve akademik literatür eşliğinde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu projelerin incelenmesiyle birlikte, görüntü işleme teknolojilerinin millî güvenlik politikaları, savunma lojistiği, çevresel izleme, hedef tespiti ve tehdit analizi gibi kritik görevlerde oynadığı rol daha somut biçimde ortaya konulacaktır.

Çalışmanın bir diğer amacı da görüntü işleme teknolojilerinin makine öğrenmesi, derin öğrenme ve artırılmış gerçeklik gibi çağdaş teknolojilerle nasıl entegre edildiğini açıklayarak, çok katmanlı analizlerin savunma sistemlerinde nasıl kullanıldığını değerlendirmektir. Bu sayede, görüntü işleme sistemlerinin gelişmiş karar destek kapasitesi sunduğu, gerçek zamanlı analiz sağladığı ve siber

güvenlik, anomali tespiti, hedef doğrulama gibi alanlarda çok yönlü katkı sunduğu akademik olarak ortaya konulmaktadır.

Son olarak, bu tez çalışması ile hem teknoloji üreticilerine hem de karar alıcılara yönelik politika geliştirme süreçlerine destek olmak; görüntü işleme teknolojilerinin operasyonel sistemler içinde nasıl daha etkin kullanılabileceğine dair önerilerde bulunmak amaçlanmaktadır. Böylece çalışma, yalnızca mevcut durumun analiziyle sınırlı kalmayıp, bu teknolojilerin gelecekteki gelişimi ve savunma sistemleriyle entegrasyonu için stratejik bir vizyon sunmayı da hedeflemektedir.

Çalışmanın Önemi

Havacılık ve uzay sanayisi, ileri teknolojilerin yoğun olarak kullanıldığı, yüksek hassasiyet ve güvenilirlik gerektiren bir sektördür. Bu sektörlerde karar alma süreçleri, çoğu zaman büyük hacimli ve karmaşık verilerin analizine dayalı olarak yürütülmektedir. Görüntü işleme teknolojileri ise, bu analiz süreçlerinin merkezinde yer almakta; özellikle insansız hava araçları, uzay gözlem sistemleri, bakım-onarım uygulamaları ve üretim hatlarında veri odaklı çözüm önerileri sunmaktadır. Dolayısıyla görüntü işleme, yalnızca teknik bir uygulama alanı değil, aynı zamanda stratejik bilgi yönetiminin ve dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

Bu çalışma hem kuramsal literatüre hem de uygulamalı bilgi alanına iki düzeyde katkı sunmaktadır. İlk olarak, görüntü işleme teknolojilerinin savunma ve uzay sanayisine entegrasyonunun yalnızca teknik değil, Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) perspektifiyle de ele alınması, bu alandaki literatürde önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Görüntü işleme genellikle mühendislik ya da bilgisayar bilimleri bağlamında çalışılmışken, bu tezde teknolojik altyapı ile karar destek sistemleri arasındaki ilişki açıklanmakta, kurumsal yönetim süreçleriyle entegrasyonu analiz edilmektedir. Bu yönüyle çalışma, teknoloji odaklı literatürü YBS ile bütünleştiren disiplinler arası bir çerçeve sunmaktadır.

İkinci olarak, Türkiye’de geliştirilen millî savunma projelerinin –örneğin ANKA, AKSUNGUR, GÖKTÜRK, İMECE gibi sistemlerin– görüntü işleme

uygulamaları bağlamında analiz edilmesi, yerli ve özgün teknoloji üretiminin akademik düzeyde belgelenmesine katkı sağlamaktadır. Literatürde, Türkiye'nin görüntü işleme sistemlerine dair stratejik uygulamalarına odaklanan çalışmalar sınırlıdır. Bu tez, millî projelerin teknik ve yönetsel özelliklerini değerlendiren ilk bütünlüklü yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca çalışma, görüntü işleme teknolojilerinin yapay zekâ, makine öğrenmesi, artırılmış gerçeklik ve veri madenciliği gibi çağdaş teknolojilerle nasıl etkileşime girdiğini göstermesi açısından da önem taşımaktadır. Bu etkileşim hem teknolojik literatür hem de dijital karar destek sistemleri yazını açısından yeni araştırma yolları açmakta, gelecekte yapılacak ampirik çalışmalar için kuramsal bir temel sunmaktadır.

Son olarak, bu tez çalışması uygulayıcı kurumlar açısından da rehberlik edici niteliktedir. Görüntü işleme tabanlı sistemlerin savunma projelerinde nasıl yapılandırıldığı, karar süreçlerini nasıl etkilediği ve operasyonel verimliliğe ne tür katkılar sunduğu net biçimde ortaya konmaktadır. Böylelikle akademik bilgilerin kurumsal uygulamalara dönüşmesi sağlanmakta; savunma sanayisinde görev alan mühendis, analist ve yönetici kadrolar için politika geliştirme sürecine katkı sunulmaktadır.

Tüm bu yönleriyle çalışma hem kuramsal hem uygulamalı olarak literatürde özgün ve bütüncül bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, havacılık ve uzay sanayisinde kullanılan görüntü işleme teknolojilerinin teknik altyapılarını, uygulama alanlarını ve stratejik etkilerini çok boyutlu bir biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın kapsamı yalnızca görüntü verisinin dijital olarak elde edilmesi ve işlenmesi süreçleriyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda bu süreçlerin yönetim bilişim sistemleri (YBS) ile entegrasyonu, karar destek sistemlerine katkısı, yapay zekâ ile bütünleşmesi ve ulusal savunma politikalarına olan etkileri de dikkate alınarak genişletilmiştir.

Tez kapsamında ilk olarak görüntü işleme sistemlerinin temel kavramları, teknik süreçleri ve tarihsel gelişimi kuramsal düzlemde ele alınmakta; bu

sistemlerin algoritmik altyapıları (örneğin segmentasyon, sınıflandırma, derin öğrenme tabanlı analizler) açıklanmaktadır. Görüntü verilerinin toplanmasından (İHA, uydu, radar, termal kamera vb.) filtreleme, ön işleme, özellik çıkarımı ve anomali tespiti kadar olan süreçler ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu teknik inceleme sürecinde makine öğrenmesi, konvolüsyonel sinir ağları (CNN), GAN tabanlı modeller ve optik veri analiz teknikleri gibi çağdaş yaklaşımlara da yer verilmektedir.

Çalışmanın uygulama boyutunda ise Türkiye'nin millî savunma projeleri özelinde görüntü işleme sistemlerinin nasıl kullanıldığı, bu sistemlerin operasyonel etkinliğe nasıl katkı sunduğu ve ulusal teknolojik kapasitenin nasıl geliştirildiği araştırılmaktadır. Bu kapsamda ANKA İHA, AKSUNGUR TİHA, GÖKTÜRK uydu sistemleri ve İMECE gibi platformlarda kullanılan görüntü işleme altyapıları analiz edilmekte; verilerin nasıl işlendiği, ne tür analizlerde kullanıldığı ve hangi karar süreçlerine entegre edildiği teknik raporlar ve akademik yayınlar üzerinden değerlendirilmektedir.

Ayrıca, görüntü işleme sistemlerinin yalnızca savunma ve keşif görevlerinde değil; üretim hatlarında kalite kontrol, bakım öncesi değerlendirme, montaj doğruluğu tespiti ve eğitim simülasyonları gibi alanlarda da kullanıldığı uygulamalı örneklerle gösterilmektedir. Artırılmış gerçeklik (AR) ve yapay zekâ tabanlı görüntü analitiği gibi yeni nesil teknolojilerin entegrasyonu, bu uygulamaların kapsamını daha da genişletmektedir.

Çalışmanın uluslararası boyutunda ise görüntü işleme sistemlerinin global havacılık projelerinde nasıl konumlandığı, farklı ülkelerde uygulanan stratejiler, teknik farklılıklar ve iş birlikleri üzerinden karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmaktadır. Böylece Türkiye'nin görüntü işleme teknolojilerindeki konumu daha sağlıklı bir bağlamda ele alınmakta ve potansiyel gelişim alanlarına dair öneriler geliştirilmektedir.

Bu kapsam dâhilinde tez, sadece mevcut sistemleri betimleyen bir yaklaşım değil; aynı zamanda görüntü işleme teknolojilerinin YBS çerçevesinde yönetilmesi, sürdürülebilir veri altyapılarının kurulması ve

stratejik karar alma süreçlerine entegrasyonu gibi yönetsel ve politik boyutları da değerlendiren bütüncül bir araştırma niteliği taşımaktadır.

Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu tez çalışması, havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme teknolojilerinin kullanımına ilişkin çok yönlü bir analiz sunmayı amaçlamakla birlikte, bazı yöntemsel ve yapısal sınırlılıkları da içermektedir. Bu sınırlılıkların anlaşılması, elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve genellenebilirliği açısından önem taşımaktadır.

Öncelikle çalışmanın temel sınırlılığı, analiz edilen savunma ve uzay projelerinin büyük çoğunluğunun millî güvenlik kapsamında yürütülmesi nedeniyle birçok teknik ve operasyonel bilginin kamuya açık olmamasıdır. ANKA, AKSUNGUR, GÖKTÜRK gibi sistemlerin görüntü işleme altyapılarına dair veriler, ancak sınırlı sayıda teknik rapor, akademik makale ve resmi açıklama üzerinden elde edilebilmiştir. Dolayısıyla tezde sunulan analizler, bu sınırlı veriler ışığında yapılmış olup; bazı uygulama örnekleri soyutlamalar ve ikincil kaynaklar üzerinden yorumlanmıştır.

Bir diğer sınırlılık, görüntü işleme teknolojilerinin doğası gereği sürekli evrilen ve gelişen bir yapıya sahip olmasıdır. Yapay zekâ tabanlı sistemlerin, derin öğrenme algoritmalarının ve otomatik analiz mekanizmalarının her geçen gün yeni modellerle güncellenmesi, bu çalışmada ele alınan teknik altyapıların zamanla değişebilirliğini gündeme getirmektedir. Bu durum, çalışmanın sunduğu teknik çerçevenin belirli bir döneme ait bir kesiti temsil etmesine ve gelecekte farklı teknolojik çözümlerin ortaya çıkmasıyla birlikte güncellenme gerekliliğine işaret etmektedir.

Ayrıca çalışmanın kapsamı, Türkiye merkezli projeler ve örnek uygulamalar üzerinden yapılandırıldığı için, global düzeyde tüm havacılık projelerini ve uluslararası savunma sistemlerini kapsayacak bir evrensel model ortaya koymamaktadır. Yabancı kaynaklara erişimdeki kısıtlılıklar ve güvenlik temelli bilgi gizliliği, özellikle diğer ülkelerde kullanılan görüntü işleme sistemlerinin detaylı analizini sınırlandırmıştır. Ancak bu durum, genel stratejik

eğilimlerin değerlendirilmesini engellememiştir; çalışma, literatür taraması ve teknik incelemeler ışığında karşılaştırmalı analizleri belirli bir düzeyde gerçekleştirmektedir.

Son olarak, görüntü işleme sistemlerinin Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) perspektifinden değerlendirilmesi literatürde görece yeni bir yaklaşım olduğu için, mevcut akademik kaynakların bu çerçevede sınırlı olması da çalışmanın teorik arka planına etki eden bir diğer faktördür. Bu nedenle YBS ile görüntü işleme entegrasyonuna dair bazı yorumlar, çıkarımsal analizler ve literatürden türetilen kavramsal modellere dayandırılmıştır.

Tüm bu sınırlılıklar göz önünde bulundurularak, çalışma mümkün olan en geniş veri setine ve disiplinler arası analiz yaklaşımına dayanarak yapılandırılmış; sınırlı bilgi alanlarında ise bilimsel yorumlama yöntemleriyle tutarlı sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımı temel alınarak yapılandırılmıştır. Tezin genel amacı, havacılık ve uzay sanayisinde kullanılan görüntü işleme teknolojilerini, bu teknolojilerin Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) ile entegrasyonunu ve Türkiye'deki millî savunma projeleri kapsamında sahip olduğu stratejik rolü kuramsal ve uygulamalı çerçevede analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda, araştırma sürecinde deneysel yöntemlerden ziyade, betimleyici ve açıklayıcı yöntemler benimsenmiştir.

Literatür Taraması

Araştırmanın temelini, konuya ilişkin yapılan kapsamlı literatür taraması oluşturmaktadır. Bu bağlamda:

- Görüntü işleme, makine öğrenmesi, derin öğrenme, Yönetim Bilişim Sistemleri, karar destek sistemleri, uzay ve havacılık teknolojileri gibi çok disiplinli alanlarda yayınlanan akademik makaleler, tezler, konferans bildirileri, raporlar ve teknik dökümanlar incelenmiştir.

- Başlıca kaynaklar arasında IEEE Xplore, ScienceDirect, Google Scholar, SpringerLink, TÜBİTAK Ulakbim, DergiPark, ProQuest, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve diğer ulusal/uluslararası açık erişimli veri tabanları yer almaktadır.
- Türkiye özelinde görüntü işleme altyapılarının sınırlı sayıda bilimsel çalışmayla temsil edilmesi nedeniyle, bu tez aynı zamanda alanla ilgili öncü bir kaynak oluşturma amacı da taşımaktadır.

Kurumsal Belgelerin ve Teknik Raporların İncelenmesi

Çalışmada, yalnızca akademik yayınlar değil, aynı zamanda TUSAŞ, ASELSAN, ROKETSAN, TÜBİTAK UZAY, Savunma Sanayi Başkanlığı (SSB) gibi kurumlara ait kamuya açık teknik raporlar, proje tanıtım belgeleri ve strateji dokümanları da incelenmiştir. ANKA, AKSUNGUR, GÖKTÜRK ve İMECE gibi projelerle ilgili bilgiler, teknik belgeler ve medya kaynaklarından elde edilen veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Ancak bu projelere ilişkin bilgiler yalnızca betimleyici ve destekleyici amaçla kullanılmıştır; çalışmada doğrudan bir vaka analizi uygulanmamıştır.

Kavramsal Çerçevenin Oluşturulması

Çalışmanın teorik bir modele ya da belirli bir kuramsal altyapıya dayanmamasına rağmen, disiplinler arası bir bakış açısıyla oluşturulan kavramsal çerçevede, görüntü işleme teknolojilerinin YBS bağlamında nasıl konumlandığı betimleyici olarak ortaya konmuştur. Görsel verilerin analiz süreçleri ile karar destek sistemleri arasındaki ilişki, literatür temelli bir perspektifle açıklanmış; görüntü işleme sistemlerinin kurumsal dijitalleşme süreçlerindeki rolü değerlendirilmiştir.

Araştırma Yönteminin Sınırlılıkları

Çalışmanın yöntemsel sınırlılıkları arasında, özellikle Türkiye'deki millî savunma projelerine ilişkin teknik bilgilerin büyük ölçüde kamuya açık olmaması nedeniyle elde edilen verilerin çoğunlukla ikincil kaynaklara dayalı olması yer almaktadır. Ayrıca, araştırmada herhangi bir deneysel uygulama, yazılım

geliştirme ya da nicel analiz gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla elde edilen bulguların genellenebilirliği sınırlı olup, daha çok analitik ve betimleyici yorumlara dayanmaktadır.



BİRİNCİ BÖLÜM

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde çalışmanın temelini oluşturan kavramlar teorik açıdan ele alınmakta ve araştırma konusunu oluşturan bileşenlerin kavramsal temelleri açıklanmaktadır. Konuya ilişkin literatür doğrultusunda; yönetim bilişim sistemleri, teknoloji yönetimi ve bilgi teknolojilerinin organizasyonel yapılar üzerindeki etkileri değerlendirilerek çalışmanın kuramsal zemini oluşturulmaktadır. Bu sayede hem konunun akademik bağlamı netleştirilmekte hem de izleyen bölümlerde yapılan analizlerin anlaşılabilirliği artırılmaktadır.

2. YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ

Bilgi sistemleri, bir kuruluşun etkinliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla o kuruluş içinde uygulanır. Bilgi sisteminin yetenekleri ve kuruluşun özellikleri, çalışma sistemleri, çalışanları ve geliştirme ve uygulama metodolojileri birlikte bu amaca ne ölçüde ulaşılacağını belirler (Silver ve ark. 1995). Bilgi Sistemleri (IS) disiplindeki araştırmacıların görevi, “bilgi teknolojisinin insan organizasyonlarına ve onların yönetimine verimli bir şekilde uygulanmasına yardımcı olan bilgiyi iletirmek” (ISR, 2002) ve “hem bilgi teknolojisinin yönetimine hem de bilgi teknolojisinin yönetsel ve organizasyonel amaçlar için kullanımına ilişkin bilgiyi geliştirmek ve iletmektir” (Zmud 1997).

Kumar (2006) ve Gabriel (2012), sırasıyla, yönetim bilgi sistemlerinin tanımlanmasının öncelikle konunun üç yöne ayrılmasını gerektireceği görüşünde birleşmişlerdir: Sırasıyla Yönetim, Bilgi ve Sistemler. Buna göre Kumar (2006), yönetimi, işletme içindeki faaliyetlerin planlanması, organize edilmesi, başlatılması ve kontrol edilmesinin gerçekleştirildiği süreç olarak tanımlamıştır. Benzer şekilde yönetim, belirlenen sonuçlara ulaşmak için kuruluşun kaynaklarını verimli ve etkin bir şekilde kullanma yöntem ve teknikleriyle ilgilenen süreç olarak tanımlanmıştır (Ottih, 1995). Buna ek olarak, bilgi, kullanıcıları için anlamlı olacak şekilde işlenmiş veri akışını ifade eder. Kısaca ifade etmek gerekirse bilgi, anlamı olan organize edilmiş veridir. Öte yandan sistem, ortak bir

çıkara ulaşmak için bir bütün olarak işlev gören farklı ancak birbiriyle ilişkili ve birbirine bağlı parçaların bir araya gelmesidir (Gabriel, 2013), ortak bir amaç için bir araya getirilen bir dizi unsurdur (Kumar, 2006).

Bu görüşlerden yola çıkarak, her sistemin parçalardan oluştuğu, birbiriyle ilişkili ve birbirine bağlı olduğu; tek bir varlık haline geldiği ve sonuç olarak ortak bir amaç güttüğü tartışılabilir. Yukarıdakilerden yola çıkarak, YBS'yi tanımlamanın artık basit bir iş olduğu görülmektedir, ancak durum tam olarak böyle değildir. Lucey (2005), YBS'nin evrensel olarak kabul gören bir tanımı olmadığını ve var olanların da tanımı yapan akademisyenin vurgularını ve önyargılarını yansıttığını belirtmektedir. Bununla birlikte, konu şu tanımların ilgisini çekmiştir: bir kuruluştaki operasyon yönetimi ve karar verme işlevlerini desteklemek için bilgi sağlayan entegre bir sistem (Ajayi ve Omirin, 2007). Kendi görüşlerine göre, YBS temel olarak herhangi bir kuruluştaki karar almayı desteklemek için ilgili bilgilerin toplanması, işlenmesi, depolanması ve iletilmesi süreciyle ilgilidir (Laudon, 2007); iç ve dış kaynaklardan gelen verileri bilgiye dönüştüren bir sistemdir ve bu bilgileri, sorumlu oldukları faaliyetleri planlamak, yönlendirmek ve kontrol etmek için zamanında ve etkili kararlar almalarını sağlamak amacıyla tüm işlevlerdeki her düzeydeki yöneticilere uygun bir biçimde iletir.

Bilgi Teknolojileri dijital, metin, görüntü, grafik veya ses medyasında temsil edilen verileri ve bilgileri işler ve kullanıcıların istediği şekilde iletişim, depolama, işleme ve baskı veya sergileme ile ilgilenir. Telekomünikasyon ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelerin bir sonucudur.

Bilgi Teknolojisi (BT), karar alma için akıllı bilgi desteğiyle kıt kaynakların kullanımını optimize etmeye yardımcı olur, israfı önleyen gecikmeler olmadan koordinasyon çabalarını destekleyerek uygulanmasına daha fazla yardımcı olur. Rekabetçi ortam, kıt kaynaklar, zaman baskısı ve hedeflere ulaşmak için kaçınılmaz zorunluluklar nedeniyle karar alma çok karmaşık bir süreç haline gelmiştir.

Etkili kuruluşlar, karşılaşılabilecekleri durumlarda mümkün olan en iyi kararları alabilmelerini sağlamak için kurulmuş sistemlere ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle bir kurumsal bilgi sistemi veri toplamalı, analiz etmeli ve bunları karar noktasında uzman bilgisinin temeli olarak alınabilecek faydalı bilgiler olarak sunmalıdır. Kararlar alındıktan sonra bunları uygulayacak olanlara aktarılmalı, uygulanmalı ve operasyonun başarısı ya da başarısızlığı izlenmelidir. Giderek artan bir şekilde kararlar teknoloji kullanılarak otomatik olarak uygulanabilmekte ve böylece kurumsal hedeflere maksimum verimlilikle ulaşılabilir (Tansey, 2003). Karar verme, insanın günlük yaşamında bile organizasyonlardaki yönetsel ve denetimsel işlerin her seviyesinde yönetimin temel işlevlerinden biridir. Kuruluşlarda, üst düzey yöneticiler karar verme ve stratejik planlama yoluyla ekip veya grubu yönlendirirken, alt kademelerdeki kişiler verilen görevler temelinde günlük kararlar alırlar. Sonuç olarak, bilgi ihtiyaçları seviyelere göre farklılık göstermelidir. Bu nedenle, yönetim bilgi sistemleri sadece stratejik kararların uygulanmasında üst düzey yöneticileri desteklemekle kalmaz, aynı zamanda orta düzey yöneticilerin tekrarlayan veya günlük kararları için bilgiye erişmelerini sağlar (Momeni, 2001).

3. VERİ YÖNETİMİ VE İŞ ZEKÂSI

Veri yönetimi ve iş zekâsı (Business Intelligence - BI), modern işletmelerin veri odaklı karar alma süreçlerinin temel taşlarından biri haline gelmiştir. Küresel düzeyde dijitalleşmenin hız kazanması, veri hacminde benzeri görülmemiş bir artışı beraberinde getirmiş ve bu verilerin etkili biçimde işlenmesini, analiz edilmesini ve yönetilmesini zorunlu kılmıştır. İş zekâsı, ham veriyi bilgiye dönüştürerek stratejik karar alma süreçlerini desteklemeyi hedefler. Bu dönüşüm sürecinde kullanılan teknolojiler ve yöntemler; veri ambarları, ETL (Extract, Transform, Load) süreçleri, çevrimiçi analitik işlem (OLAP) sistemleri, veri madenciliği teknikleri ve görselleştirme araçlarını kapsar.

Günümüzde iş zekâsı uygulamaları, yalnızca büyük veri setlerinin analiz edilmesini değil, aynı zamanda bu analizlerin kurumsal stratejilerle entegre edilerek gerçek zamanlı karar mekanizmalarının oluşturulmasını da mümkün

kılmaktadır. Bu bağlamda, etkili bir veri yönetimi sistemi kurulması, iş zekâsı altyapısının başarısı açısından kritik öneme sahiptir (Chen, Chiang & Storey, 2012).

Veri ambarı, birden fazla heterojen veri kaynağından toplanan verilerin zaman içinde entegre edildiği, konuya özel organize edilen ve karar destek sistemlerinde analiz için kullanılan merkezi bir veri deposudur (Inmon, 2005). Geleneksel operasyonel sistemlerin aksine, veri ambarları veri güncelliğinden ziyade tarihsel ve analitik amaçlara hizmet eder. Bu nedenle veri ambarlarında veri genellikle denormalize edilerek performans analizi ve raporlama işlemleri kolaylaştırılır.

Veri ambarı mimarisinin temel bileşenlerinden biri olan ETL süreci; verilerin kaynak sistemlerden Extract (Çıkarma) aşamasında elde edilmesi, Transform (Dönüştürme) aşamasında standartlaştırılması ve Load (Yükleme) aşamasında veri ambarına aktarılmasını kapsar. Bu süreçte verilerin doğruluğu, bütünlüğü ve tutarlılığı sağlanır. Özellikle büyük hacimli veri kaynaklarının bulunduğu ortamlarda ETL süreçlerinin zamanında ve hatasız bir şekilde işletilmesi iş zekâsı sistemlerinin güvenilirliğini doğrudan etkiler (Kimball & Ross, 2013).

Veri ambarlarının bir diğer önemli özelliği zaman boyutudur. Her veri parçası, analiz için gerekli olan tarihsel bağlamı içerecek şekilde saklanır. Bu durum, organizasyonların geçmişe dönük eğilim analizleri yapmalarını ve stratejik kararlar almalarını sağlar.

Kan (2017), hücre görüntüleme çalışmalarında üretilen büyük boyutlu verilerin biyolojik anlamlandırılması için veri ambarı mimarisine dayalı yapay zekâ destekli iş zekâsı çözümleri geliştirmiştir. Benzer şekilde, Wolberg vd. (1995), meme kanseri teşhisinde kullanılan dijital görüntü analizleri için toplanan verileri ETL yöntemi ile dönüştürerek makine öğrenmesi tabanlı tahminleme sistemlerine entegre etmişlerdir.

Veri ambarlarının etkin kullanılabilmesi, yalnızca verilerin toplanması ve saklanmasıyla sınırlı kalmaz; aynı zamanda bu verilerin analitik biçimde işlenmesini gerektirir. Bu noktada, OLAP (Online Analytical Processing) teknolojileri devreye girmektedir. OLAP, karar destek sistemleri kapsamında verilerin çok boyutlu analizini sağlayan bir yapı sunar. Büyük veri kümeleri üzerinde hızlı, etkileşimli ve esnek analizler yapılmasına olanak tanıyan bu sistemler, kullanıcıların verileri farklı açılardan değerlendirmelerine imkân verir.

OLAP teknolojisi içerisinde, veriye yönelik analiz işlemleri “drill-down” (detaylara inme), “roll-up” (özetleme), “slice” (tek boyutta filtreleme) ve “dice” (çok boyutta filtreleme) gibi tekniklerle gerçekleştirilir. Bu sayede kullanıcılar, veri küplerini farklı perspektiflerden analiz ederek karar alma süreçlerini daha verimli ve derinlemesine yürütebilirler (Chaudhuri & Dayal, 1997). OLAP sistemleri, özellikle satış, finans, pazarlama ve operasyonel verilerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Analistler, karar vericiler veya iş birimi yöneticileri, OLAP araçları sayesinde veri ambarı üzerinde karmaşık sorgular yazarak değil, sezgisel ve görsel arayüzler üzerinden etkileşimli raporlamalar ve analizler gerçekleştirebilir. Bu yapı, klasik ilişkisel veri tabanı sistemlerine göre çok daha hızlı analiz yetenekleri sunar çünkü OLAP sistemleri verileri analiz için önceden özetlemiş ve indekslemiştir.

OLAP Türleri

OLAP sistemleri genellikle üç ana grupta sınıflandırılır:

MOLAP (Multidimensional OLAP): Veriler özel olarak tasarlanmış çok boyutlu veri tabanlarında (multi-dimensional databases) saklanır. Analiz performansı yüksektir.

ROLAP (Relational OLAP): Analizler ilişkisel veri tabanı sistemleri üzerinden gerçekleştirilir. Esneklik sağlar fakat performans açısından sınırlıdır.

HOLAP (Hybrid OLAP): MOLAP ve ROLAP'ın avantajlarını birleştirerek veri hem ilişkisel hem de çok boyutlu biçimde saklanabilir (Pendse, 2002).

Veri Küpleri (Data Cubes)

OLAP sistemlerinin temel yapı taşlarından biri olan veri küpleri, verilerin çok boyutlu biçimde temsil edildiği yapılardır. Her bir boyut, analiz yapılabilecek bir kategoriye (örneğin zaman, ürün, bölge gibi) temsil ederken, her hücre bir metrik veya ölçüm (örneğin satış miktarı, kar oranı) içerir. Bu yapı, kullanıcının verileri farklı kombinasyonlarla analiz edebilmesini sağlar. Örneğin bir satış küpü, yıllara, ülkelere ve ürün gruplarına göre toplam satışların görüntülenmesini sağlayabilir.

Veri küpleri, büyük veri setleri üzerinde yüksek performanslı analiz yapılmasını sağlamak için genellikle önceden hesaplanmış (pre-aggregated) özet veriler içerir. Bu, kullanıcı sorgularının milisaniyeler içinde yanıtlanmasını mümkün kılar (Vassiliadis, 2000).

OLAP'ın İş Zekâsındaki Rolü

OLAP teknolojisi, iş zekâsı sistemlerinin temel analiz araçlarından biridir. Kurumlar, OLAP sayesinde verileri sadece geçmişe yönelik olarak analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda eğilimleri belirleyerek stratejik öngörülerde de bulunabilir. Örneğin, bir perakende şirketi OLAP sistemini kullanarak belirli bir ürün kategorisinin yıl içindeki satış trendlerini analiz edebilir ve pazarlama stratejisini buna göre şekillendirebilir.

Veri kalitesi ve veri yönetişimi, kurumsal veri yönetiminin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Verilerin güvenilir, tutarlı ve analiz edilebilir olması, iş zekâsı sistemlerinin doğruluğu ve etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. İş zekâsı sistemleri, yalnızca veri kalitesi yüksek olduğunda doğru ve anlamlı içgörüler sunabilir. Bu nedenle, kurumların veri kalitesini güvence altına alacak politikalar ve süreçler oluşturması zorunludur (Wang & Strong, 1996).

Çevrimiçi İşlem İşleme (OLTP) Sistemleri

Çevrimiçi İşlem İşleme (Online Transaction Processing – OLTP), özellikle operasyonel veri işleme süreçlerinde kullanılan ve gerçek zamanlı işlemleri destekleyen sistemler bütünüdür. OLTP sistemleri, yüksek performanslı veri işleme yetenekleri sayesinde, çok sayıda kullanıcının eşzamanlı olarak veri oluşturma, güncelleme ve sorgulama işlemlerini hızlı bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanır (Yılmaz & Demir, 2021).

Bu sistemler, genellikle finans, sağlık, lojistik, üretim ve savunma sanayii gibi işlem yoğun sektörlerde kullanılmakla birlikte, günümüzde İHA ve uydu tabanlı izleme sistemlerinin iş zekâsı platformlarıyla bütünleştirilmesinde de kritik bir rol üstlenmektedir. Özellikle İHA'lar tarafından toplanan yüksek hacimli görüntü verilerinin, analiz edilmeden önce güvenilir ve hızlı bir şekilde sisteme kaydedilmesi, OLTP altyapılarıyla mümkündür.

OLTP Sistemlerinin Teknik Özellikleri

OLTP sistemlerinin temel teknik bileşenleri, veri bütünlüğünü sağlamak amacıyla ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) ilkelerine göre yapılandırılmıştır:

- **Atomiklik:** İşlemler ya tamamen gerçekleştirilir ya da hiç yapılmaz. Bu, kritik uygulamalarda veri tutarlılığını sağlar.
- **Tutarlılık:** Veritabanı her işlem sonunda geçerli bir duruma geçer.
- **İzolasyon:** Eşzamanlı işlemler birbirini etkilemeden gerçekleştirilir.
- **Kalıcılık:** Tamamlanmış işlemler sistem hatalarında dahi geri alınmaz (Elmasri & Navathe, 2015).

Bu özellikler, özellikle savunma ve havacılık alanlarında görev kritik uygulamalarda işlem güvenliğini sağlamak açısından hayati öneme sahiptir.

OLTP Sistemlerinin İş Zekâsı ile İlişkisi

OLTP sistemleri, iş zekâsı mimarisinde “operasyonel veri katmanı” olarak konumlanır. İHA ve uydu verilerinden gelen ham bilgiler, OLTP ortamlarında anlık olarak işlenir, saklanır ve bu süreçte hata tespiti, veri bütünlüğü ve işlem hızı sağlanır. Bu veriler daha sonra ETL (Extract, Transform, Load) süreçleriyle iş zekâsı sistemlerinin veri ambarlarına aktarılır. Böylece, OLTP sistemleri verinin ilk işlendiği ve güvenli şekilde saklandığı katman olarak OLAP sistemleri için ham madde niteliği taşır (Inmon, 2005; Chaudhuri & Dayal, 1997).

İHA ve Uydu Sistemlerinde OLTP Kullanımı

İnsansız hava araçları ve uydular, görev sırasında sürekli veri üretir. Bu veriler; sıcaklık, nem, görüntü, hareket, konum gibi çok çeşitli parametreleri içerebilir. OLTP sistemleri, bu verilerin anlık olarak toplanması, veri tabanlarına yazılması ve operasyon merkezlerine iletilmesi süreçlerinde aktif rol oynar. Örneğin, bir İHA’nın keşif uçuşu sırasında algıladığı hareketli nesneler veya hedefler, OLTP altyapısı sayesinde anında sistemde işlenebilir. Bu işlem zinciri, karar vericilere anlık veri akışı sağlayarak operasyonel tepki süresini azaltır ve etkinlik düzeyini artırır (TÜBİTAK BİLGEM, 2023).

Gerçek Zamanlı Uygulamalarda OLTP’nin Avantajları

- **Veri gecikmesinin minimize edilmesi:** Kritik görevlerde karar verme süreci hızlanır.
- **Yüksek erişilebilirlik:** Çok sayıda birimin eşzamanlı veri giriş ve çıkışı yapmasına olanak sağlar.
- **Modüler yapı:** Farklı sistemlerin entegre çalışmasına olanak tanır (örneğin, görüntü işleme sistemlerinin CBS ile birlikte çalışması).

OLTP ve OLAP Sistemlerinin Karşılaştırılması

İş zekâsı mimarilerinde veri yönetimi süreçleri iki temel yapı üzerinden yürütülmektedir: Çevrimiçi İşlem İşleme (OLTP) ve Çevrimiçi Analitik İşleme (OLAP) sistemleri. Her iki sistem de büyük veri yönetimi açısından tamamlayıcı

roller üstlenmekle birlikte, kullanım amaçları, veri yapıları ve işlem süreçleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir (Chaudhuri & Dayal, 1997).

Kullanım Amacı

OLTP sistemleri, kurumların günlük operasyonel süreçlerini desteklemek amacıyla tasarlanmıştır. Gerçek zamanlı veri girişi, güncelleme ve silme işlemleri bu yapı üzerinden gerçekleştirilir. Öte yandan, OLAP sistemleri karar destek süreçlerine yönelik olup, tarihsel veriler üzerinden çok boyutlu analizler ve stratejik raporlamalar yapılmasına olanak tanır.

Veri Yapısı ve Organizasyonu

OLTP sistemlerinde veriler çoğunlukla normalleştirilmiş yapılarda saklanır. Bu, veri tekrarını önleyerek veri tabanında tutarlılığı artırır ve işlem hızını optimize eder. OLAP sistemleri ise analiz performansını artırmak için verileri genellikle denormalize edilmiş, yani özetlenmiş yapılar hâlinde depolar. Veri küpleri (data cubes) ve çok boyutlu veri modelleri OLAP'ın temel bileşenlerindendir.

İşlem Tipleri ve Kullanıcı Profili

OLTP işlemleri kısa ve sık yapılan işlemlerden oluşur; örneğin bir İHA'dan gelen görüntü verisinin anlık olarak kaydedilmesi, bir sensör verisinin güncellenmesi gibi. Bu sistemleri genellikle saha operatörleri ve sistem yazılımları kullanır. OLAP sistemleri ise daha çok yöneticiler, analistler ve karar vericiler tarafından kullanılır. Bu sistemler karmaşık sorgular, çoklu kriterlere göre raporlama ve geçmişe yönelik karşılaştırmalar yapmak için uygundur.

Performans Kriterleri

OLTP sistemlerinde yanıt süresi ve işlem doğruluğu ön plandadır; çünkü bu sistemlerde işlemler milisaniyeler düzeyinde gerçekleşir. OLAP sistemlerinde ise sorgu hızı ve çok boyutlu analiz kapasitesi temel performans ölçütleridir.

OLAP sistemleri, verinin çok yönlü ve anlamlı şekilde analiz edilmesine odaklanır.

Uygulama Alanları

OLTP sistemleri genellikle bankacılık, e-ticaret, ulaşım, sağlık ve savunma gibi sürekli veri akışının olduğu alanlarda kullanılır. OLAP sistemleri ise yönetsel planlama, pazar analizi, bütçe değerlendirmesi ve stratejik tahminleme gibi daha üst düzey bilgi ihtiyacına yönelik olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1: OLTP ve OLAP sistemlerinin temel farklarının karşılaştırılması

Kriter	OLTP	OLAP
Amaç	Günlük işlemler	Karar destek / analiz
Kullanıcı	Operatör, sistem yazılımları	Yöneticiler, analistler
Veri Yapısı	Normalleştirilmiş	Denormalize (özet)
İşlem Tipi	Kısa, sık, gerçek zamanlı	Uzun, karmaşık sorgular
Performans Hedefi	Hızlı yanıt, veri bütünlüğü	Esnek sorgu performansı
Örnek Uygulama	Anlık İHA verisi kaydı	Görev başarımları analizi

Kaynak: Chaudhuri & Dayal, 1997; Inmon, 2005.

Bu iki yapı birlikte çalışarak, organizasyonların hem operasyonel verimliliğini hem de stratejik karar alma kapasitesini artırmaktadır. OLTP sistemlerinden elde edilen anlık veriler, ETL süreçleri aracılığıyla OLAP sistemlerine aktarılır ve burada çok boyutlu analizler için kullanılır (Inmon, 2005).

Veri Kalitesi (Data Quality)

Veri kalitesi, verinin kurumsal gereksinimleri karşılama derecesi olarak tanımlanır. Genel olarak aşağıdaki boyutlarla değerlendirilir:

- **Doğruluk (Accuracy):** Verinin gerçek dünyadaki durumu ne derece yansıttığı.
- **Tutarlılık (Consistency):** Farklı veri kaynaklarındaki bilgilerin birbiriyle uyumlu olup olmaması.

- **Eksiksizlik (Completeness):** Verinin tüm gerekli alanlarının eksiksiz doldurulmuş olması.
- **Güncellik (Timeliness):** Verinin analiz için uygun zamanda güncellenmiş olması.
- **Tekillik (Uniqueness):** Her bir kaydın sistemde yalnızca bir kez yer alması.

Veri kalitesinin bozulması, iş zekâsı sistemlerinde yanlış analizler ve hatalı kararlar alınmasına yol açabilir. Özellikle sağlık, finans ve savunma gibi yüksek riskli sektörlerde veri kalitesi, operasyonel güvenlik açısından da önem taşır (Redman, 1998).

Veri Yönetişimi (Data Governance)

Veri yönetişimi, bir kurumun veri varlıklarını nasıl yönettiğine dair rollerin, sorumlulukların, süreçlerin ve politikaların sistematik bir çerçevede tanımlandığı bir disiplindir. Etkili bir veri yönetişimi, aşağıdaki unsurları içerir:

- **Veri Sahipliğı (Data Ownership):** Verinin sorumluluğunun belirli birey veya ekiplerde olması.
- **Veri Politikaları (Policies):** Verinin nasıl toplanacağı, işleneceğı, paylaşılacağı ve korunacağına dair kurallar.
- **Meta Veriler ve Kataloqlama:** Verilerin tanımlayıcı bilgilerle (metadata) birlikte saklanması.
- **Uyumluluk (Compliance):** KVKK, GDPR gibi yasal düzenlemelere uygun veri yönetimi.

Gartner'a göre veri yönetişimi; veri kalitesi, bütünlük, güvenlik ve erişilebilirlik gibi veri yönetimi faaliyetlerinin kurumsal düzeyde standartlaştırılmasını ve sürdürülebilir hale getirilmesini sağlar (Ladley, 2012).

İş Zekâsı Bağlamında Etkileri

Veri kalitesi ve yönetişimi, BI sistemlerinin doğruluğunu doğrudan etkiler. Yüksek kaliteli verilerle desteklenen BI sistemleri, sadece geçmişe yönelik analiz

değil, aynı zamanda tahmine dayalı analitiklerde de daha güçlü öngörüler sunabilir. Kan (2017) ve Madabhushi & Lee (2016), biyomedikal görüntü analizlerinde kullanılan iş zekâsı altyapılarında veri kalitesinin hem model başarısını hem de klinik karar destek performansını belirleyici unsur olduğunu vurgulamışlardır.

Veri yönetimi ve analiz sistemlerinin evrimi, yalnızca verileri saklamak ve görselleştirmekle sınırlı kalmamakta; giderek daha öngörücü, otonom ve akıllı sistemlere yönelmektedir. Bu dönüşümde, yapay zekâ (Artificial Intelligence – AI) ve makine öğrenimi (Machine Learning – ML) teknolojilerinin iş zekâsı sistemlerine entegrasyonu, kurumların veri temelli karar alma yetkinliklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle büyük veri analitiği çağında, yalnızca geçmişin raporlanması yetersiz kalmakta; bu teknolojiler sayesinde geleceğe dair tahminlerde bulunmak, riskleri önceden belirlemek ve operasyonel süreçleri otomatikleştirmek mümkün hâle gelmektedir. Bu kapsamda, iş zekâsı çözümlerinde yapay zekâ ve makine öğrenimi uygulamaları giderek daha merkezi bir konuma yerleşmektedir (Davenport & Ronanki, 2018).

Yapay zekâ, genel anlamda makinelerin insan benzeri bilişsel görevleri yerine getirebilmesini sağlayan geniş kapsamlı bir teknoloji alanıdır. Bu görevler; doğal dil işleme, görsel tanıma, tahminleme, karar verme ve öğrenme gibi yetenekleri içermektedir. İş zekâsı bağlamında ele alındığında, yapay zekâ sistemleri kurumsal verilerdeki örüntüleri analiz ederek anlamlı sonuçlara ulaşmakta, kullanıcıya aksiyon önerileri sunmakta ve stratejik karar destek mekanizmalarını güçlendirmektedir. Özellikle veri hacminin ve karmaşıklığının arttığı senaryolarda, yapay zekâ sistemlerinin sunduğu otomasyon ve sezgisel analiz kabiliyeti, insan karar alıcılarının iş yükünü azaltmakta ve karar süreçlerinin hızını artırmaktadır.

Makine öğrenimi ise, yapay zekânın bir alt dalı olarak sistemlerin veriler üzerinden öğrenmesini ve zamanla performanslarını geliştirmesini sağlamaktadır. İş zekâsı uygulamalarında makine öğrenimi algoritmaları, geçmiş verilerden öğrenerek gelecekteki eğilimleri öngörebilmekte; bu sayede dinamik raporlama,

risk analizi, müşteri davranışı tahmini gibi alanlarda yüksek isabetli çıktılar üretilmektedir. Literatürde, finansal modelleme, müşteri ilişkileri yönetimi ve sağlık bilişimi gibi çok çeşitli alanlarda makine öğrenimi temelli iş zekâsı çözümlerinin başarıyla uygulandığı görülmektedir (Chaudhuri, Dayal & Narasayya, 2011).

Makine Öğrenimi (ML) ve Türleri

Makine öğrenimi, veriden öğrenen ve bu öğrenmeye dayalı tahmin veya sınıflandırma yapan algoritmalar bütünüdür. ML genellikle üç ana kategoriye ayrılır:

- **Denetimli Öğrenme (Supervised Learning):** Giriş ve çıkış verileri bellidir; amaç, girdi ile çıktı arasındaki ilişkiyi modellemektir. Örn: satış tahminleme, müşteri terk tahmini.
- **Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning):** Sadece giriş verisi vardır; amaç, veri içinde gizli yapıları ortaya çıkarmaktır. Örn: müşteri segmentasyonu.
- **Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning):** Karar vericinin çevreyle etkileşim içinde öğrenme süreci. Örn: dinamik fiyatlandırma, kaynak tahsisi.

BI Sistemlerinde Uygulama Örnekleri

Makine öğrenimi, iş zekâsı altyapılarında şu amaçlarla kullanılmaktadır:

- **Tahmine Dayalı Analitik:** Gelecekteki eğilimlerin veya olayların öngörülmesi (örneğin, stok yetersizliği tahmini).
- **Anomali Tespiti:** Beklenmeyen durumların (dolandırıcılık, sistem arızası) otomatik tespiti.
- **Doğal Dil Sorgulama:** Kullanıcıların veritabanlarına doğal dille sorgu gönderebilmesi.
- **Otomatik Raporlama ve Görselleştirme:** Verilere göre dinamik olarak oluşan görsel özetler ve açıklamalar.

Sunil Kumar Vengalil'in (2022) tıbbi görüntü analizi üzerine yaptığı çalışmada, fonksiyonel bölgelerin otomatik segmentasyonu ve patolojik yapıların tespiti amacıyla çok görevli derin öğrenme modelleri geliştirilmiştir. Bu tür yaklaşımlar, görüntü temelli verilerin çok boyutlu analizini iş zekâsı altyapılarına entegre ederek tıbbi karar destek sistemlerini güçlendirmektedir.

Ayrıca, Kan (2017) hücre görüntülerinin işlenmesinde aktif öğrenme ve denetimli öğrenme tekniklerini kullanarak segmentasyon ve izleme işlemlerini optimize eden bir BI sistem önerisi sunmuştur.

Self-Service BI ve Kullanıcı Deneyimi

Self-Service BI (Kendi Kendine Hizmet İş Zekâsı), teknik bilgiye sahip olmayan kullanıcıların, IT departmanına bağlı kalmaksızın veri sorgulama, analiz ve raporlama işlemlerini doğrudan gerçekleştirebilmelerini sağlayan bir iş zekâsı yaklaşımıdır. Bu paradigma, geleneksel BI araçlarının sınırlayıcı yapısından sıyrılarak, kurumsal veriye doğrudan etkileşim kurulmasını mümkün kılar (Gartner, 2016).

Self-Service BI'nın Temel Özellikleri

- **Kullanıcı Dostu Arayüzler:** Sürükle-bırak özellikli görsel araçlar sayesinde veri analizi teknik olmayan kişiler tarafından yapılabilir.
- **Veriye Hızlı Erişim:** IT'ye bağımlı olmadan veri kaynaklarına doğrudan erişim.
- **Esnek Raporlama ve Görselleştirme:** Gerçek zamanlı grafikler, tablolar ve panolar kullanıcı tarafından kişiselleştirilebilir.
- **Kolay Paylaşım:** Raporlar ve analizler hızlıca paylaşılabilir, iş birliği yapılabilir.

Bu yapı, kurumsal düzeyde veri odaklı karar alma kültürünü güçlendirir. Self-service BI, sadece karar alıcılar için değil, operasyonel ekipler için de önemli bir araçtır; çünkü veriye erişimin demokratikleştirilmesiyle, tüm organizasyon daha hızlı ve bilgiye dayalı tepkiler verebilir (Imhoff & White, 2011).

Kullanıcı Deneyimi (UX) ve BI Entegrasyonu

İş zekâsı sistemlerinin başarısı yalnızca işlevsellikle değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimi ile de doğrudan ilişkilidir. Kullanıcıların BI araçlarını benimsemesi; öğrenme eğrisinin kısa olması, arayüzlerin sezgisel olması ve kişiselleştirme seçeneklerinin varlığına bağlıdır. Özellikle **veri görselleştirme** araçları (örneğin Power BI, Tableau, QlikView), kullanıcıların veriye dayalı içgörü oluşturmalarını kolaylaştırmakta ve BI sistemlerinin yaygın kullanımını teşvik etmektedir (Few, 2009).

UX odaklı BI çözümleri aynı zamanda mobil cihazlara uyumlu arayüzler, sesli komut sistemleri ve doğal dil işleme (NLP) destekli sorgulama gibi yenilikçi özellikler içermektedir. Bu, özellikle saha ekipleri ve yöneticiler için anlık ve yerinde karar alma süreçlerini güçlendirir.

Kurumların dijital dönüşüm süreçlerinde en önemli unsurlardan biri olan sistem entegrasyonu hem mühendislik hem de bilgi teknolojileri bağlamında stratejik bir rol oynamaktadır. Mühendislik alanında sistem entegrasyonu, çeşitli alt sistemlerin bir araya getirilerek genel bir sistemin işlevselliğini sağlamaya yönelik birleştirme süreci olarak tanımlanırken; bilgi teknolojilerinde, farklı bilgi işlem sistemleri ve yazılım uygulamalarının fiziksel ya da işlevsel olarak birbirine bağlanmasıyla ortaya çıkan, koordineli çalışan bir bütün oluşturma süreci olarak kabul edilmektedir. Bu süreç sayesinde organizasyonlar, dağınık veri kaynaklarını ve bağımsız çalışan sistemleri tek bir merkezi yapıya entegre ederek verimlilik ve kontrol avantajı elde edebilmektedir.

Bu noktada Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) çözümleri öne çıkmaktadır. ERP sistemleri, muhasebe, insan kaynakları, üretim, tedarik zinciri yönetimi gibi kurumsal süreçleri tek bir çatı altında birleştirmeyi amaçlar. ERP sağlayıcıları hem önceden yapılandırılmış hem de kuruma özgü uyarlanabilir çözümler sunarak entegrasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu çözümler; kuruluşun yazılım altyapısı, mevcut bilgi teknolojileri kaynakları, kullandığı uygulamaların sayısı, bu uygulamaların bulut veya şirket içi (on-premise) olup olmaması,

organizasyonun büyüme hedefleri ve ölçeklenebilirlik ihtiyaçları gibi değişkenlere bağlı olarak farklılaşmaktadır.

ERP entegrasyonunda yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında noktadan noktaya (point-to-point) entegrasyon, kurumsal servis veri yolu (Enterprise Service Bus – ESB) ve hizmet olarak platform entegrasyonu (Integration Platform as a Service – iPaaS) yer almaktadır. Bu yöntemler, sistemler arası veri iletişimini kolaylaştırarak süreçlerin otomasyonunu, veri senkronizasyonunu ve bütünleşik analizleri mümkün kılmaktadır. Böylece işletmeler hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de daha bütünsel ve gerçek zamanlı kararlar alabilmektedir.

Noktadan Noktaya Entegrasyon

Noktadan noktaya entegrasyon, iki sistemin doğrudan bağlanmasını sağlar. BT ekipleri, iki sistem arasında doğrudan iletişim kurmak için özel kod kullanır ve yüksek düzeyde kontrol sunar. Noktadan noktaya entegrasyon, genellikle asgari yazılım entegrasyonlarına sahip temel sistemler için daha düşük maliyetli bir seçenektir.

Birçok uygulamayı içeren daha büyük entegrasyonlar için ölçeklenebilirlik, BT departmanlarının bu modelde sürdürmesi zor olabilir. Noktadan noktaya bağlantılar, BT departmanlarının kod oluşturmasını ve sürdürmesini gerektirir; bu da maliyetli ve zaman alıcı olabilir.

Kurumsal Servis Veri Yolu

ESB, farklı yazılım sistemlerinin entegrasyonunu yöneten merkezi bir yazılım bileşenidir. Genellikle şirket içi mimarilerdeki karmaşık entegrasyonlar için kullanılır.

ESB, bilgileri uygulamalar arasında dönüştüren bağlayıcıları kullanarak bilgileri standartlaştırır. Bu orta çeviri katmanına iletişim veri yolu denir. ESB, eski sistemleri bütünleştirirken güçlü bir araçtır ancak bulut uygulamaları için en güçlü seçenek değildir. Noktadan noktaya gibi, ESB de entegre etmek ve sürdürmek için bir BT departmanından teknik uzmanlık gerektirir.

Hizmet Olarak Platform Entegrasyonu (iPaaS)

iPaaS, farklı BT ortamlarında barındırılan birden fazla uygulamadan gelen verileri entegre etmek için kullanılan bir dizi self-servis, bulut tabanlı araç ve çözümdür. iPaaS, büyük kuruluşlar tarafından kullanılan büyüyen bir hizmet olarak yazılım (SaaS) çözümleri ekosistemini yönetmeye yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİLERİNİN TEMELLERİ

İnsan görüşü en önemli ve karmaşık algı mekanizmalarından biridir. Nispeten basit görevler (örneğin nesne tanıma) ve çok karmaşık görevler (örneğin planlama, karar verme, bilimsel araştırma, insan zekasının geliştirilmesi) için gereken bilgileri sağlar. 'Bir resim bin kelimeye bedeldir' Çin atasözü tek bir resimde bulunan bilgi miktarını doğru bir şekilde ifade eder. Resimler (görüntüler) toplumumuzun bir kitle iletişim aracı olarak örgütlenmesinde önemli bir rol oynar. Çoğu medya (örneğin gazeteler, TV, sinema) bilgi taşıyıcıları olarak resimleri (hareketli veya hareketsiz) kullanır. Optik bilginin muazzam hacmi ve işlenmesi ve iletilmesi ihtiyacı, dijital bilgisayarlar tarafından görüntü işlemeye giden yolu açtı. İlgili çabalar 1964 civarında Jet Propulsion Laboratory'de (Pasadena, California) başladı ve aydan gelen uydu görüntülerinin dijital işlenmesiyle ilgiliydi. Kısa süre sonra, dijital görüntü işleme adı verilen yeni bir bilim dalı ortaya çıktı. O zamandan beri muazzam bir büyüme gösterdi ve örneğin çeşitli alanlarda önemli bir teknolojik etki yarattı. Telekomünikasyon, televizyon yayıncılığı, matbaa ve grafik sanatları endüstrisi, tıp ve bilimsel araştırma alanlarında.

Dijital görüntü işleme, bir görüntünün dijital formata dönüştürülmesi ve dijital bilgisayarlar tarafından işlenmesiyle ilgilidir. Dijital görüntü işleme sisteminin hem girişi hem de çıkışı dijital görüntülerdir. Dijital görüntü analizi, dijital görüntü içeriğinin tanımlanması ve tanınmasıyla ilgilidir. Girişi dijital bir görüntüdür ve çıkışı sembolik bir görüntü tanımıdır. Birçok durumda, dijital görüntü analiz teknikleri insan görme işlevlerini simüle eder. Bu nedenle, bilgisayar görüşü terimi dijital görüntü analizinin eşdeğeri (veya üst kümesi)

olarak kullanılabilir. İnsan görüşü çok karmaşık bir nörofizyolojik süreçtir. Geçtiğimiz on yıllarda bu alanda kaydedilen muazzam ilerlemeye rağmen, özellikleri yalnızca kısmen bilinmektedir. Bu nedenle, dijital görüntü analizi ve bilgisayar görüşü ile simülasyonu çok zor bir iştir. Genel olarak, dijital görüntü analizi ve bilgisayar görüşünde kullanılan teknikler, her ikisinin de benzer hedefleri olmasına rağmen, insan görsel algı mekanizmalarından büyük ölçüde farklıdır.

Dijital görüntü işleme ve bilgisayarlı görüş tekniklerinin bir diğer sınıflandırması üç ayrı sınıfa ayrılır: düşük seviyeli görüş, orta seviyeli görüş ve yüksek seviyeli görüş. Düşük seviyeli görüş algoritmaları esasen dijital görüntü işleme algoritmalarıdır: girişleri ve çıkışları dijital görüntülerdir. Orta seviyeli görüş algoritmaları giriş olarak dijital görüntülere ve çıkış olarak görüntü özelliklerinin düşük seviyeli sembolik gösterimlerine sahiptir (ör. nesne konturlarının gösterimleri). Yüksek seviyeli görüş algoritmaları hem giriş hem de çıkış için sembolik gösterimler kullanır. Yüksek seviyeli görüş, yapay zekâ ve desen tanıma ile yakından ilişkilidir. İnsan görsel algısının (görüntü anlama) yüksek seviyelerini simüle etmeye çalışır.

5. BİLGİSAYARLI GÖRÜ VE DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARI

Derin öğrenme, beynin çok modlu bilgileri nasıl algıladığını ve anladığını taklit eden çoklu soyutlama düzeyleriyle verileri öğrenmesini ve temsil etmesini sağlayan çoklu işlem katmanlarının hesaplamalı modellerine olanak tanır, böylece büyük ölçekli verilerin karmaşık yapılarını örtük olarak yakalar. Derin öğrenme, sinir ağlarını, hiyerarşik olasılık modellerini ve çeşitli gözetimsiz ve gözetimli özellik öğrenme algoritmalarını kapsayan zengin bir yöntem ailesidir. Derin öğrenme yöntemlerine olan ilginin son zamanlarda artması, çeşitli görevlerde önceki en son teknoloji tekniklerinden daha iyi performans gösterdiklerini göstermeleri ve farklı kaynaklardan (örneğin görsel, işitsel, tıbbi, sosyal ve sensör) gelen karmaşık verilerin bolluğundan kaynaklanmaktadır.

İnsan beynini simüle eden bir sistem yaratma hırsı, sinir ağlarının ilk gelişimini körükledi. 1943'te McCulloch ve Pitts, beynin nöron adı verilen

birbirine bağılı temel hücreleri kullanarak nasıl son derece karmaşık desenler üretebileceğini anlamaya çalıştılar. McCulloch ve Pitts'in MCP modeli adı verilen nöron modeli, yapay sinir ağlarının geliştirilmesine önemli katkılarda bulunmuştur. LeNet ve Uzun Kısa Süreli Bellek de dahil olmak üzere alandaki bir dizi önemli katkı, günümüzün "derin öğrenme çağına" kadar uzanan Tablo 1'de sunulmaktadır. Derin öğrenmedeki en önemli atılımlardan biri, Hinton ve arkadaşlarının, gözetimsiz bir şekilde her seferinde bir katmanı açgözlülükle eğiten çok katmanlı Sınırlı Boltzmann Makineleri ile Derin İnanç Ağı'nı 2006'da tanıtmasıyla gerçekleşti. Son on yılda derin mimariler ve derin öğrenme algoritmalarındaki artışa yol açan bir dizi gelişmenin arkasındaki temel ilke, her seviyede yerel olarak gerçekleştirilen gözetimsiz öğrenmeyi kullanarak ara düzey temsillerin eğitime rehberlik etmektir.

6. GÖRÜNTÜ VERİSİ DEPOLAMA VE GÜVENLİK

Görüntü verisi, dijital ortamlarda elde edilen fotoğraflar, videolar, uydu görüntüleri ve sensör verileri gibi çok çeşitli veri türlerini kapsar. Dijital görüntülerin hacmi son yıllarda önemli ölçüde artmış, bu da güvenli ve verimli depolama çözümlerine olan ihtiyacı beraberinde getirmiştir (Gonzalez & Woods, 2018). Sağlık, savunma, uzay araştırmaları ve medya gibi sektörlerde üretilen büyük hacimli görüntü verileri, yalnızca depolanmakla kalmamakta, aynı zamanda erişim, analiz ve paylaşım süreçlerinde de güvenlik ve bütünlük ihtiyaçlarını ortaya çıkarmaktadır.

Görüntü verilerinin depolanmasında genellikle yüksek kapasiteli veri merkezleri, bulut tabanlı depolama çözümleri ve özel veri ambarları kullanılmaktadır. Bulut bilişim teknolojileri, esnek kapasite, erişim kolaylığı ve maliyet etkinliği avantajları nedeniyle görüntü verisi depolamada önemli bir rol oynamaktadır (Armbrust et al., 2010). Ancak, bulut ortamlarında depolanan görüntü verilerinin güvenliği, veri ihlalleri, yetkisiz erişim, veri bütünlüğü kaybı ve hizmet kesintileri gibi riskleri de beraberinde getirmektedir.

Veri güvenliği, görüntü verilerinin hem fiziksel hem de dijital tehditlere karşı korunmasını kapsar. Bu doğrultuda şifreleme teknikleri, erişim kontrol

sistemleri, güvenli ağ protokolleri ve yedekleme mekanizmaları kullanılmaktadır. Özellikle hassas içerik taşıyan sağlık verileri, askeri görüntüler ve kişisel veriler için, veri koruma mevzuatlarına (örneğin GDPR gibi) uygunluk büyük önem taşımaktadır (Tankard, 2012).

Bunun yanı sıra, blok zinciri (blockchain) teknolojisi gibi yeni nesil veri yönetim sistemleri, görüntü verilerinin güvenliğini ve doğruluğunu sağlamak için alternatif çözümler sunmaktadır. Blockchain tabanlı sistemler, veri değişikliklerini kaydederek veri manipülasyonunu önlemekte ve erişim kayıtlarının şeffaf bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır (Casino, Dasaklis, & Patsakis, 2019).

Görüntü verilerinin depolanması ve güvenliğinin sağlanması, yalnızca teknik altyapı yatırımı ile değil, aynı zamanda kullanıcı eğitimleri, düzenli güvenlik denetimleri ve güncel tehditlere karşı sürekli izleme politikaları ile desteklenmelidir. Bu şekilde, görüntü verilerinin bütünlüğü korunabilir ve yetkisiz erişim riskleri minimuma indirilebilir.

İKİNCİ BÖLÜM

Bu bölümde çalışmanın temelini oluşturan kavramlar teorik açıdan ele alınmakta ve araştırma konusunu oluşturan bileşenlerin kavramsal temelleri açıklanmaktadır. Konuya ilişkin literatür doğrultusunda; yönetim bilişim sistemleri, teknoloji yönetimi ve bilgi teknolojilerinin organizasyonel yapılar üzerindeki etkileri değerlendirilerek çalışmanın kuramsal zemini oluşturulmaktadır. Bu sayede hem konunun akademik bağlamı netleştirilmekte hem de izleyen bölümlerde yapılan analizlerin anlaşılabilirliği artırılmaktadır.

1. HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİ VE YBS UYGULAMALARI

Havacılık ve uzay sanayisi, teknolojinin en ileri uygulama alanlarından biri olarak, ülkelerin ekonomik ve stratejik güçlerini belirleyen önemli bir sektör konumundadır. Uçaklar, helikopterler, uydular, roketler ve uzay araçlarının tasarımı, üretimi, bakımı ve işletilmesi gibi kapsamlı süreçleri içeren bu sanayi, yüksek düzeyde mühendislik bilgisi ve ileri teknoloji kullanımını gerektirmektedir (Anderson, 2017). İleri malzeme teknolojileri, aerodinamik tasarım, itki sistemleri ve elektronik donanımların yanı sıra, dijitalleşmenin etkisiyle bilgi sistemleri de sektörde kritik bir rol oynamaya başlamıştır.

Bu kapsamda, Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) havacılık ve uzay sanayisinde karar destek mekanizmalarının güçlendirilmesi, süreçlerin dijitalleştirilmesi ve verimliliğin artırılması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Laudon & Laudon, 2020). YBS uygulamaları sayesinde üretim yönetimi, bakım planlaması, tedarik zinciri optimizasyonu ve büyük veri analitiği gibi alanlarda daha etkili yönetim modelleri geliştirilmekte, böylece sektördeki operasyonel süreçler daha hızlı, daha güvenli ve daha ekonomik hale getirilmektedir. Bu bölümde, havacılık ve uzay sanayisinin genel yapısı ile Yönetim Bilişim Sistemleri uygulamalarının sektöre sağladığı katkılar ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

1.1. Havacılık ve Uzay Sanayisinde Teknoloji

Havacılık ve uzay sanayisi, dijitalleşmenin ve ileri mühendislik tekniklerinin en yoğun biçimde kullanıldığı sektörlerin başında gelmektedir. Günümüzde uçak, uydu ve insansız hava aracı (İHA) sistemleri yalnızca mekanik yapılarına bağlı kalmaksızın, entegre sensör ağları, gömülü yazılımlar, yapay zekâ tabanlı karar destek mekanizmaları ve büyük veri analitiği ile donatılmıştır. Bu dönüşüm hem sistem mühendisliğinde hem de operasyonel yönetim süreçlerinde köklü bir paradigma değişimine işaret etmektedir.

Özellikle uçuş kontrol sistemleri, bakım yönetim altyapıları ve gözetim sistemlerinde artan bilgisayarlaştırma oranı, sistemlerin daha fazla veri üretmesini ve bu verilerin anlık olarak analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Modern hava taşıtı sistemlerinin giderek karmaşık hâle gelen tasarımı, sürdürülebilirlik, güvenlik ve maliyet etkinliği gibi kriterleri de aynı anda karşılamak zorundadır (Krol et al., 2020; Schuh et al., 2018). Bu durum, havacılık sektöründe dijital ikiz teknolojisi, dijital fabrika, model tabanlı sistem mühendisliği (MBSE) gibi kavramların da hızla benimsenmesine neden olmuştur.

Aynı zamanda sistemin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, operasyonel verilerin ve görev sonrası kayıtların analitik yöntemlerle işlenmesiyle desteklenmektedir. Ancak bu gelişmiş veri altyapıları, bir yandan da veri yoğunluğuna bağlı olarak bilgi yönetiminde zorluklara yol açmaktadır. Artan bilgi akışı, hem tedarikçiler hem de operatörler için merkezi ve ortak bir soruna dönüşmekte; verinin anlamlandırılması, doğruluğunun kontrolü ve karar süreçlerine entegre edilmesi karmaşık hâle gelmektedir (Miller et al., 2019).

Bu bağlamda, kullanıcıların bilgiye erişimi, bilgiyi yorumlama becerisi ve bu bilgidен anlamlı sonuçlar çıkarma kapasitesi kritik hâle gelmiştir. Günümüzde bilgiye ulaşmak kadar, o bilginin işlenmesi ve doğru biçimde yorumlanması da teknolojik başarının temelini oluşturmaktadır (Lee & Kim, 2017). Karar verme sürecinde karşılaşılan bilgi eksikliklerinin önemli bir kısmı, aşırı veri yükü, bilgi adacıkları ve silo yapılarından kaynaklanmakta; bu da sistemin genel verimliliğini olumsuz etkilemektedir (Johnson, 2016; Wagner, 2018).

Özellikle yaşam döngüsü yönetimi (Life Cycle Management - LCM) ve operasyonel performans yönetimi (Operational Performance Management - OPM) açısından, sistem tedarikçileri ile operatörler arasında etkili bir veri ve bilgi alışverişi zorunlu hâle gelmiştir. Bu gereklilik, yalnızca teknik verilerin değil, aynı zamanda bakım raporlarının, kullanıcı geri bildirimlerinin ve çevresel faktörlerin de entegre edilmesini zorunlu kılar (Nguyen et al., 2021).

Bu noktada, gelişmiş bilgi sistemleri, karar destek altyapıları ve entegre yazılım çözümleri, havacılık ve uzay sanayisinde veri temelli yönetim anlayışının yerleşmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli analiz sistemleri, uçuş verilerinin anlık olarak değerlendirilmesine, olası arızaların öngörülmesine ve bakım süreçlerinin otomatikleştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca dijital ikiz teknolojileri, sistemin fiziksel ve dijital kopyaları arasında sürekli bir veri akışı sağlayarak, operasyon öncesi simülasyonlardan, görev sonrası performans analizlerine kadar çok katmanlı bir kontrol mekanizması oluşturur (Krol et al., 2020).

Sonuç olarak, havacılık ve uzay sanayisinde teknolojik gelişmelerin yönü yalnızca mühendislik değil, aynı zamanda bilgi sistemleri yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. Verinin etkin kullanımı, sistem güvenliği, karar verme süreçlerinin doğruluğu ve operasyonel maliyetlerin kontrolü açısından kritik bir başarı faktörü hâline gelmiştir.

1.2. Görüntü İşleme Sistemlerinin YBS ile Entegrasyonu

Günümüzde işletmeler, karar alma süreçlerini desteklemek ve operasyonel verimliliği artırmak amacıyla dijital teknolojilere yönelmektedir. Bu bağlamda, görüntü işleme sistemlerinin Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) ile entegrasyonu, işletmelere görsel verilerin analiz edilmesi ve bu verilerin karar destek sistemlerine entegre edilmesi konusunda önemli avantajlar sunmaktadır.

Görüntü işleme, dijital görüntülerin analiz edilerek anlamlı bilgilere dönüştürülmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, üretim hatlarında kalite kontrol, sağlık sektöründe teşhis destek sistemleri ve güvenlik alanında yüz tanıma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Gonzalez & Woods, 2018).

YBS ise, işletmelerin bilgi ihtiyaçlarını karşılamak üzere verilerin toplanması, işlenmesi ve raporlanmasını sağlayan sistemlerdir. Görüntü işleme sistemlerinin YBS ile entegrasyonu, işletmelerin görsel verileri daha etkin kullanmalarına olanak tanımaktadır.

Bu entegrasyonun sağlanması, genellikle uygulama programlama arayüzleri (API'ler) veya özel yazılım çözümleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Örneğin, üretim sektöründe bir görüntü işleme sistemi, ürünlerin kalite kontrolünü otomatikleştirerek, tespit edilen kusurları YBS'ye raporlayabilir. Bu sayede, işletmeler hem üretim süreçlerini optimize edebilir hem de kalite standartlarını sürdürebilir (Accedia, 2023).

Ayrıca, sağlık sektöründe görüntü işleme sistemlerinin YBS ile entegrasyonu, hastaların tıbbi görüntülerinin elektronik sağlık kayıtlarıyla ilişkilendirilmesini sağlar. Bu entegrasyon, doktorların hastaların geçmiş görüntülerine hızlı erişimini mümkün kılarak, daha doğru ve hızlı teşhis konulmasına yardımcı olur (IDEXX, 2023).

Ancak, bu entegrasyon süreci bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Farklı sistemlerin uyumluluğu, veri güvenliği ve gizliliği gibi konular, entegrasyon sürecinde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerdir. Özellikle sağlık ve finans gibi hassas verilerin işlendiği sektörlerde, veri güvenliği standartlarına uyum büyük önem taşımaktadır (Tankard, 2012).

1.3. İHA ve Uydu Verilerinin İş Zekâsı Platformlarında Kullanımı

Günümüzde işletmeler, karar alma süreçlerini desteklemek ve operasyonel verimliliği artırmak amacıyla dijital teknolojilere yönelmektedir. Bu bağlamda, İnsansız Hava Araçları (İHA) ve uydu verilerinin iş zekâsı (BI) platformlarıyla entegrasyonu, işletmelere görsel verilerin analiz edilmesi ve bu verilerin karar destek sistemlerine entegre edilmesi konusunda önemli avantajlar sunmaktadır.

İHA'lar ve uydular, yüksek çözünürlüklü görüntüler ve çeşitli sensör verileri sağlayarak, tarım, savunma, çevre izleme ve şehir planlaması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu verilerin iş zekâsı platformlarına entegrasyonu,

büyük veri analitiği, makine öğrenimi ve yapay zekâ teknikleriyle zenginleştirilerek, daha hızlı ve doğru kararlar alınmasını sağlamaktadır (Gonzalez & Woods, 2018).

Örneğin, ATLAS dijital platformu, İHA ve uydu verilerini otomatik olarak analiz ederek, nesne tespiti, hacim ölçümü ve dijital arazi modeli oluşturma gibi işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu platform, kullanıcı tarafından eğitilebilen yapay zekâ motoru sayesinde veri analizini 10 kat daha hızlı gerçekleştirebilmektedir (NNTC, 2023).

Benzer şekilde, EOS Data Analytics, tarım ve ormancılık sektörlerinde uydu verilerini kullanarak, mahsul sağlığı izleme, verim tahmini ve arazi sınıflandırması gibi hizmetler sunmaktadır. Bu platformlar, iş zekâsı uygulamalarıyla entegre edilerek, kullanıcıların karar alma süreçlerini desteklemektedir (EOS Data Analytics, 2023).

Ayrıca, Picterra gibi platformlar, kullanıcıların kodlama bilgisi olmadan, İHA ve uydu görüntülerinden analizler yapmalarına olanak tanımaktadır. Bu platformlar, otomatik ölçeklenebilir altyapıları sayesinde, terabaytlarca görüntüyü işleyerek, kullanıcıların hızlı ve etkili analizler yapmasını sağlamaktadır (SkyWatch, 2022).

Bu entegrasyonlar, işletmelere sadece operasyonel verimlilik sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda stratejik planlama, risk yönetimi ve kaynak optimizasyonu gibi alanlarda da önemli katkılar sunmaktadır. Ancak, bu süreçte veri güvenliği, gizlilik ve sistem entegrasyonu gibi konulara da dikkat edilmesi gerekmektedir.

1.4.Bakım-Onarım Yönetiminde Görüntü Tabanlı Karar Destek Sistemleri

Sanayi 4.0 ve akıllı üretim paradigmalarının etkisiyle, bakım-onarım yönetimi süreçleri dijitalleşmiş ve otomatik karar mekanizmalarına entegre edilmiştir. Bu kapsamda, görüntü tabanlı karar destek sistemleri (GBKDS), bakım

ve onarım faaliyetlerinde verimliliği ve doğruluğu artıran kritik araçlar haline gelmiştir.

Görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak geliştirilen bu sistemler, ekipmanların ve altyapıların görsel verilerini analiz ederek arıza tespiti, hasar sınıflandırması ve bakım önceliklendirmesi gibi görevleri otomatikleştirmektedir (Wolberg et al., 1995; Kan, 2017). Geleneksel yöntemlerde insan gözlemine dayalı olarak gerçekleştirilen arıza tespiti, görüntü tabanlı sistemler sayesinde daha objektif ve tekrarlanabilir hale gelmiştir.

Bu sistemlerin temel çalışma prensibi; yüksek çözünürlüklü kameralar, termal görüntüleme cihazları veya endüstriyel tarayıcılar gibi çeşitli algılayıcılardan toplanan verilerin, özel geliştirilmiş algoritmalar aracılığıyla analiz edilmesine dayanmaktadır. Örneğin, hızlı görüntü işleme teknikleri kullanılarak ekipman yüzeyindeki çatlaklar, deformasyonlar veya korozyon izleri tespit edilebilir (Xiangjun et al., 2014). Elde edilen bu veriler, makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma algoritmaları ile yorumlanarak bakım-onarım gereklilikleri hakkında karar destek sunar.

Bakım-onarım yönetiminde görüntü tabanlı sistemlerin kullanılması, sadece mevcut arızaların tespiti için değil, aynı zamanda öngörücü bakım (predictive maintenance) stratejilerinin oluşturulmasında da kritik rol oynamaktadır. Görüntülerden çıkarılan zaman serileri ve istatistiksel özellikler kullanılarak, bir arızanın ne zaman meydana gelebileceği tahmin edilebilmekte, böylece plansız duruş süreleri ve bakım maliyetleri minimize edilebilmektedir (Madabhushi & Lee, 2016).

Termal görüntüleme teknolojisinin entegrasyonu da önemli bir katkı sağlamaktadır. Termal kameralar sayesinde ekipmanların sıcaklık profilleri analiz edilerek aşırı ısınma kaynaklı potansiyel arızalar önceden tespit edilebilmekte, dolayısıyla bakım operasyonları daha etkin bir şekilde planlanabilmektedir (Yavuz & Er, 2023).

1.5. Agile ve DevOps Yaklaşımları ile Görüntü İşleme Projeleri

Görüntü işleme projeleri, yüksek düzeyde teknik uzmanlık, sürekli iyileştirme ve hızlı iterasyon gerektiren bir yazılım geliştirme alanıdır. Son yıllarda Agile ve DevOps yaklaşımlarının görüntü işleme projelerine entegre edilmesi, proje başarı oranını ve çıktı kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu entegrasyon sayesinde, görüntü işleme sistemlerinin geliştirilmesi, test edilmesi, devreye alınması ve sürekli güncellenmesi daha verimli bir biçimde yönetilmektedir.

Agile metodolojisi, yazılım geliştirme süreçlerinde değişen gereksinimlere hızlı uyum sağlama ve müşteri memnuniyetini artırma amacıyla kısa süreli iterasyonlar (Sprintler) ve sık geri bildirim döngüleri üzerine kuruludur (Kan, 2017). Görüntü işleme projelerinde Agile kullanımı, özellikle yeni görüntü işleme algoritmalarının hızlı prototiplenmesi, model doğruluğunun sık sık test edilmesi ve gerçek dünya verileriyle sürekli iyileştirme yapılmasına olanak tanımaktadır.

Agile yöntemleri çerçevesinde, görüntü işleme projelerinde öne çıkan uygulamalar arasında şunlar bulunmaktadır:

- **Küçük ve bağımsız geliştirici ekipleri:** Her bir ekip, bir görüntü işleme görevine (örneğin segmentasyon, sınıflandırma, nesne tanıma) odaklanarak hızlı ilerleme kaydedebilir.
- **Kullanıcı hikayeleri ve görev tanımları:** Görüntülerin etiketlenmesi, model doğruluğunun belirli bir eşiğin üzerine çıkarılması gibi spesifik hedefler net bir şekilde tanımlanır.
- **Sürekli iyileştirme:** Algoritmaların performansı, her sprint sonunda güncellenerek daha yüksek doğruluk ve daha hızlı işlem süreleri hedeflenir.

Öte yandan, DevOps yaklaşımı, yazılım geliştirme (Development) ve operasyon (Operations) süreçlerini entegre ederek sürekli entegrasyon (CI) ve sürekli teslimat (CD) prensiplerine dayanır. Görüntü işleme projelerinde DevOps uygulamaları, modellerin üretim ortamına daha hızlı ve güvenilir bir şekilde alınmasını sağlar (Madabhushi & Lee, 2016).

DevOps'un görüntü işleme projelerindeki katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- Sürekli Entegrasyon (CI): Görüntü işleme algoritmalarında yapılan her değişiklik otomatik test süreçlerinden geçirilir ve kod bütünlüğü sağlanır.
- Sürekli Teslimat (CD): Başarıyla test edilen yeni model versiyonları otomatik olarak üretim ortamına alınarak minimum insan müdahalesi ile güncellemeler gerçekleştirilir.
- Altyapı otomasyonu: Büyük veri kümeleri üzerinde çalışan görüntü işleme sistemleri için gerekli olan sunucu ve depolama altyapısı, kod ile yönetilerek (Infrastructure as Code) dinamik bir şekilde ölçeklendirilebilir.
- Geri bildirim döngüsü: Model hataları, sistem performansı ve kullanıcı deneyimi ile ilgili veriler anlık olarak izlenir ve iyileştirme döngülerine entegre edilir (Razeghi et al., 2020).

Agile ve DevOps'un birlikte kullanılması, görüntü işleme projelerinde hem esneklik hem de hızlı teslimat avantajları sunar. Bu iki yaklaşım, algoritma geliştirmeden model devreye almaya kadar olan tüm süreçlerin daha güvenilir, izlenebilir ve ölçeklenebilir olmasına imkân tanır. Özellikle büyük ölçekli tıbbi görüntüleme, akıllı şehir uygulamaları ve otonom araç sistemlerinde bu yöntemlerin kullanımı kritik hale gelmiştir (Wolberg et al., 1995).

1.5.1. Örnek Proje Senaryosu: Bir Görüntü İşleme Sisteminin Agile ve DevOps Yaklaşımları ile Geliştirilmesi

Proje Konusu:

Bir otomotiv fabrikasında üretim hattındaki ürünlerin kalite kontrolü için, kamera sistemleri ve görüntü işleme algoritmalarını kullanarak otomatik hata tespit sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Agile Yaklaşımı ile Proje Yönetimi:

- **Sprint Planlama:** Proje, iki haftalık sprintlere ayrılır. Her sprintin sonunda çalışır bir modül (örneğin bir hata tespit algoritması prototipi) ortaya konur.

- **Kullanıcı Hikayeleri:** Fabrika çalışanları ve kalite kontrol mühendisleri ile kullanıcı hikayeleri oluşturulur. Örnek: "Kalite mühendisi olarak, üretim hattındaki ürünlerde yüzey çatlaklarını gerçek zamanlı görmek istiyorum."
- **Geri Bildirim Döngüsü:** Her sprint sonunda prototipler mühendislerle test edilir, yorumlar alınır ve bir sonraki sprint planı bu geri bildirimlere göre yapılır.
- **Minimum Viable Product (MVP):** Öncelikle sadece çatlak tespiti yapan temel bir görüntü işleme modülü geliştirilir, ardından sistem diğer hata tiplerini tanıyacak şekilde genişletilir.

DevOps Yaklaşımı ile Süreç Yönetimi:

- **Sürekli Entegrasyon (CI):** Yazılan her yeni görüntü işleme kodu ve algoritma, otomatik testlerden geçirilerek ana koda entegre edilir.
- **Sürekli Teslimat (CD):** Her başarılı güncelleme sonrası, sistemin yeni versiyonu test ortamına otomatik olarak dağıtılır.
- **Versiyon Kontrolü ve Takip:** Kodlar Git tabanlı bir sistemde (örneğin GitLab, GitHub) versiyonlanır. Hangi algoritma değişikliğinin sonuçları nasıl etkilediği kolayca takip edilir.
- **Otomatik Testler:** Görüntü işleme algoritmalarının doğruluğunu ölçen testler, her kod değişikliğinde çalıştırılır (örneğin doğruluk, hassasiyet, hatalı alarm oranı).

Görüntü İşleme Entegrasyonu:

- **Veri Toplama:** Üretim hattına yerleştirilen yüksek çözünürlüklü kameralarla sürekli veri toplanır.

- Ön İşleme: Görüntüler üzerinde ışık ayarı, gürültü azaltma gibi ön işleme adımları uygulanır.
- Model Eğitimi: Derin öğrenme tabanlı görüntü işleme modelleri (örneğin CNN mimarisi) ile çatlak, delik, deformasyon gibi hatalar öğrenilir.
- Gerçek Zamanlı Analiz: Eğitilen model, üretim hattındaki görüntüleri gerçek zamanlı olarak analiz eder ve hata tespit edilen ürünler işaretlenir.
- Sürekli İzleme ve İyileştirme: Model performansı üretim esnasında izlenir; yeni veri biriktikçe model yeniden eğitilir ve güncellenir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

1. HAVACILIK VE UZAY SANAYİSİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME

Havacılık ve uzay sanayisi, ileri düzey görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı karmaşık bir sektördür. İnsansız hava araçlarından (İHA) uydu gözlem sistemlerine, bakım ve denetim uygulamalarından artırılmış gerçeklik destekli üretim hatlarına kadar çok geniş bir yelpazede görüntü işleme çözümleri kullanılmaktadır. Hem Türkiye’de hem de dünyada bu teknolojilerle elde edilen çıktılar, verimlilik, doğruluk ve süreç optimizasyonu sağlamaktadır.

İHA Tabanlı Fotogrametri ve Haritalama: İstanbul Teknik Üniversitesi’nde Deniz Bilge Kılınçoğlu’nun çalışması, İHA’lardan alınan yüksek çözünürlüklü görüntülerin fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesini kapsamaktadır (Kılınçoğlu, 2016). Çalışmada farklı İHA platformları (sabit kanat ve multikopter) kullanılarak tarım arazilerinin üç boyutlu modelleri oluşturulmuş, bu modellerin doğruluğu hem yer kontrol noktaları ile hem de otomatik yöntemlerle analiz edilmiştir. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, görüntü işleme algoritmaları sayesinde zamandan tasarruf sağlanmış ve insan hataları minimize edilmiştir.

Manyetik Parçacık Testinde Görüntü İşleme: Ege Üniversitesi’nin yürüttüğü projede, havacılık endüstrisinde kullanılan metal parçaların yüzeyinde ve yüzey altındaki kusurlar manyetik parçacık yöntemiyle tespit edilmiştir (Sözeri et al., 2023). Burada görüntü işleme algoritmaları (Python, OpenCV gibi) kullanılarak elde edilen görüntüler analiz edilmiş, çatlaklar ve deformasyonlar otomatik biçimde sınıflandırılmıştır. Geleneksel yöntemlere kıyasla hata tespiti çok daha hızlı ve güvenilir hale gelmiştir.

Electro-Aerodynamic (EAD) İtke Sistemleri: MIT tarafından geliştirilen bu sistem, elektrostatik kuvvetler kullanarak itki üretir ve hareketli parça içermez (Gilmore, 2017). Araştırmada, elektro-aerodinamik sistemlerin sabit kanatlı uçaklarda uygulanabilirliği incelenmiş hem laboratuvar ortamında hem de uçuş testlerinde, görüntü işleme tabanlı sensörler ve veri toplama sistemleriyle anlık

performans ölçümleri yapılmıştır. Yüksek hızlı kamera ve optik analiz sistemleri, elektrostatik alanların yarattığı hava akımı ve itki kuvvetini milimetre düzeyinde ölçerek tasarım iyileştirmelerine olanak sağlamıştır.

Dağıtık Elektrikli İtki (DEP) Uçakları: Çin Northwestern Polytechnical University’de yapılan deneysel bir çalışmada, kanadın arka kenarına yerleştirilen 24 elektrikli kanal fanının (EDF) yarattığı kaldırma kuvveti ve aerodinamik-propulsiyon etkileşimi rüzgâr tüneli testlerinde incelenmiştir (Zhang et al., 2023). Görüntü işleme burada hem akış görselleştirme (örn. yağ iplikleri ve parçacık görüntüleme) hem de kanat yüzey deformasyonlarının ölçümü için kullanılmıştır. Çalışma, DEP sistemlerinin kısa mesafe kalkış ve iniş (STOL) yeteneklerini geliştirme potansiyelini ortaya koymuş, tasarım iyileştirmeleri için detaylı görsel veri sağlamıştır.

Artırılmış Gerçeklik (AR) Uygulamaları: Brezilya’daki UNIARA ve USP üniversitelerinin çalışması, havacılık üretim hatlarında AR uygulamalarını incelemiştir (Frigo & da Silva, 2020). Örneğin, montaj hattında işçilerin AR gözlükleriyle entegre ekranlar üzerinden adım adım talimat alması sağlanmış, bu sırada görüntü işleme algoritmaları montaj doğruluğunu ve bileşen hizalanmasını otomatik olarak kontrol etmiştir. Bu sistemler, hata oranlarını düşürmenin yanı sıra yeni personelin eğitim sürelerini de önemli ölçüde azaltmıştır.

Kullanılan Algoritmalar ve Yazılımlar

Bu örneklerde kullanılan teknikler arasında Python ve OpenCV tabanlı görüntü işleme kütüphaneleri, MATLAB, TensorFlow, yüksek hızlı kamera analiz yazılımları, fotogrametri için Pix4D ve Agisoft Metashape gibi ticari yazılımlar öne çıkmaktadır. Özellikle makine öğrenmesi temelli segmentasyon ve sınıflandırma algoritmaları, deformasyon analizinde görüntü korelasyon teknikleri ve optik akış algoritmaları sıkça kullanılmaktadır.

Havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme uygulamaları, sadece askeri projelerle sınırlı kalmayıp endüstriyel üretim, bakım, süreç izleme ve çevresel analiz gibi alanlara da yayılmaktadır. Türkiye, özgün İHA projeleri, uydu gözlem sistemleri ve savunma sanayi testlerinde bu teknolojileri giderek daha fazla

entegre etmektedir. Global ölçekte ise görüntü tabanlı analizler, EAD ve DEP gibi yeni nesil hava aracı tasarımlarından, artırılmış gerçeklik destekli eğitim ve üretim süreçlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

2. GÖRÜNTÜ VERİSİNİN İŞLENMESİ VE ANLAMLANDIRILMASI

Havacılık ve uzay sanayisinde görüntü verisinin işlenmesi ve anlamlandırılması, sistem güvenliği, görev başarısı ve genel operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahip çok aşamalı bir süreçtir. Bu süreç, sensörler ve görüntüleme cihazları aracılığıyla elde edilen ham verilerin işlenmesi, gürültüden arındırılması, anlamlı yapılar hâline getirilmesi ve nihayetinde karar destek sistemlerine entegre edilerek operasyonel çıktılara dönüştürülmesini kapsar (Chitradevi & Srimathi, 2014).

Ham görüntü verileri genellikle uydu kameraları, insansız hava araçları (İHA'lar), termal kameralar ya da elektromanyetik spektrumun farklı bantlarında çalışan sensörler tarafından toplanır. Bu veriler doğrudan kullanılabilir nitelikte değildir; çeşitli çevresel etkiler, gürültü ve çözünürlük eksiklikleri içerir. Dolayısıyla öncelikle çeşitli ön işleme teknikleri, örneğin filtreleme, gürültü azaltma ve histogram dengeleme gibi yöntemler uygulanarak veri kalitesi artırılır (Madabhushi & Lee, 2016).

İşlenmiş görüntülerin anlamlandırılması süreci ise daha ileri analizleri kapsar: görüntü segmentasyonu, kenar tespiti, nesne tanıma, sınıflandırma ve görüntü tanıma gibi işlemler, görüntüden anlamlı bilgi çıkarılmasına olanak tanır (Vengalil, 2022). Özellikle son yıllarda popülerleşen derin öğrenme tabanlı yöntemler (örneğin, evrişimli sinir ağları [CNN], bölgesel CNN [R-CNN], YOLO) sayesinde havacılıkta yüksek doğrulukla hedef tespiti, anomali analizi ve otonom karar sistemlerinin geliştirilmesi mümkün hâle gelmiştir.

Ancak görüntü verisi yalnızca analiz edilmek için toplanmaz; aynı zamanda gerçek zamanlı sistemlere entegre edilerek operasyonel kararlara temel oluşturur. Örneğin, bir İHA'nın uçuş sırasında elde ettiği termal görüntülerden anlık olarak yapısal bir arıza tespit edilebilir ve bu bilgi, otonom kontrol sistemine iletilerek uçuş rotasının değiştirilmesi sağlanabilir (Yavuz & Er, 2023).

2.1. Veri Toplama ve Ön İşleme

Havacılık ve uzay sanayisinde görüntü verisinin analizi, sürecin en kritik aşamalarından biri olan veri toplama ve ön işleme adımıyla başlar. Bu aşamada kullanılan veri kaynakları oldukça çeşitlidir ve uygulama amacına göre değişiklik gösterir. Örneğin; yüksek çözünürlüklü görseller için İHA kameraları ve uydular, yüzey deformasyonlarının tespiti için radar sistemleri, ısı değişimlerini incelemek için termal kameralar ve üç boyutlu yüzey haritaları oluşturmak için lidar sensörleri kullanılır (Gonzalez & Woods, 2018).

Ancak, ham görüntü verisi doğrudan analiz için uygun değildir. Bu veriler; ışık yetersizliği, hava durumu, sensör hataları, hareket bulanıklığı veya yansıma gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan bozulmalar içerir (Chitradevi & Srimathi, 2014). Bu yüzden öncelikle kapsamlı bir ön işleme süreci gerekir.

2.1.1. Gürültü Azaltma

Ham görüntüler çoğunlukla rastgele dağılımlı gürültülerle (örn. tuz ve biber gürültüsü, Gaussian gürültüsü) kirlenmiştir. Gürültüyü azaltmak için median ve Gaussian filtreleri gibi yöntemler uygulanır. Median filtresi, özellikle köşe ve kenar detaylarını koruyarak sivri uçlu parazitleri ortadan kaldırmada etkilidir. Gaussian filtresi ise görüntüyü hafifçe bulanıklaştırarak genel gürültü seviyesini düşürür, bu da özellikle hava koşullarına bağlı değişkenliklerde önemli katkı sağlar (Gonzalez & Woods, 2018; Madabhushi & Lee, 2016).

2.1.2. Kontrast ve Parlaklık Düzeltme

Ham görüntüler, sensör kalibrasyonundaki eksiklikler veya değişken çevresel koşullar nedeniyle düşük kontrast veya yanlış parlaklık değerlerine sahip olabilir. Histogram eşitleme veya kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (CLAHE) gibi yöntemlerle görüntüdeki parlaklık dağılımı dengelenir ve detayların ortaya çıkarılması sağlanır (Vengalil, 2022). Özellikle gece çekimlerinde veya düşük ışık koşullarında çekilmiş termal görüntülerde bu düzeltmeler kritik rol oynar.

2.1.3. Geometrik Düzeltmeler

Uydulardan veya İHA'lardan elde edilen görüntülerde lens bozulması, eğrilik, perspektif kayması gibi geometrik hatalar bulunabilir. Bu hatalar, doğrusal olmayan geometrik düzeltme yöntemleriyle giderilir. Örneğin, kamera kalibrasyon verileri kullanılarak eğrilikler düzeltilir, perspektif dönüşümleri ile doğru alan ölçümleri yapılabilir hâle getirilir (Chitradevi & Srimathi, 2014).

2.1.4. Radyometrik Kalibrasyon

Farklı sensörlerden gelen görüntülerin ışık yoğunluğu değerleri arasında tutarlılık sağlamak için radyometrik kalibrasyon uygulanır. Bu işlem, özellikle multispektral veya hiperspektral uydu görüntülerinde, yüzey yansıtma özelliklerinin doğru şekilde analiz edilebilmesi için önemlidir. Kalibrasyon işlemi, sensörün spektral yanıt eğrisine bağlı olarak görüntüdeki radyans değerlerinin normalize edilmesiyle gerçekleştirilir (Madabhushi & Lee, 2016).

Bu aşamadaki işlemler yalnızca görüntü kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda sonraki analiz aşamalarının doğruluğunu doğrudan etkiler. Yetersiz veya hatalı ön işleme, nesne tespiti ve sınıflandırma gibi ileri işlemlerde hatalara ve yanlış sonuçlara yol açabilir (Gonzalez & Woods, 2018).

2.2. Segmentasyon ve Özellik Çıkarma

Ön işleme aşamasından başarıyla geçirilen görüntüler, hâlâ karmaşık ve yorumlanması zor bir veri yığını hâlinindedir. Bu nedenle, görüntüdeki anlamlı nesnelerin veya bölgelerin ayrıştırılması, yani segmentasyonu yapılmalıdır (Szeliski, 2010). Segmentasyon, görüntüyü homojen parçalara ayırarak analiz edilmek istenen nesneleri veya alanları belirgin hâle getirir. Özellikle havacılık ve uzay sanayisinde bu süreç; kanat kenarı tespiti, arıza bölgelerinin ayrıştırılması, termal sızıntıların lokalizasyonu veya yüzey deformasyonlarının belirlenmesi gibi kritik uygulamalarda kullanılır (Gonzalez & Woods, 2018).

2.2.1. Kenar Belirleme Algoritmaları:

Kenar belirleme, bir görüntüde ani yoğunluk değişimlerinin (parlaklık geçişlerinin) olduğu bölgeleri belirlemek için kullanılır. Canny kenar belirleme algoritması, yüksek hassasiyeti ve düşük yanlış kenar oranıyla bilinir; gürültülü görüntülerde bile etkili sonuçlar verir. Sobel operatörü ise daha temel bir yöntem olup, yatay ve düşey gradyanlar üzerinden kenar bilgisi çıkarır (Szeliski, 2010). Özellikle uydu veya İHA görüntülerinde, kanat, iniş takımı veya hava aracı yüzeyindeki mikro çatlakların belirlenmesinde bu algoritmaların kombinasyonu kullanılır (Madabhushi & Lee, 2016).

2.2.2. Bölge Tabanlı Segmentasyon:

Bu yaklaşım, belirli piksellerden yola çıkarak benzer özelliklere sahip komşu pikselleri bir araya getirir. Region Growing (bölge büyütme), başlangıçta seçilen “tohum noktaları” etrafındaki benzer pikselleri genişletirken, Watershed algoritması ise görüntüyü topografik bir yüzey olarak ele alarak “suların dolması” prensibine göre sınırlar belirler (Gonzalez & Woods, 2018). Özellikle radar veya lidar verisinde arazi tiplerini, yapı yoğunluklarını veya doğal engelleri ayırmada bu yöntemler kritik rol oynar.

2.2.3. Derin Öğrenme Tabanlı Segmentasyon:

Geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşmak için son yıllarda derin öğrenme tabanlı segmentasyon ağları ön plana çıkmıştır. U-Net, özellikle biyomedikal görüntüleme alanında geliştirilmiş bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) olup, sınırlı veriyle bile etkili segmentasyon yapabilir. Mask R-CNN ise nesne algılama ve segmentasyonu bir arada sunarak görüntüdeki nesnelere hem maske hem sınıf atar (Vengalil, 2022). Havacılıkta bu tür ağlar, bakım görüntülerinde küçük arızaların tespiti veya büyük uydu görüntülerinde yapıların sınıflandırılması gibi karmaşık görevlerde kullanılır.

2.2.4. Optik Akış ve Hareket Analizi:

Optik akış, ardışık görüntülerdeki nesne hareketlerini tahmin etmeye yarar ve özellikle hareket halindeki nesnelerin (örneğin, uçuş sırasında İHA kanadı

deformasyonları) analizi için kullanılır (Szeliski, 2010). Bu yöntem, aynı zamanda rüzgâr tüneli testlerinde veya uçuş sırasında elde edilen yüksek hızlı görüntülerde aerodinamik analiz yapmak için de uygulanır (Madabhushi & Lee, 2016).

Segmentasyon sonucunda ortaya çıkan veriler, yalnızca görsel bölgeler değildir; her bir segmentten **boyut, şekil, renk, doku ve hareket özellikleri** gibi istatistiksel ve fiziksel bilgiler de çıkarılır. Bu özellik çıkarma süreci, daha sonra yapılacak sınıflandırma, anomali tespiti veya karar destek sistemlerine entegre edilme aşamaları için kritik öneme sahiptir. Örneğin, belirli bir segmentin ortalama doku özelliği, yüzey deformasyonu olup olmadığını anlamada doğrudan belirleyici olabilir (Gonzalez & Woods, 2018).

2.2.5. Analiz ve Yorumlama

Segmentasyon ve özellik çıkarma sürecinde elde edilen veriler, tek başına nihai bir sonuç üretmez. Bu ham özelliklerin yorumlanabilmesi ve operasyonel çıktılara dönüştürülebilmesi için ileri analiz yöntemlerine ve karar destek sistemlerine aktarılması gerekir (Szeliski, 2010). Havacılık ve uzay sanayisinde bu aşama, özellikle anomali tespiti, performans tahmini, bakım planlaması ve uçuş güvenliğinin artırılması gibi kritik uygulamalarda kullanılır.

2.3. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Destek vektör makineleri (SVM), karar ağaçları ve rastgele ormanlar gibi geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları, çıkarılan özellikler üzerinde sınıflandırma, regresyon ve kümeleme işlemleri yapar. SVM, özellikle küçük ve yüksek boyutlu veri setlerinde etkili sınıflandırma performansı sunar; örneğin, İHA görüntülerinden çıkarılan mikro çatlak ya da yüzey deformasyonu özelliklerini “hasar” ve “hasarsız” olarak sınıflandırmak için kullanılabilir (Gonzalez & Woods, 2018). Karar ağaçları ve rastgele ormanlar ise model yorumlanabilirliği ve hata toleransı nedeniyle, sensör verileriyle desteklenen görüntü analizlerinde tercih edilir (Madabhushi & Lee, 2016).

2.3.1. Derin Öğrenme Ağları

Özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde, derin öğrenme algoritmaları güçlü çözümler sunar. Evrişimli sinir ağları (CNN), görüntü tabanlı sınıflandırma görevlerinde; uzun-kısa süreli bellek ağları (LSTM) ise zaman serisi verilerini içeren analizlerde kullanılır. Örneğin, İHA uçuş kayıtlarından elde edilen sürekli görüntü akışı LSTM ile analiz edilerek uçuş sırasında meydana gelen anomaliler tahmin edilebilir (Vengalil, 2022). Havacılık alanındaki uygulamalarda, bu derin öğrenme modelleri çoğunlukla uçuş emniyeti ve arıza öngörüsü gibi görevlerde yer alır.

2.4. İstatistiksel Analiz ve Anomali Tespiti

Çıkarılan özellikler üzerinde uygulanan istatistiksel analiz teknikleri, özellikle veri setinin genel dağılımından sapmaları belirlemekte kullanılır. Anomali tespiti; belirli bir özellik setinin beklenen davranıştan sapıp sapmadığını analiz ederek, örneğin bir uçak gövdesindeki termal kaçakların ya da motor performansındaki düşüşlerin belirlenmesini sağlar (Szeliski, 2010). Bu tür analizler, bakım kararlarını optimize etmek ve operasyonel maliyetleri düşürmek için kritik bilgiler sağlar.

Örnek olarak, Zhang et al. (2023) çalışmasında rüzgâr tüneli testlerinde elde edilen aerodinamik görüntüler, görüntü işleme algoritmalarıyla analiz edilmiş ve ardından makine öğrenmesi modellerine aktarılmıştır. Bu sayede, hava akışı kalıplarının detaylı bir şekilde modellenmesi ve itki-aerodinamik etkileşimlerinin anlaşılması mümkün olmuştur (Zhang et al., 2023).

Bu aşama, görüntü verisinin bir analiz çıktısına dönüştürüldüğü ve nihai operasyonel ya da mühendislik kararlarının temelini oluşturduğu kritik halkadır. Etkili analiz ve yorumlama olmadan, elde edilen tüm görsel bilgiler pratikte kullanılamaz hâle gelir (Gonzalez & Woods, 2018).

2.5. Çıktıların Sunumu ve Raporlama

Görüntü verisinin işlenmesi, analiz edilmesi ve yorumlanması ne kadar başarılı olursa olsun, bu bulgular doğru ve etkili bir biçimde sunulmadığı sürece

karar vericilere yeterli katkı sağlayamaz. Havacılık ve uzay sanayisinde, bakım ekipleri, mühendisler ve operasyon yöneticileri, yalnızca sayısal sonuçlara değil; bu sonuçların görselleştirilmiş, kolay yorumlanabilir ve operasyonel kararlara dönüştürülebilir hâllerine ihtiyaç duyar (Frigo & da Silva, 2020). Bu nedenle çıktıların sunumu ve raporlama aşaması, sistemin en kritik halkalarından biri olarak görülür.

2.5.1. Isı Haritaları ve Anotasyonlu Görseller

Isı haritaları, analiz edilen bölgelerdeki yoğunluk veya anomali dağılımlarını görselleştirerek, örneğin bir hava aracı gövdesindeki termal kaçakların veya stres birikimlerinin net bir şekilde ortaya konmasını sağlar. Anotasyonlu görsellerde ise algılanan kusurlar, segmentler veya kritik noktalar, açıklamalar ve işaretlemelerle birlikte sunulur. Bu tür görseller, mühendislik ekiplerinin hızlı bir şekilde hangi bölgelere müdahale etmesi gerektiğini anlamasına yardımcı olur (Szeliski, 2010).

2.5.2. 3B Modellemeler ve Deformasyon Haritaları

Gelişmiş uygulamalarda, analiz edilen yüzeylerin üç boyutlu modelleri oluşturularak deformasyonlar, yük dağılımları veya yapısal stresler ayrıntılı biçimde raporlanır. Özellikle lidar veya fotogrametri verileriyle oluşturulan bu 3B modeller, tasarım mühendislerinin bakım planları oluştururken veya yapısal değişiklikler önerirken kullandıkları temel araçlardır (Gonzalez & Woods, 2018).

2.5.3. Otomatik Raporlama ve Bakım Planlama Sistemleri

Modern havacılık uygulamalarında, analiz sonuçları doğrudan dijital bakım yönetim sistemlerine entegre edilir. Böylece tespit edilen arızalar, risk analizleri ve müdahale önerileri, otomatik olarak raporlanır ve bakım ekiplerine bildirilir (Frigo & da Silva, 2020). Bu otomasyon, insan hatasını azaltmanın yanı sıra bakım süreçlerinin hızlandırılmasına ve uçuş güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Örneğin, artırılmış gerçeklik (AR) sistemleri kullanılarak teknisyenlere, bakım sırasında hangi bölgelere nasıl müdahale etmeleri gerektiği adım adım gösterilebilir.

Sonuçların etkili bir şekilde sunulması ve raporlanması, yalnızca teknik ekipler için değil, aynı zamanda üst düzey yöneticiler ve karar destek ekipleri için de büyük önem taşır. Çünkü bu bilgiler, sadece mevcut durumu anlamakla kalmaz; aynı zamanda gelecekteki stratejik kararların ve kaynak planlamalarının temelini oluşturur (Frigo & da Silva, 2020).

2.6. Kullanılan Yazılımlar ve Araçlar

Havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme süreçlerinin başarısı, yalnızca doğru algoritmaların uygulanmasına değil, aynı zamanda uygun yazılım ve araçların seçilmesine de bağlıdır. Kullanılan araçlar, veri türüne, işlem gücü gereksinimine, analiz derinliğine ve son kullanıcı ihtiyaçlarına göre değişkenlik gösterir (Gonzalez & Woods, 2018).

2.6.1. Python (OpenCV, Scikit-image)

Python, açık kaynak kodlu kütüphaneleri sayesinde görüntü işleme ve analizinde çok yaygın kullanılan bir programlama dilidir. OpenCV, gerçek zamanlı bilgisayarla görü görevlerinde öne çıkarken, Scikit-image kütüphanesi özellikle bilimsel analizlerde kullanılır. Kenar tespiti, segmentasyon, nesne takibi ve hareket analizi gibi temel işlemler için bu araçlar oldukça etkilidir (Madabhushi & Lee, 2016).

2.6.2. MATLAB (Image Processing Toolbox)

MATLAB, özellikle mühendislik ve akademik araştırma ortamlarında tercih edilir. Image Processing Toolbox, kullanıcı dostu arayüzüyle filtreleme, segmentasyon, morfolojik işlemler ve özellik çıkarma gibi görevlerde güçlü bir platform sağlar. Ayrıca MATLAB, görselleştirme yetenekleri sayesinde sonuçların kolayca raporlanmasını destekler (Guerrero, 2015).

2.6.3. TensorFlow, PyTorch (Derin Öğrenme Modelleri)

Derin öğrenme tabanlı uygulamalarda TensorFlow ve PyTorch, sinir ağlarının geliştirilmesi, eğitilmesi ve test edilmesi için önde gelen kütüphanelerdir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN), bölgesel CNN (R-

CNN) ve U-Net gibi segmentasyon ağlarının uygulanmasında bu araçlar kritik rol oynar (Vengalil, 2022).

2.6.4. Pix4D, Agisoft Metashape (Fotogrametri)

Fotogrametri tabanlı 3B modelleme için Pix4D ve Agisoft Metashape gibi ticari yazılımlar kullanılır. Bu araçlar, İHA veya uydu görüntülerinden yüzey modelleri ve ortomozaikler üretir. Özellikle arazi haritalaması, hacim hesaplamaları ve yapı deformasyon analizlerinde önemli katkılar sağlar (Kılınçoğlu, 2016).

2.6.5. GOM Inspect (Optik Deformasyon Analizi)

GOM Inspect, özellikle havacılık sanayisinde optik ölçüm ve deformasyon analizlerinde kullanılan profesyonel bir araçtır. Yüksek hassasiyet gerektiren yüzey taramaları ve kalite kontrol uygulamalarında, lazer tarayıcılarla birlikte kullanılarak yüzey deformasyonlarının hassas ölçümü yapılır (Frigo & da Silva, 2020).

Bu yazılım ve araçlar hem geleneksel görüntü işleme hem de yapay zekâ destekli analizlerde esnek ve ölçeklenebilir çözümler sunar. Hangi platformun seçileceği, genellikle analiz amacına, veri hacmine ve operasyonel gereksinimlere bağlıdır (Gonzalez & Woods, 2018).

2.7. Makine Öğrenmesi ile Anomali Tespiti

Uçak motorları, yüksek sıcaklık, basınç ve dönme hızlarına maruz kalan karmaşık sistemlerdir ve bu özelliklerinden dolayı çeşitli arıza riskleri taşırlar. Bu tür arızaların erken dönemde tespiti hem havacılık güvenliği hem de bakım-onarım maliyetlerinin düşürülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel denetim yöntemleri çoğunlukla manuel veya sabit eşik değerlerine dayalı olup ani arızaların önceden belirlenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu bağlamda, makine öğrenmesi (ML) tabanlı yaklaşımlar, veriye dayalı ve adaptif yapıları sayesinde uçak motoru arızalarının proaktif biçimde izlenmesini ve öngörülmesini sağlamaktadır (Sanami & Aghdam, 2025).

Makine öğrenmesi ile anomali tespitinde kullanılan başlıca yöntemler; denetimli öğrenme (örn. destek vektör makineleri, rastgele ormanlar), denetimsiz öğrenme (örn. otomatik kodlayıcılar, kümeleme algoritmaları) ve yarı denetimli modellerdir. Özellikle sensör verilerinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerde, bu algoritmalar anormal davranış kalıplarını yüksek doğrulukla ayırt edebilmekte ve böylece kritik karar destek süreçlerine katkı sunmaktadır (Hu et al., 2025).

Havacılıkta borescope görüntü analizi, motor içi denetimlerde yüksek çözünürlüklü görsellerin derin öğrenme tabanlı modeller (örneğin U-Net, GAN) ile analiz edilmesini mümkün kılmakta; LSTM ve BiLSTM gibi zaman serisi modelleme teknikleri ise sensör verileri üzerinden arıza tahmini yapılmasına olanak tanımaktadır (Wong et al., 2023; Hu et al., 2025).

Anomali tespitine yönelik bu yöntemler, sadece arıza belirleme ile sınırlı kalmayıp; bakım zamanlamalarının optimize edilmesi, uçuş emniyetinin artırılması ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesine yönelik karar destek sistemlerinin temelini oluşturmaktadır (Romesis et al., 2024).

2.8. Borescope Görüntüleri ile Derin Öğrenme Tabanlı Kusur Tespiti

Uçak motorlarının bakım ve denetim süreçlerinde, motor içi yapıların görsel olarak incelenmesini sağlayan borescope cihazları önemli bir rol oynamaktadır. Bu cihazlar sayesinde, motorun çalışması sırasında erişilmesi güç olan iç parçalar yüksek çözünürlüklü görüntülerle kaydedilmekte ve analiz edilmektedir. Ancak bu görsellerin manuel olarak incelenmesi, insan hatasına açık olmasının yanı sıra zaman ve kaynak açısından da yüksek maliyetlidir (Wong et al., 2023).

Bu sorunların aşılmasında, derin öğrenme tabanlı görüntü işleme algoritmaları etkili bir alternatif sunmaktadır. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) temelli modeller, görsel verilerden yapısal anormalliklerin otomatik olarak tespit edilmesini mümkün kılar. U-Net gibi segmentasyon odaklı mimariler, motor bileşenlerini hassas bir şekilde sınıflandırarak çatlak, yanma izi, aşınma ve deformasyon gibi hasar türlerini yüksek doğrulukla ayrıştırabilir (Razzak et al., 2018). Bunun yanında, Generative Adversarial Network (GAN) yapıları, düşük çözünürlüklü veya bozulmuş borescope görüntülerinde kaliteyi artırmak ve eksik

bilgiyi tahmin etmek amacıyla kullanılmakta; bu sayede analiz başarımı güçlendirilerek yanlış negatif ve pozitif oranları azaltılmaktadır (Isola et al., 2017).

2.9. Zaman Serisi Verilerle Motor Arızalarının LSTM ile Tahmini

Uçak motorları, çalışmaları sırasında yüzlerce farklı sensör aracılığıyla sürekli olarak veri üretmektedir. Bu sensörler; sıcaklık, basınç, titreşim, yakıt tüketimi ve motor devri gibi çok çeşitli parametreleri saniyelik aralıklarla kaydeder. Elde edilen bu zaman serisi verileri, motorun sağlık durumunun anlaşılmasında kritik bir rol oynar. Ancak, bu verilerin yüksek hacmi ve karmaşık yapısı, geleneksel analiz yöntemleriyle etkili biçimde işlenmesini zorlaştırır (Hu et al., 2025).

Bu nedenle, zaman bağımlı verilerle çalışan derin öğrenme modelleri, özellikle LSTM (Long Short-Term Memory) ve BiLSTM (Bidirectional LSTM) ağları, motor arızalarının erken tahmini için güçlü bir çözüm sunar. LSTM mimarileri, uzun dönemli bağımlılıkları öğrenebilme kapasitesi sayesinde, bir motorun zaman içinde sergilediği performans düşüşlerini ya da anomaliye işaret eden örüntüleri yüksek doğrulukla tanımlayabilir (Greff et al., 2017). BiLSTM modelleri ise, verinin hem geçmiş hem de gelecek bağlamını dikkate alarak daha kapsamlı tahminler yapılmasına olanak tanır.

Nitekim Hu ve arkadaşlarının (2025) gerçekleştirdiği çalışmada, uçak motoru verilerine dayalı bir LSTM modeli ile motor arızalarının birkaç uçuş öncesinden başarılı şekilde öngörülebildiği ortaya konmuştur. Bu sayede, önleyici bakım stratejilerinin planlanması mümkün hâle gelmiş ve arıza kaynaklı operasyonel aksaklıkların minimize edilmesi sağlanmıştır.

Bu yaklaşım, sadece teknik doğruluk sağlamaz; aynı zamanda uçuş güvenliğini artırır, beklenmedik bakım maliyetlerini azaltır ve filo yönetimi süreçlerinde planlamayı optimize eder.

2.10. Sensör Füzyonu ile Çoklu Veri Kaynaklarından Anomali Tespiti

Havacılık ve uzay sistemlerinde arızaların erken tespiti, yalnızca tek bir veri kaynağına dayanarak yeterli doğrulukta yapılamaz. Uçak motorları, uçuş sırasında birbirinden farklı sensörlerden çok sayıda veri üretir: sıcaklık, basınç, yakıt akışı, titreşim gibi fiziksel parametrelerin yanı sıra, telemetri sistemlerinden elde edilen konum, yükseklik, hız gibi uçuş parametreleri ile borescope gibi görüntüleme sistemlerinden alınan görsel veriler de bu analiz sürecine dâhil edilir. Bu farklı veri türlerinin eş zamanlı ve entegre analizine sensör füzyonu (sensor fusion) adı verilir.

Sensör füzyonu, farklı türdeki verilerin ortak bir karar modelinde birleştirilmesi yoluyla hem doğruluk oranını artırır hem de sistemin genel bağlamı içinde anomaliyi daha anlamlı biçimde değerlendirme imkânı sağlar (Khaleghi et al., 2013). Bu yöntem, veri düzeyinde, özellik düzeyinde veya karar düzeyinde füzyon olmak üzere üç farklı yaklaşımla uygulanabilir:

Veri Düzeyinde Füzyon: Ham sensör verileri doğrudan entegre edilir. Örneğin; motor sıcaklık eğrileri ile aynı anda toplanan görüntü verileri bir zaman çizelgesinde hizalanarak analiz edilir.

Özellik Düzeyinde Füzyon: Her sensör tipi için önce bağımsız özellikler çıkarılır, ardından bu özellikler birleştirilerek sınıflandırıcıya aktarılır. Bu yöntem, makine öğrenmesi algoritmalarıyla entegre çalışır.

Karar Düzeyinde Füzyon: Her sensörden bağımsız karar çıktıları alınır ve bu kararlar yüksek düzeyde birleştirilerek nihai karar verilir (Hall & Llinas, 2001).

Makine öğrenmesi ve özellikle derin öğrenme mimarileri, bu çok kaynaklı verilerin ortak bir yapay sinir ağı mimarisi içerisinde modellenmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, CNN mimarileri görüntü verisinden bilgi çıkarırken, LSTM tabanlı katmanlar zamana bağlı telemetri veya sensör sinyallerini işler. Bu yaklaşımla oluşturulan hibrit ağlar, karmaşık arıza örüntülerini daha güvenilir biçimde öğrenebilmektedir (Luo et al., 2021).

Uygulamada bu sistemler, sadece anlık arızaları değil; motor üzerindeki stres, çevresel koşulların etkisi veya uçuş profilindeki değişim gibi dolaylı

sebeplerden kaynaklanan potansiyel riskleri de ortaya koyar. Böylece sistem yalnızca tepkisel değil, proaktif bir arıza yönetim süreci oluşturur.

2.11. Probabilistik Modellerle Arıza Olasılığı Hesaplama

Uçak motorlarının anomali ve arıza tespitinde, sadece deterministik analizlerle değil, aynı zamanda belirsizlikleri modelleyebilen olasılıksal yaklaşımlarla da değerlendirme yapılması gereklidir. Çünkü havacılık sistemleri karmaşık ve değişken çevresel koşullarda çalışmakta, arızaların sebepleri çoğu zaman çok değişkenli ve öngörülemez olabilmektedir. Bu nedenle, probabilistik modeller hem arıza olasılıklarının tahmin edilmesinde hem de risk temelli bakım kararlarının verilmesinde önemli rol oynamaktadır (Murphy, 2012).

Bu kapsamda öne çıkan yöntemlerden biri Gaussian Mixture Models (GMM)'dir. GMM, bir veri kümesini birden çok normal dağılımın birleşimi olarak modelleyerek, her bir veri noktasının belirli bir sınıfa (örneğin, normal veya anormal) ait olma olasılığını hesaplar. Özellikle sensör verilerinin yoğun olduğu ortamlarda, GMM modelleri ile sistem davranışları istatistiksel olarak temsil edilerek sapmalar tespit edilebilir (Reynolds, 2009).

Bir diğer güçlü yöntem ise Bayesian ağlardır. Bu yapılar, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri ve belirsizlikleri grafiksel olarak modelleyen yönlü doğrusal yapılardır. Örneğin; motor sıcaklığındaki anormal artışın, yağ basıncındaki düşüş ve çevresel sıcaklık ile olan olasılık ilişkisi modellenerek arıza nedenleri çok daha tutarlı biçimde analiz edilebilir (Pearl, 1988). Bayesian modeller, yeni veriler geldikçe kendilerini güncelleyebilir ve karar destek sistemleriyle entegre çalışabilir.

Ayrıca, Probabilistic Neural Networks (PNN) gibi yapay sinir ağı tabanlı probabilistik yöntemler de uçak motoru arızalarının sınıflandırılmasında kullanılır. Bu modeller, olasılık yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak sınıflandırma yapar ve her sınıfa ait olasılığı hesaplar. Özellikle düşük veri setleriyle çalışan sistemlerde PNN'ler yüksek performans göstermekte ve hızlı öğrenme kapasiteleriyle öne çıkmaktadır (Specht, 1990).

Bu tür probabilistik yaklaşımlar sayesinde, bir motorun yalnızca mevcut durumu değil, ilerleyen uçuşlarda arızaya ne ölçüde yatkın olduğu da hesaplanabilir. Bu hesaplamalar doğrultusunda bakım planlaması, risk analizi ve operasyonel strateji geliştirme süreçleri çok daha etkin şekilde yürütülür.

2.12. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Haritalama

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı verilerin toplanması, analiz edilmesi, yönetilmesi ve görselleştirilmesini sağlayan bütünlük yazılım, donanım ve yöntemler sistemidir. Havacılık ve uzay sanayisinde, özellikle görüntü işleme çıktılarının anlamlandırılması ve karar destek sistemlerine aktarılması açısından CBS'nin stratejik bir yeri vardır. Bu sistemler, uzaktan algılama, fotogrametri ve diğer sensör tabanlı teknolojilerle elde edilen mekânsal verilerin organize edilmesinde vazgeçilmezdir (Longley et al., 2015).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi verilerin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesini sağlayan entegre bir sistemdir. CBS'nin etkin bir biçimde çalışabilmesi için üç ana bileşenin uyumlu bir şekilde bir araya gelmesi gerekir: veri, donanım/yazılım altyapısı ve insan-yöntem bileşeni.

2.12.1. Veri (Data)

CBS'nin en temel yapı taşı olan veri, konumsal (spatial) ve öznitelik (attribute) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır:

Konumsal Veriler: Coğrafi nesnelerin yerlerini ifade eder. Nokta (örneğin bir sondaj kuyusu), çizgi (bir nehir) veya alan (bir orman) şeklinde olabilir. Bu veriler genellikle koordinat sistemleriyle ifade edilir ve raster (uydu görüntüsü, hava fotoğrafı) ya da vektör (nokta, çizgi, poligon) formatında saklanır.

Öznitelik Verileri: Konumsal verilerle ilişkilendirilmiş nitelik bilgilerini içerir. Örneğin, bir ağaç alanının konumu konumsal veri iken, ağaç türü, yaş ortalaması, karbon emisyon değeri gibi bilgiler öznitelik verileridir.

Bu veriler, uydu görüntüleri, drone verileri, sensörler, lidar taramaları, haritalar, GPS cihazları ve saha ölçümleri gibi çok çeşitli kaynaklardan elde edilir.

Verinin doğruluğu ve güncelliği, sistem çıktılarının kalitesini doğrudan etkiler (Longley et al., 2015).

2.12.2. Donanım ve Yazılım (Hardware & Software)

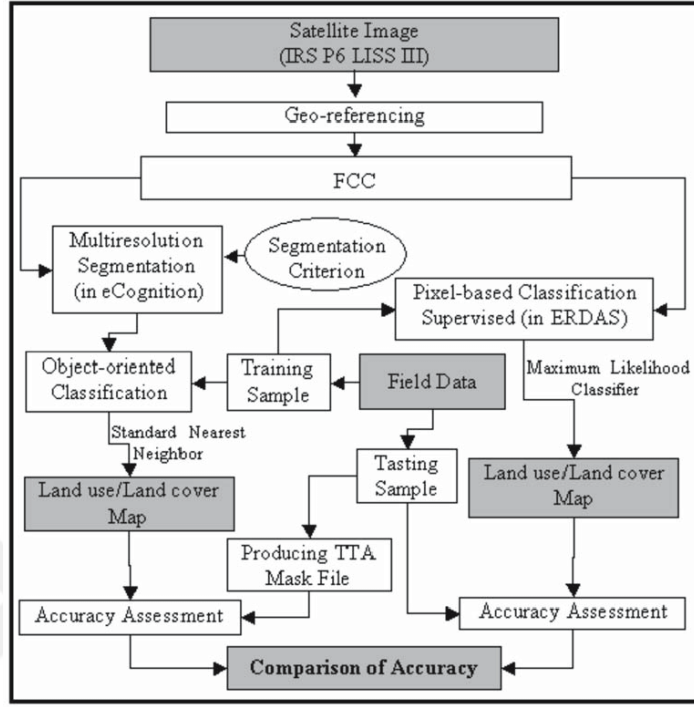
CBS'nin ikinci bileşeni, verilerin işlenmesini ve analiz edilmesini sağlayan teknolojik altyapıdır.

- **Donanım:** Yüksek işlem gücüne sahip bilgisayar sistemleri, veri depolama birimleri, büyük formatlı yazıcılar, GPS cihazları ve uzaktan algılama platformları gibi fiziksel ekipmanları kapsar. Yüksek çözünürlüklü uydu verilerini işlemek için güçlü grafik işlem birimleri (GPU) gereklidir.
- **Yazılım:** Coğrafi verilerin analiz edilmesini ve görselleştirilmesini sağlayan uygulamalardır. Ticari yazılımlar arasında *ArcGIS*, *ERDAS Imagine*, *ENVI* gibi platformlar öne çıkarken; açık kaynaklı sistemler olarak *QGIS*, *GRASS GIS*, *SAGA GIS* yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar aracılığıyla raster analiz, vektör işlemleri, mekânsal modelleme, uzaktan algılama analizleri ve 3B görselleştirme gibi işlemler yapılabilir (Gonzalez & Woods, 2018).

2.12.3. Yöntem ve İnsan Kaynağı (Method & People)

CBS teknolojisi ne kadar gelişmiş olursa olsun, uzman kullanıcılar ve doğru yöntemler olmadan etkili bir şekilde çalışmaz. Bu bileşen iki alt unsur içerir:

- **Yöntem:** CBS projelerinin planlanması, verilerin toplanması ve analiz süreçlerinin nasıl yürütüleceğini belirleyen algoritmalar, istatistiksel analiz yaklaşımları ve modelleme teknikleridir. Örneğin, bir arazi kullanım değişimi analizi yapılırken, NDVI analizi, değişim tespiti algoritmaları ve zamansal karşılaştırmalar kullanılır.
- **İnsan Kaynağı:** CBS uzmanları; coğrafi analiz, uzaktan algılama, kartografya, istatistik ve programlama konularında yetkin kişilerdir. Bu kişiler, sistemin tasarımından veri analitiğine, raporlamadan karar destek sistemlerine kadar her aşamada görev alır. Kurumlar için bu nitelikli insan kaynağı, sistemin sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmezdir (El-Rabbany, 2006).



Şekil 1: Uzaktan algılama verilerinin görüntü işleme ve sınıflandırma süreçlerinden geçirilerek CBS analizlerine entegrasyonunu gösteren akış diyagramı.

Görüntü işleme teknolojileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), günümüzde çok sayıda uygulama alanında birbirini tamamlayan iki stratejik araç olarak değerlendirilmektedir. Görüntü işleme, özellikle uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen verilerin sayısal analizi yoluyla nesne tanıma, sınıflandırma ve değişim izleme gibi işlemleri mümkün kılarken; CBS bu analiz çıktılarının coğrafi referans sistemleri içerisinde organize edilmesini, görselleştirilmesini ve mekânsal analizlere entegre edilmesini sağlamaktadır. Bu teknolojik etkileşim, yalnızca teknik veri işleme kabiliyetini değil, aynı zamanda mekânsal bağlamda anlamlandırmayı da beraberinde getirerek çok boyutlu karar destek süreçlerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Özellikle çevresel izleme, doğal afet yönetimi, kentsel planlama, tarımsal analiz ve askeri istihbarat gibi kritik uygulama alanlarında, görüntü işleme ve CBS'nin eşgüdümlü kullanımı operasyonel verimliliği artırmakta ve karar alma süreçlerini güçlendirmektedir. Örneğin, bir orman yangını senaryosunda, görüntü işleme teknikleriyle duman yoğunluğu ve sıcaklık değişimleri analiz edilebilirken,

CBS bu verileri harita temelli olarak sunarak müdahale ekiplerinin daha etkin planlama yapmasını sağlar. Bu bağlamda, görüntü işleme ve CBS entegrasyonu, modern veri analiz yaklaşımlarının temel taşlarından biri haline gelmiştir (Chuvieco & Huete, 2010).

Görüntü işleme teknikleri genellikle raster veri yapılarıyla çalışır. Uydu görüntüleri, İHA kayıtları, termal kameralar veya multispektral sistemlerden elde edilen bu veriler, belirli ön işleme aşamalarından (gürültü giderme, radyometrik düzeltme vb.) geçirildikten sonra analiz edilmeye başlanır. Uygulanan temel görüntü işleme teknikleri arasında şunlar yer alır:

- **Kenar Tespiti** (örneğin Sobel veya Canny algoritmaları),
- **Segmentasyon** (örneğin Watershed, Thresholding),
- **Sınıflandırma** (örneğin destek vektör makineleri, Random Forest veya CNN tabanlı sınıflayıcılar),
- **Spektral analiz** (örneğin NDVI, NDWI).

Bu analizler sonucunda ortaya çıkan veri, raster formatında coğrafi referanslı katmanlara dönüştürülerek CBS ortamlarına aktarılır. Örneğin; bir segmentasyon algoritmasıyla orman, tarım alanı ve yerleşim bölgeleri ayrıştırıldıysa, her sınıf farklı bir renk ile temsil edilerek CBS yazılımında harita üzerinde görselleştirilir. Bu sayede mekânsal analizler, istatistiksel hesaplamalar ve risk değerlendirme senaryoları oluşturulabilir (Longley et al., 2015).

İnsansız hava araçları (İHA) ile toplanan çok bantlı görüntüler üzerinden yapılan termal analizlerde, sıcaklık farklarına dayalı termal anomaliler tespit edilebilir. Bu anomaliler, görüntü işleme algoritmaları yardımıyla segmentlere ayrılır ve her segmentin coğrafi koordinatları belirlenerek CBS'ye aktarılır. Bu işlem sonucunda, özellikle orman yangını riski taşıyan sıcak bölgeler veya enerji iletim hatlarında aşırı ısınma gibi potansiyel tehditler harita üzerinde işaretlenebilir. Böylece karar vericilere hem görsel hem de sayısal veri sunularak hızlı müdahale ve planlama sağlanır (Gonzalez & Woods, 2018).

Görüntü işleme teknolojilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyonu, geleneksel analiz yöntemlerinin ötesine geçerek derin öğrenme temelli yaklaşımlarla daha güçlü ve otonom sistemlerin inşasını mümkün kılmaktadır. Özellikle derin öğrenme, karmaşık mekânsal örüntülerin otomatik olarak tanınmasını ve sınıflandırılmasını sağlayarak, görsel verilerden anlam çıkarma süreçlerini büyük ölçüde hızlandırmakta ve doğruluğunu artırmaktadır (LeCun, Bengio & Hinton, 2015).

Bu bağlamda, konvolüsyonel sinir ağları (CNN – Convolutional Neural Networks), görsel verilerdeki yapısal detayları katmanlı bir şekilde analiz edebilme kabiliyetiyle öne çıkmaktadır. Uydu görüntüleri üzerinde yapılan analizlerde, CNN tabanlı derin öğrenme modelleri; kentsel alanlar, tarım arazileri, orman örtüsü, yollar, su kütleleri ve hatta askeri tesisler gibi unsurları yüksek doğrulukla tespit edebilmekte ve bu çıktıları mekânsal veri formatlarına dönüştürerek CBS altyapılarına entegre etmektedir (Zhu et al., 2017). Bu sayede, karar vericiler mekânsal dağılım analizleri, değişim izleme ve arazi sınıflandırması gibi işlemleri daha etkili biçimde gerçekleştirebilmektedir.

Ayrıca, derin öğrenme destekli görsel sınıflandırma sistemlerinin CBS ile entegre kullanımı sayesinde; afet riski değerlendirmeleri, arazi kullanım planlamaları ve çevresel izleme gibi pek çok alanda otomatik analiz yetenekleri gelişmiştir. Örneğin, bir yangın sonrası uydu görüntüsünden yangının etkilediği alanı otomatik sınıflandıran bir CNN modeli, bu veriyi CBS ortamına aktararak müdahale ve değerlendirme süreçlerinde doğrudan kullanılabilir hale getirmektedir (Chen et al., 2018).

Bu gelişmeler, yalnızca görüntü işleme alanında değil, mekânsal veri biliminde de paradigma değişimlerini beraberinde getirmektedir. Derin öğrenmenin sunduğu yüksek isabetli öngörü kapasitesi ile CBS'nin sunduğu coğrafi bağlam birleştiğinde, geleneksel analiz yöntemlerinin ötesine geçen, gerçek zamanlı ve çok boyutlu karar destek sistemleri ortaya çıkmaktadır.

Görüntü işleme ile elde edilen verilerin CBS'ye entegre edilmesi, görselleştirmenin ötesinde analitik yetenekleri de geliştirir. Bu sistemler:

- **Isı haritaları** ile sıcaklık veya yoğunluk dağılımını sunar,
- **Zamansal analiz** ile değişimlerin zaman içindeki eğilimlerini gösterir,
- **3B modelleme** ile arazi yapısı ve yükseklik ilişkilerini inceler,
- **Karar destek sistemleri** ile farklı senaryolar için optimum çözümler önerir.

Örneğin, deprem sonrası bir şehirde yapılan yüksek çözünürlüklü hava çekimleri, görüntü işleme ile işlenip CBS'ye aktarılırsa, hasar yoğunluk haritası oluşturulabilir ve bu veriler üzerinden kurtarma operasyonları planlanabilir (El-Rabbany, 2006).

2.12.4. Haritalama Teknikleri ve Uygulama Alanları

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konumsal verilerin işlenerek harita tabanlı çözümler üretildiği, karar destek süreçlerinin merkezinde yer alan teknolojik bir altyapıdır. Haritalama sürecinde CBS, hem raster (görüntü tabanlı) hem de vektör (nokta, çizgi, alan) veri yapılarını destekleyerek mekânsal bilgi üretiminde çok yönlü analiz imkânı sunar. Raster veriler genellikle uydu görüntüleri, hava fotoğrafları veya termal kameralar gibi sensör tabanlı sistemlerden elde edilirken; vektör veriler, bu görüntülerin yorumlanması sonucunda elde edilen yapısal bilgileri (örneğin yollar, sınırlar, bina konumları) temsil eder (Longley et al., 2015).

Bu veri yapılarının CBS ortamında işlenmesiyle elde edilen haritalar, çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Aşağıda, haritalamanın stratejik önemde olduğu başlıca alanlar ve bu alanlarda kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

CBS, uçuş rotalarının belirlenmesinde, engel analizlerinin yapılmasında ve meteorolojik verilerin rotalara entegre edilmesinde hayati rol oynar. Hava araçlarının güvenli seyri için haritalarda şu unsurlar birleştirilir:

- **Dijital Yükseklik Modelleri (DEM/DTM):** Arazinin topografyasını gösterir. Bu sayede tehlikeli yükseklikler ve engel oluşturabilecek unsurlar belirlenir.

- **Meteorolojik Katmanlar:** Rüzgar yönü, bulutluluk, sıcaklık gibi atmosferik veriler CBS üzerinde gösterilerek rota üzerinde riskli bölgeler tespit edilir.

- **Dinamik Navigasyon Verileri:** Uçuş kontrol sistemleriyle entegre çalışarak İHA veya uçakların rotalarını gerçek zamanlı olarak günceller (El-Rabbany, 2006).

Örneğin, hava trafiği kontrol merkezleri, radar verilerini CBS yazılımlarıyla birleştirerek uçuş yoğunluğu analizleri yapabilir ve havalimanı çevresindeki trafiği optimize edebilir.

CBS temelli haritalama, doğal afetler sırasında hızlı karar verme ve kaynakların etkin şekilde yönlendirilmesinde kritik öneme sahiptir. Deprem, sel, orman yangını gibi afet senaryolarında CBS ile yapılan uygulamalar şunlardır:

- **Hasar Tespit Haritaları:** Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları işlenerek afet öncesi ve sonrası görüntüler karşılaştırılır, yıkım seviyeleri haritalanır.
- **Erişilebilirlik Analizi:** Yol kapanmaları, köprü hasarları gibi ulaşım engelleri analiz edilerek yardım konvoylarının en kısa ve güvenli yoldan bölgeye ulaşması planlanır.
- **Tahliye ve Barınma Planlaması:** Riskli bölgelerde yaşayan nüfus yoğunluklarına göre tahliye rotaları ve geçici yerleşim alanları optimize edilir (Chuvieco & Huete, 2010).

Örnek olarak, 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında uydu görüntülerinin kullanımıyla yıkım yoğunluk haritaları üretilmiş ve arama-kurtarma ekipleri bu haritalar doğrultusunda bölgelere yönlendirilmiştir.

Askerî operasyonlar ve sınır güvenliği gibi stratejik alanlarda CBS ile haritalama, istihbarat ve görev planlama süreçlerinde vazgeçilmezdir. Bu alandaki başlıca uygulamalar şunlardır:

- **Sınır Gözetleme:** Uydu ve İHA görüntüleri işlenerek sınır hattındaki yasa dışı geçişler, yapılaşmalar veya kamuflajlı hareketlilikler tespit edilebilir.
- **Hedef Tespiti ve Takibi:** Otomatik hedef tanıma algoritmaları, görüntü işleme çıktılarıyla birlikte çalışarak potansiyel tehditleri belirler ve CBS haritalarında gösterir.

- **Tehdit Analizi ve Operasyon Planlama:** Arazinin eğimi, bitki örtüsü, yapı yoğunluğu gibi veriler dikkate alınarak birlik konuşlandırma, hava saldırısı planlama veya istihbarat toplama senaryoları hazırlanabilir.

Askeri operasyonlarda yüksek çözünürlüklü görüntülerle oluşturulan taktik haritalar, birlik komutanlarının karar alma süreçlerini doğrudan etkiler. Özellikle GÖKTÜRK uydularından elde edilen görüntü verileri, bu haritalamanın en kritik bileşenlerinden biridir (TUSAŞ, 2023).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), farklı türde mekânsal verilerin bir araya getirilerek bütünsel analizlerin yapılabilirdiği bir platformdur. Bu sistemin en büyük avantajlarından biri, çok kaynaklı veri entegrasyonunu mümkün kılmasıdır. Özellikle uzaktan algılama teknolojileri (uydu görüntüleri, lidar, radar, termal sensörler), CBS ile entegre edildiğinde geniş alanların yüksek doğrulukla analiz edilmesine olanak tanır (Chuvieco & Huete, 2010; Longley et al., 2015).

Uzaktan algılama ürünleri çoğunlukla raster veri yapısında olup, sayısal olarak analiz edilebilir ve CBS yazılımlarına kolaylıkla entegre edilebilir. Bu entegrasyon sonucunda;

- Lidar taramaları ile elde edilen üç boyutlu nokta bulutları, şehir planlaması, altyapı projeleri ve ormancılık çalışmalarında kullanılmaktadır (El-Rabbany, 2006).
- Radar verileri (örneğin Sentinel-1 SAR) interferometrik analizlerle deformasyonların milimetre hassasiyetle izlenmesini sağlar (Gonzalez & Woods, 2018).
- Çok bantlı uydu görüntüleri ile spektral analizler (NDVI, NDWI gibi) gerçekleştirilerek bitki örtüsü sağlığı, su yüzey tespiti ve kirlilik analizi yapılabilir (Chuvieco & Huete, 2010).

Bu verilerin CBS'ye entegrasyonu hem raster katmanların doğrudan eklenmesiyle hem de işlenmiş verilerin vektör formatlarına dönüştürülmesiyle gerçekleşir (Longley et al., 2015).

DEM (Digital Elevation Model), uzaktan algılama ile elde edilen yüzey yüksekliğini temsil eden sayısal bir raster veri setidir. Lidar, fotogrametri veya stereo uydu görüntülerinden türetilir. CBS içinde DEM kullanımı:

- **Arazi eğimi ve yönü** analizlerinde,
- **Hidrografik ağ modellemesi** (nehir yönü, havza sınırı),
- **Heyelan riski analizleri** gibi jeoteknik çalışmalarda kritik rol oynar (Gonzalez & Woods, 2018; Kılınçoğlu, 2016).

Özellikle İHA (İnsansız Hava Aracı) ile elde edilen verilerden üretilen DEM'ler, yer kontrol noktaları ile eşleştirildiğinde santimetre düzeyinde doğruluk sağlayabilmektedir (Kılınçoğlu, 2016).

Ham görüntüler, geometrik bozulmalar içerdiğinden analiz öncesi ortorektifikasyon işleminden geçirilir. Bu süreçte kamera parametreleri, uçuş yönü ve arazi modeli gibi girdiler kullanılarak görüntü konumsal olarak düzeltilir (El-Rabbany, 2006). Elde edilen ortofotolar, coğrafi olarak doğru konumlanmış harita tabanlarıdır ve:

- **Kentsel dönüşüm projeleri,**
- **Kadastro güncellemeleri,**
- **Afet sonrası hasar tespiti** gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Longley et al., 2015).

Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu, kent izleme süreçlerinde de kullanılmaktadır. Lidar ile üretilen DSM (Digital Surface Model) verileri, binaların yüksekliğini ve yayılımını analiz etmeye imkân tanırken, SAR görüntüler üzerinden yapılan InSAR analizleri ile yer yüzeyindeki milimetrik yer değiştirmeler izlenebilir (Chuvieco & Huete, 2010; Gonzalez & Woods, 2018).

Örneğin, İstanbul'daki yerleşim alanlarında zemin oturması ve yapı çökmeleri gibi deformasyonlar Sentinel-1 SAR verileriyle analiz edilmekte ve CBS üzerinden risk haritaları oluşturulmaktadır (Longley et al., 2015).

2.12.5. CBS Tabanlı Karar Destek Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yalnızca harita üretimi ya da görselleştirme aracı değil; aynı zamanda gerçek zamanlı analizleri destekleyen **karar destek sistemleri (KDS)** ile entegre çalışarak stratejik planlamada aktif rol oynar. Özellikle havacılık, savunma ve afet yönetimi gibi zamanla yarışan sektörlerde, CBS tabanlı karar destek sistemleri hızlı, doğru ve çok katmanlı veri analizlerini mümkün kılar (Longley et al., 2015; Frigo & da Silva, 2020).

CBS tabanlı karar destek sistemleri, mekânsal verilerle birlikte çeşitli sensör girdilerini, istatistiksel modelleri ve yapay zekâ algoritmalarını entegre eden yapay zekâ destekli sistemlerdir. Bu sistemler üç ana bileşene sahiptir:

- **Veri Katmanı:** Uydu görüntüleri, İHA verileri, meteorolojik bilgiler, sayısal yükseklik modelleri ve diğer raster/veri katmanları.
- **İşlem Katmanı:** Mekânsal analiz algoritmaları, tahminleme modelleri (ör. sel riski), çok kriterli karar analizleri (MCDA).
- **Sunum Katmanı:** Sonuçların harita, grafik ya da rapor formatında görselleştirilmesi, mobil cihazlara veya komuta merkezlerine iletilmesi (Goodchild, 2007).

Keşif amaçlı insansız hava araçları (İHA'lar), görev bölgelerinde elde ettikleri görüntüleri gerçek zamanlı olarak yer kontrol merkezlerine iletir. Bu veriler, CBS sistemine entegre edilerek:

- Potansiyel tehdit unsurları otomatik olarak sınıflandırılır (örneğin; kamufle edilmiş araçlar, hareketli nesneler),
- İlgili konumlar harita üzerinde işaretlenir,
- Bu bölgelere müdahale edilip edilmemesi gerektiğine yönelik risk analizi yapılır.

Örneğin, Frigo ve da Silva (2020) tarafından önerilen sistemde, CBS ve görüntü işleme teknikleri birleştirilerek keşif görüntülerinden nesne tespiti yapılmakta, sınıflandırılan veriler risk seviyelerine göre puanlanmakta ve en acil müdahale bölgeleri CBS haritası üzerinde vurgulanmaktadır.

Karar destek sistemlerinde özellikle **çok katmanlı mekânsal analiz** yöntemleri uygulanır. Örneğin:

- **Ağırlıklı Katman Üst Üste Bindirme (Weighted Overlay Analysis):** Risk haritaları, tehdit yoğunlukları ve lojistik yollar gibi veriler katmanlaştırılır. Her katmana ağırlık verilerek hangi bölgelerin öncelikli olduğu belirlenir (Saaty, 1980).
- **Senaryo Tabanlı Simülasyonlar:** CBS ortamında farklı olasılıklar (hava koşulu, yol durumu, güvenlik seviyesi) simüle edilerek alternatif müdahale planları oluşturulur.
- **Mekânsal Sorgular:** “En yakın güvenli nokta nedir?”, “X bölgesinden 10 dakika içinde ulaşılan alanlar nerelerdir?” gibi mekânsal sorular anında cevaplanabilir.

CBS tabanlı karar destek sistemlerinin başlıca kullanım alanları:

Savunma ve İstihbarat: Sınır güvenliği, askeri keşif ve konuşlanma planlamasında düşman hareketliliği izlenir, tehdit haritaları üretilir (TUSAŞ, 2023).

Afet Yönetimi: Deprem sonrası erişilebilir yolların belirlenmesi, barınma alanlarının tahsisi, yardım dağıtımı planlaması.

Lojistik ve Hava Trafiği: Havaalanlarında pist kullanımı optimizasyonu, uçuş yoğunluğu tahmini, güvenlik önlemleri.

Örneğin, 2021’de yaşanan sel afetlerinde, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) kapsamında uydu görüntüleri ve CBS destekli analizlerle su taşkını yaşanan alanlar belirlenmiş, yardım ekiplerinin yönlendirilmesinde bu sistemlerden yararlanılmıştır (AFAD, 2021).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

1. MİLLİ PROJELERDE GÖRÜNTÜ İŞLEME ENTEGRASYONU

Türkiye'nin son yıllarda savunma, havacılık ve uzay alanlarında yürüttüğü milli projeler, yalnızca platform bazlı teknolojilerle sınırlı kalmayıp, ileri düzey veri işleme ve analiz yetenekleriyle de bütüncül bir teknoloji dönüşümünü temsil etmektedir. Bu dönüşümün merkezinde ise görüntü işleme teknolojilerinin sistematik olarak savunma araçlarına entegre edilmesi yer almaktadır. Gerek havadan görüntü toplayan insansız hava araçları (ANKA İHA, AKSUNGUR TİHA), gerekse yüksek çözünürlüklü gözlem yapan uzay platformları (GÖKTÜRK-1 ve GÖKTÜRK-2) aracılığıyla elde edilen veriler, modern veri yönetimi altyapıları, yapay zekâ destekli analiz motorları ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile zenginleştirilerek gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu istihbarat üretimini mümkün kılmaktadır.

Bu projeler, klasik görüntü toplama görevlerinin ötesine geçerek, görüntülerin anlamlandırılması, tehditlerin sınıflandırılması, anomali tespiti ve davranış analizleri gibi çok katmanlı işlevleri de üstlenmektedir. Örneğin, ANKA ve AKSUNGUR platformları sadece uçuş yetenekleriyle değil; taşıdıkları elektro-optik, kızılötesi ve radar sensörlerinden gelen verilerin anında işlenip yorumlanması sayesinde keşif ve gözetleme görevlerinde kritik avantajlar sağlamaktadır. Aynı şekilde GÖKTÜRK uyduları da yüksek çözünürlüklü görüntüler aracılığıyla sınır güvenliği, afet yönetimi ve çevresel analiz gibi stratejik alanlarda karar destek sistemlerinin veri altyapısını oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, bu bölümde Türkiye'nin önde gelen milli hava ve uzay projelerine entegre edilen görüntü işleme sistemleri; mimari yapı, teknik kabiliyetler, uygulama örnekleri ve gelecek vizyonları doğrultusunda ayrıntılı şekilde analiz edilecektir. Böylece milli projelerde görüntü işleme teknolojilerinin yalnızca operasyonel değil, aynı zamanda stratejik düzeyde nasıl bir rol oynadığı bütüncül bir yaklaşımla ortaya konacaktır.

1.1. ANKA İHA ve AKSUNGUR TİHA’da Veri Yönetimi

Modern savunma platformlarının etkinliği, yalnızca uçuş kabiliyeti veya mühimmat kapasitesi ile değil, aynı zamanda bu platformların veri toplama, işleme, depolama ve iletme yetenekleriyle de doğrudan ilişkilidir. Türkiye’nin yerli ve milli savunma projelerinin önemli temsilcileri olan ANKA İHA ve AKSUNGUR TİHA, bu anlamda gelişmiş veri yönetimi sistemleriyle dikkat çekmektedir. Özellikle uzun süreli keşif ve istihbarat görevlerinde bu sistemlerin sağladığı hızlı, güvenli ve çok kaynaklı veri yönetimi; görev başarısını belirleyen kritik faktörlerden biri hâline gelmiştir.

1.1.1. ANKA İHA: Orta İrtifada Gerçek Zamanlı Veri İşleme

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) tarafından geliştirilen ANKA, orta irtifa uzun havada kalış (MALE) sınıfında yer alan bir insansız hava aracı platformudur. ANKA’nın veri yönetimi altyapısı, görev sırasında elde edilen elektro-optik (EO), kızılötesi (IR), SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) ve sinyal istihbaratı (SIGINT) verilerini gerçek zamanlı olarak işleyebilecek biçimde tasarlanmıştır (TUSAŞ, 2023).

ANKA üzerinde bulunan faydalı yükler aracılığıyla elde edilen görüntü ve sensör verileri, hava aracındaki gömülü bilgi işleme sistemlerinde ön analizden geçirilerek, hedef ön tanıma, nesne izleme, sıcaklık anomali analizi gibi işlevler gerçekleştirilir. Bu ön işleme sayesinde, veri hacmi azaltılır ve yalnızca kritik bilgiler yer istasyonuna iletilir. Bu hem bant genişliği kullanımını optimize eder hem de karar alma süreçlerini hızlandırır (Gonzalez & Woods, 2018).

Ayrıca ANKA, yer kontrol istasyonlarına entegre edilmiş kriptolu veri linkleriyle çalışır. Bu bağlantılar, hassas operasyonel bilgilerin siber saldırı ve kesintiye karşı korunmasını sağlar. Uydu haberleşme (SATCOM) sistemleri ise görüş hattı dışındaki operasyonlarda veri iletiminin kesintisiz biçimde devam etmesine olanak tanır (STM, 2023).

1.1.2. AKSUNGUR TİHA: Yüksek Hacimli Verinin Yönetimi

AKSUNGUR, yine TUSAŞ tarafından geliştirilen ve ANKA platformunun daha gelişmiş bir versiyonu olan, yüksek faydalı yük kapasiteli bir taktik insansız hava aracı sistemidir. Çift motorlu yapısı, daha uzun havada kalış süresi (yaklaşık 50 saat) ve 750 kg'a kadar faydalı yük taşıma kapasitesi ile özellikle geniş alan gözetimi ve çoklu görev senaryoları için geliştirilmiştir.

AKSUNGUR, SAR, EO/IR, SIGINT ve deniz gözetimi radarları gibi sensörlerden gelen büyük veri kümelerini eş zamanlı olarak işler. Bu noktada sistem, gelişmiş veri füzyonu algoritmalarıyla farklı sensörlerden gelen verileri birleştirerek daha kapsamlı ve doğru bir çevresel durum farkındalığı oluşturur. Örneğin, optik kameraların algıladığı görüntülerdeki bir gemi, radar verileriyle eşleştirilerek tanımlanabilir ve hareket takibi başlatılabilir. Bu da hem hedef tespiti hem de tehdit analizi süreçlerinin doğruluğunu artırır (Khaleghi et al., 2013).

Veri yönetimi süreci sadece toplanan verilerin işlenmesiyle sınırlı değildir. AKSUNGUR ayrıca verileri çok kanallı yedekleme sistemleriyle kayıt altına alır ve bu kayıtları görev sonrası analiz için yer sistemlerine aktarır. Bu analizler; görev sonrası eğitim, performans değerlendirme ve algoritma geliştirme süreçlerinde kullanılır (Hall & Llinas, 2001).

ANKA İHA ve AKSUNGUR TİHA platformları, Türkiye'nin savunma sanayisinde ulaştığı teknolojik derinliği yansıtan ileri düzey veri yönetimi altyapıları ile donatılmıştır. Her iki sistemde de ortak biçimde uygulanan veri yönetimi stratejileri, görev verimliliğini maksimize etmeye ve operasyonel kararların doğruluğunu artırmaya yöneliktir. Bu altyapı, yalnızca veri toplama değil; verinin işlenmesi, güvenli iletimi, uzun süreli saklanması ve analizine kadar tüm yaşam döngüsünü kapsamaktadır (Gonzalez & Woods, 2018; Khaleghi et al., 2013).

Gerçek Zamanlı Ön İşleme

İHA'lar görev esnasında yüksek hacimli görüntü, radar ve telemetri verisi üretir. Bu verilerin tamamının anlık olarak iletilmesi hem bant genişliği açısından

verimsizdir hem de analiz edilecek verinin gereksiz yere büyümesine yol açar. Bu nedenle her iki platformda da yerleşik gerçek zamanlı işleme modülleri bulunur. Bu modüller, görüntülerdeki belirli anomalileri (hareket, sıcaklık farkı, şekil algısı gibi) otomatik olarak tanımlayarak yalnızca önemli verileri iletir. Örneğin, geniş bir ormanlık alanda yalnızca duman emarelerinin bulunduğu görüntü kesitleri, diğer görüntü verilerinden ayrıştırılarak yer istasyonuna yönlendirilir (Reynolds, 2009). Bu işlemde CNN tabanlı hedef tanıma algoritmaları yaygın biçimde kullanılır (Wong et al., 2023).

Güvenli ve Şifreli Veri İletimi

Her iki sistemde de kriptolu veri linkleri aracılığıyla veri iletimi gerçekleştirilir. NATO standartlarında AES-256 ve benzeri yüksek güvenli şifreleme protokolleri kullanılmakta; bu sayede görev sırasında elde edilen hassas veriler üçüncü taraf erişimlerine karşı korunmaktadır. Özellikle elektromanyetik saldırılara açık ortamlarda, sinyal bozulmalarına karşı dayanıklı veri paketleme ve iletim protokolleri geliştirilmiştir (Hall & Llinas, 2001).

Uydu Destekli İletişim (SATCOM)

ANKA ve AKSUNGUR, sadece görüş hattı (LOS) içinde değil, aynı zamanda görüş hattı dışı (BLOS) görevlerde de kesintisiz veri akışı sağlamak için uydu haberleşme sistemleriyle donatılmıştır. Bu sistemler, hava aracının görev alanına bağlı olmaksızın dünya üzerindeki herhangi bir kontrol istasyonu ile eş zamanlı iletişim kurmasını sağlar. Uydu haberleşmesi üzerinden iletilen veriler, bant genişliği kısıtlarına rağmen sıkıştırılmış ve ön işlenmiş hâliyle gönderildiği için yüksek performanslı bir bilgi akışı mümkündür (Chuvieco & Huete, 2010).

Yedekli Depolama ve Geri Çağırma

Görev sırasında elde edilen tüm veriler, hava aracı üzerindeki yüksek kapasiteli, yedekli depolama birimlerinde kayıt altına alınır. RAID temelli sistemler ve ECC destekli hafıza modülleri, veri bütünlüğünü güvence altına alır. Görev tamamlandıktan sonra bu veriler, uçuş sonu analizlerinde tekrar kullanılır; özellikle istihbarat ve eğitim amaçlı görevlerde geçmiş verilerin geri çağırılması kritik rol oynar (Murphy, 2012).

Görev Sonrası Görüntü Kıymetlendirme (IMINT)

Görüntü kıymetlendirme, özellikle geniş alan gözetimi veya sınır hattı izleme gibi görevlerde önem kazanır. Uçuş sırasında toplanan görüntüler görev sonrasında detaylı analizden geçirilir. Derin öğrenme algoritmaları (özellikle Mask R-CNN gibi segmentasyon teknikleri), bu görüntülerdeki potansiyel hedefleri, yapıları ve değişimleri otomatik olarak işaretleyerek insan analistlerin iş yükünü azaltır (Vengalil, 2022). Ayrıca bu kıymetlendirilmiş veriler, sahadaki askeri birliklerle paylaşılır ve taktik planlama süreçlerine dâhil edilir.

Yapay Zekâ Destekli Veri Analitiği

ANKA ve AKSUNGUR'un veri yönetimi sistemleri, geleneksel veri aktarım çözümlerinden farklı olarak yapay zekâ ile desteklenmektedir. Bu sistemler:

- Otomatik hedef tanıma (ATR),
- Davranış modelleme (örneğin araç rotalarının analiz edilmesi),
- Görsel anomali tespiti,
- Görüntü kümelenendirme ve sahne sınıflandırma gibi çok katmanlı analizler gerçekleştirebilmektedir.

Bu analitik altyapı, özellikle gözetleme görevlerinde çoklu hedef takibi (MTT), anormal aktivite tespiti ve tehdit derecelendirme gibi görevlerin makine tarafından desteklenmesine olanak tanır. Bu gelişmeler sayesinde operatör bağımlılığı azalmakta, karar alma süreçleri hızlanmakta ve görev başarımları artmaktadır (Hu et al., 2025).

1.1.3. GÖKTÜRK Uyduları ile Stratejik İstihbarat Sistemleri

Modern askeri ve sivil gözlem teknolojilerinin en gelişmiş örneklerinden biri olan uydu tabanlı görüntüleme sistemleri, istihbarat üretiminde stratejik üstünlük sağlayan kritik araçlardır. Türkiye'nin GÖKTÜRK uydu projeleri, bu alandaki dışa bağımlılığı azaltmak ve milli güvenlik temelli veri toplama kabiliyetlerini güçlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. GÖKTÜRK-1 ve

GÖKTÜRK-2 uyduları hâlihazırda aktif olarak veri üretmekte ve birçok farklı sektöre hizmet vermektedir. Bu uydular, yüksek çözünürlüklü optik sensörleri ve geniş kapsama alanları ile sadece askeri değil; şehir planlaması, afet yönetimi, tarım ve çevre izleme gibi alanlarda da önemli rol oynamaktadır.

GÖKTÜRK-1, 5 Aralık 2016'da Fransız Guyanası'ndan uzaya fırlatılmış ve 0.5 metre çözünürlüklü siyah-beyaz, 2 metre çözünürlüklü renkli görüntü alma yeteneğiyle Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü askeri gözlem uydusu olmuştur (TUSAŞ, 2023). Uydu, Dünya çevresindeki yörüngesini yaklaşık 90 dakikada tamamlamakta ve Ankara'daki Ahlatlıbel yer istasyonu ile günde 4 defa iletişim kurabilmektedir. Her bir temas yaklaşık 10 dakika sürmekte ve bu sürede yüksek hacimli görüntü verisi, yer istasyonuna aktarılmaktadır.

GÖKTÜRK-1'in tasarımı, herhangi bir coğrafi sınırlama olmaksızın Dünya'nın istenilen bölgesinden görüntü almayı mümkün kılmaktadır. Bu özelliği, ulusal güvenlik, sınır güvenliği, stratejik altyapıların gözetimi ve askeri harekât planlamasında Türkiye'ye büyük avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, afet bölgelerinin öncesi ve sonrası durumlarını karşılaştırmak, çevresel değişiklikleri izlemek gibi görevlerde de kullanılmaktadır (millisavunma.com, 2023).

GÖKTÜRK-2, TÜBİTAK UZAY ve TUSAŞ iş birliğinde geliştirilen ve 2012 yılında Çin'den fırlatılan bir başka stratejik gözlem uydusudur. 2.5 metre siyah-beyaz ve 5 metre renkli çözünürlükte görüntüleme kabiliyetine sahip olan bu uydu, Türkiye'nin kendi mühendislik gücüyle tasarlayıp ürettiği ilk yüksek çözünürlüklü uydudur (UZAY, 2023). En önemli özelliği, uydu görev bilgisayarı ve tüm yazılım altyapısının %100 yerli olarak geliştirilmiş olmasıdır. Bu sayede, görüntüleme sistemleri üzerinde tam denetim sağlanmakta ve dış kaynaklı güvenlik açıklarının önüne geçilmektedir.

GÖKTÜRK-2, savunma uygulamalarının yanı sıra tarımsal izleme, orman yangını tespiti, arazi kullanımı değişikliği takibi ve şehirleşme süreçlerinin planlanmasında da aktif biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca eğitim ve araştırma kurumlarına veri sağlayarak, akademik ve bilimsel analizlerin yapılmasına katkı sunmaktadır.

Her iki uydu sistemi de, yalnızca görüntü üretmekle kalmaz; aynı zamanda stratejik karar alma süreçlerine doğrudan veri sağlar. Elde edilen görüntüler, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), otomatik hedef tanıma (ATR), değişim tespiti ve sınıflandırma algoritmalarıyla birlikte kullanılarak anlamlı istihbarat çıktıları üretir. Örneğin, sınır hattında yeni askeri yapılanmaların tespiti veya bir altyapı tesisinde olağandışı değişimlerin izlenmesi gibi analizler, bu veriler aracılığıyla otomatik hâle getirilebilmektedir (Pearl, 1988).

Ayrıca, bu veriler yapay zekâ destekli analiz modülleriyle işlenerek, tehdit derecelendirmesi, olay tahmini ve müdahale planlamasında karar destek mekanizmalarına entegre edilir. GÖKTÜRK verilerinin Savunma Bakanlığı, AFAD, Tarım ve Orman Bakanlığı gibi farklı kamu kurumlarına dağıtılması, çok amaçlı kullanımın yaygınlaştığını göstermektedir.

Türkiye'nin istihbarat yeteneklerini daha da ileri taşımayı hedefleyen GÖKTÜRK-3 projesi, sentetik açıklıklı radar (SAR) teknolojisiyle gece ve gündüz, her hava koşulunda görüntüleme yapabilecek yeni nesil bir uydu sistemidir. SAR, bulutlu, sisli veya karanlık koşullarda dahi yer yüzeyinden yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sistemin, mevcut GÖKTÜRK verilerinin tamamlayıcısı niteliğinde olması ve çok yönlü istihbarat süreçlerine katkı sunması beklenmektedir (ekoavrasya.net, 2023).

2. AKADEMİ SANAYİ İŞ BİRLİKLERİ

Bilgi ekonomisinin ön plana çıktığı çağdaş dünyada, üniversiteler yalnızca eğitim ve temel araştırma merkezleri olarak değil; aynı zamanda ekonomik kalkınmanın, teknolojik dönüşümün ve yenilikçi üretimin temel aktörlerinden biri olarak konumlanmaktadır. Bu kapsamda üniversite-sanayi iş birlikleri (ÜSİ), bilgi transferi, ürün geliştirme, nitelikli insan kaynağı yetiştirme ve rekabet gücünün artırılması açısından kritik bir mekanizma sunar. Türkiye'de bu iş birlikleri, hem kamu politikaları hem de özel sektör girişimleriyle desteklenmekte; savunma, enerji, sağlık ve yazılım gibi stratejik sektörlerde katma değer yaratmaktadır.

2.1. Üniversite-Sanayi İş Birliklerinin Kavramsal Temeli

Üniversite-sanayi iş birlikleri; bilgi üretimi ile uygulamalı teknolojinin bulunduğu platformlar olarak tanımlanabilir. Bu iş birlikleri, üniversitelerin Ar-Ge ve bilimsel kapasitesini sanayi kuruluşlarının uygulama alanlarıyla bir araya getirerek çift yönlü bir bilgi akışı sağlar (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Bu süreçte üniversiteler, endüstriye yönelik bilgi üretirken, sanayi tarafı bu bilgiyi ürünleştirme ve ticarileştirme sürecine dahil eder.

Türkiye’de akademi-sanayi iş birliklerinin kurumsal temelleri 2000’li yıllardan itibaren hızla gelişmiş; YÖK, TÜBİTAK, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı gibi kurumlar bu sürece stratejik yön vermiştir. YÖK’ün oluşturduğu Üniversite-Sanayi İşbirliği Komisyonu, sektörel eşleştirmeler ve Ar-Ge odaklı lisansüstü eğitim programları ile bu iş birliklerinin akademik altyapısını güçlendirmiştir (YÖK, 2021).

TÜBİTAK 1505 ve 1501 gibi programlar, sanayi kuruluşları ile üniversitelerin ortak projeler yürütmelerini desteklemektedir. Ayrıca TEYDEB, teknoloji transfer ofisleri (TTO) aracılığıyla üniversitelerde geliştirilen projelerin patentleşmesini ve sanayiye aktarılmasını teşvik etmektedir (TÜBİTAK, 2023).

2.2. Havacılık ve Uzay Sanayisinde Akademi-Sanayi İş Birliklerinin Yansımaları

Havacılık ve uzay sanayisi, yüksek teknolojiye dayalı, uzun Ar-Ge döngülerine sahip ve disiplinler arası uzmanlık gerektiren bir sektördür. Bu yapı, üniversitelerle sanayi arasındaki stratejik iş birliklerini zorunlu kılmaktadır. Türkiye’de özellikle son 20 yılda, savunma sanayisinin yerleştirme politikalarıyla paralel olarak, akademik kurumlarla büyük savunma sanayi firmaları arasında iş birliği temelli çok sayıda ortak proje hayata geçirilmiştir. Bu iş birlikleri; insan kaynağı yetiştirme, özgün sistem geliştirme, ileri malzeme teknolojileri, yapay zekâ destekli otonom sistemler ve yüksek hassasiyetli üretim

süreçleri gibi birçok alanda karşılıklı bilgi akışını mümkün kılmaktadır (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

TUSAŞ, TEI, ASELSAN, ROKETSAN gibi savunma ve havacılık firmaları, üniversitelerle birlikte çok sayıda Ar-Ge projesi yürütmektedir. Bu projeler, genellikle lisansüstü eğitimle entegre biçimde yapılandırılmakta ve hem araştırma çıktısı hem de pratik mühendislik çözümleri üretmektedir. Örneğin, ASELSAN Akademi Programı ile ASELSAN mühendisleri, ODTÜ, Hacettepe ve Bilkent üniversitelerinde yüksek lisans ve doktora yaparken, aynı zamanda firma içindeki projelerde aktif görev almaktadır (YÖK, 2021). Bu model, teori ve uygulamanın aynı anda öğrenilmesini ve teknolojik üretimin bilimsel temellerle beslenmesini sağlamaktadır.

Akademik kurumlar, savunma sanayi ihtiyaçlarına yönelik test ve ölçüm altyapılarını da sağlamakta ya da bu ihtiyaçlara özel altyapılar geliştirmektedir. Örneğin, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve TÜBİTAK SAGE iş birliğiyle kurulan itki sistemleri test laboratuvarları, roket ve füze motorlarının güvenlik, performans ve verimlilik analizlerini gerçekleştirmektedir. Benzer şekilde, ODTÜ-BİLTİR Merkezi ile TUSAŞ arasındaki iş birliği çerçevesinde kompozit malzeme analizleri yapılmakta, uçak parçalarının mekanik performansı test edilmektedir (Temel et al., 2013).

Son yıllarda görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin havacılık sistemlerine entegrasyonu, akademi-sanayi iş birliklerinin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. ODTÜ, Boğaziçi ve Sabancı üniversitelerinde geliştirilen derin öğrenme tabanlı görüntü analiz algoritmaları, TUSAŞ tarafından ANKA ve AKSUNGUR platformlarında hedef tanıma, nesne sınıflandırma ve anomali tespiti süreçlerinde kullanılmaktadır (Hu et al., 2025). Bu algoritmalar, gerçek zamanlı görüntü akışının sınıflandırılmasında insan operatörün iş yükünü azaltmakta ve sistem tepkilerini hızlandırmaktadır.

Türkiye'nin "Milli Uzay Programı" kapsamında yürütülen Göktürk-3 ve İMECE uydularının geliştirilme süreçlerinde İstanbul Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve TÜBİTAK UZAY önemli roller üstlenmiştir. Özellikle

İMECE uydusunun elektro-optik kamera sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi'nin liderliğinde, üniversite laboratuvarlarında tasarlanıp test edilmiştir (UZAY, 2023). Bu süreç, bir üniversitenin doğrudan bir milli uzay projesine mühendislik ve teknik altyapı katkısı sunduğu nadir örneklerden biridir.

Savunma sanayi ile akademi iş birlikleri, yalnızca yerel teknoloji üretimiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda uluslararası bilimsel yayınlar, patent başvuruları ve uluslararası fonlu projelerle de güçlenmektedir. TUSAŞ ve üniversiteler arasında imzalanan protokoller çerçevesinde geliştirilen sistemlerin büyük bölümü, IEEE, Springer ve Elsevier gibi yayınevlerinde yayınlanan makaleler aracılığıyla literatüre kazandırılmakta ve Türkiye'nin bilimsel görünürlüğünü artırmaktadır (Kleiner-Schaefer & Schaefer, 2022).

2.3. TÜBİTAK UZAY ve ASELSAN Projeleri

Türkiye'nin uzay ve savunma sanayisindeki yükselişi, yerli ve milli teknoloji üretimini merkeze alan vizyoner kamu kurumları sayesinde ivme kazanmıştır. Bu bağlamda, TÜBİTAK UZAY ve ASELSAN, bilimsel araştırma ve ileri teknoloji geliştirme misyonlarını birleştirerek stratejik önemdeki birçok ortak projeye imza atmıştır. Her iki kurumun iş birliğiyle geliştirilen projeler, yalnızca teknolojik kapasiteyi artırmakla kalmayıp; aynı zamanda sivil ve askeri uygulamalarda kullanılabilecek ileri sistemlerin üretimine öncülük etmiştir. Uydu teknolojileri, elektro-optik sistemler, radar ve haberleşme çözümleri, yapay zekâ destekli gözlem sistemleri bu projelerin başlıca odak alanları arasında yer almaktadır. Aşağıda, bu iş birliklerine ait temel projeler teknik detayları ve ulusal strateji bağlamında değerlendirilmektedir.

TÜRKSAT 6A, Türkiye'nin uzayda haberleşme uydusu üretme kabiliyetine ulaşmasını simgeleyen en önemli projelerden biridir. TÜBİTAK UZAY koordinasyonunda yürütülen projede, ASELSAN görev yükleri (Ku band alıcı/verici modülleri, transponder sistemleri vb.) ile önemli katkılar sağlamaktadır. Uydu, hem sivil hem askeri veri haberleşmesi için kullanılmak üzere tasarlanmış; tamamen yerli altyapıyla geliştirilmiştir (TÜBİTAK, 2023).

42° doğu yörüngesinde görev yapacak olan uydu, 20 adet Ku band kapsama alanı ile Asya, Avrupa ve Afrika’da geniş bir iletişim ağı kuracaktır.

GÖKTÜRK-3 projesi, Türkiye’nin gece-gündüz, her hava koşulunda yüksek çözünürlüklü görüntü alabilmesini sağlayan ilk SAR tabanlı uzay gözlem sistemidir. TUSAŞ ana yükleniciliğinde, ASELSAN’ın SAR yükleri ve TÜBİTAK UZAY’ın yörünge sistemleri ile projeye katkı sunduğu bu sistem, sınır güvenliği, afet yönetimi, kaçakçılıkla mücadele ve istihbarat uygulamalarında kullanılacaktır. SAR teknolojisinin, özellikle bulutlu veya düşük ışık koşullarında optik sistemlere göre üstün performans göstermesi bu projeyi stratejik açıdan benzersiz kılmaktadır (TÜBİTAK, 2023).

İMECE uydusu, Türkiye’nin yüksek çözünürlüklü elektro-optik gözlem kabiliyetini millî kaynaklarla gerçekleştirdiği bir başka prestijli projedir. 2023 yılında yörüngesine yerleştirilen uydu, TÜBİTAK UZAY tarafından geliştirilmiş; ASELSAN, elektro-optik kamera sistemleri ve güç dağıtım modülleriyle projeye destek vermiştir. Uydu, 640 mm GSD çözünürlüğe sahip olup, şehir planlama, tarım, orman izleme, sınır kontrolü ve çevresel değişim analizlerinde kullanılmaktadır (TÜBİTAK BİLİM TEKNİK, 2023).

YAKUD projesi, ASELSAN öncülüğünde yürütölen ve Türkiye’nin uzay varlıklarının güvenliğini sağlamak için geliştirilen ilk Uzay Durumsal Farkındalık (SSA) sistemidir. LEO (Low Earth Orbit) uydularının ve uzay çöplerinin takibi, yörünge tahminleri ve çarpışma risk analizleri bu sistemin temel hedefleri arasındadır. TÜBİTAK UZAY ile iş birliği içinde geliştirilen proje, optik teleskoplar ve radar sistemlerinden gelen verileri birleştirek yörünge modellemeleri üretmektedir. Bu yapı, hem yerli uydu güvenliğini sağlamaya hem de küresel uzay trafiğine dair veri üretmeye yöneliktir (ASELSAN, 2023).

ROKETSAN, Türkiye’nin roket ve füze sistemleri üretiminde kritik rol oynayan bir savunma sanayi kuruluşudur. Kuruluşun mühendislik altyapısında yer alan ileri üretim teknolojileri arasında görüntü işleme sistemleri önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren parçaların üretiminde kalite

kontrol ve otomasyon süreçlerinin dijitalleştirilmesi, görüntü işleme algoritmaları sayesinde mümkün hâle gelmiştir. Bu teknolojiler; yüzey kusuru tespiti, geometrik doğrulama, montaj analizleri ve otomatik sınıflandırma gibi süreçlerin gerçek zamanlı olarak yürütülmesini sağlamaktadır (Pimenov et al., 2023).

Üretim hattında yer alan metal parçalar ve kompozit yüzeyler, özellikle füze gövdeleri, motor bileşenleri ve hassas yönlendirme sistemlerinde mikro düzeyde kusurlar içerebilir. Bu kusurların manuel olarak tespit edilmesi zaman alıcı ve hataya açık bir süreçtir. Ancak yüksek çözünürlüklü kamera sistemleri ile entegre çalışan görüntü işleme algoritmaları sayesinde bu kusurlar, otomatik olarak tanımlanabilmektedir. Martin et al. (2021), endüstriyel yüzey kusuru tespiti için kullanılan derin öğrenme modellerinin (örneğin CNN tabanlı denetimli öğrenme sistemleri) üretim doğruluğunu %95'in üzerine çıkardığını belirtmektedir.

ROKETSAN üretim sahalarında, roket motorlarına ait nozullar, yakıt tankı bağlantıları ve yönlendirme sistemleri gibi bileşenler milimetre altı toleranslarla üretilmektedir. Bu nedenle geleneksel ölçüm sistemleri yerine görüntü işleme destekli temassız ölçüm sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemler, parçaların 2B ve 3B dijital modelleri ile fiziksel ürünler arasındaki farkları analiz ederek hata oranlarını düşürmektedir (Ciora & Simion, 2014).

Karmaşık savunma sistemlerinin üretiminde parçaların doğru montajı, operasyonel güvenlik açısından kritik öneme sahiptir. Görüntü işleme sistemleri, montaj hattında parçaların doğru konumda olup olmadığını doğrulamak için kullanılmaktadır. Özellikle bilgisayarla görü (computer vision) sistemleri, birleştirilen modülleri otomatik olarak karşılaştırmakta ve sapma tespiti yapmaktadır. Bu sistemler ayrıca, üretim süreçlerinin adım adım izlenmesini sağlayarak, üretim hatalarında geriye dönük analiz yapılmasına da olanak tanımaktadır (Martin et al., 2021).

Görüntü işleme sistemlerine entegre edilen derin öğrenme modelleri, hatalı parçaların üretim hattı üzerinde anında tanınmasını ve ayrıştırılmasını

sağlamaktadır. Pimenov ve arkadaşlarının (2023) çalışmasına göre, derin öğrenme tabanlı sınıflandırıcılar ile donatılmış üretim hatlarında insan kaynaklı hata oranı %40 azalırken, üretim hızı %15 artmaktadır. Bu sistemler, özellikle düşük kontrastlı ve karmaşık yapıya sahip yüzeylerde bile başarıyla çalışabilmekte, üretim sürekliliği ve kalite güvenliğini aynı anda sağlamaktadır.

3. ULUSLARARASI UYGULAMALAR VE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Günümüzde havacılık ve uzay sanayii, yalnızca teknolojik gelişmelerin değil, aynı zamanda ülkelerin stratejik, ekonomik ve askeri vizyonlarının da belirleyici unsurlarından biri hâline gelmiştir. Türkiye'nin bu alandaki millî projeleri son yıllarda önemli bir ivme kazanmış olmakla birlikte, küresel ölçekte benzer alanlarda yürütülen çalışmalarla karşılaştırıldığında mevcut konumun daha sağlıklı analiz edilebilmesi mümkündür. Bu bağlamda, başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere Avrupa Birliği, Çin, Hindistan ve Japonya gibi ülkelerin öncülük ettiği havacılık ve uzay projeleri; uygulama alanları, teknolojik derinlik ve stratejik hedefler açısından değerlendirilmiş ve Türkiye'nin mevcut gelişimi ile karşılaştırmalı bir perspektifte ele alınmıştır (ESA, 2021; NASA, 2022; Airbus, 2023).

3.1. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri, hem kamu hem de özel sektör aracılığıyla havacılık ve uzay teknolojileri alanında öncü konumda yer almaktadır. NASA'nın yürüttüğü Artemis Programı, 21. yüzyılın en iddialı uzay görevlerinden biri olup, insanlı Ay yolculuklarını yeniden başlatmayı ve 2030'lu yıllarda Mars'a insan göndermeyi hedeflemektedir. Program kapsamında Ay yüzeyinde sürdürülebilir bir üs kurulması ve Ay'ın bilimsel açıdan detaylı incelenmesi planlanmaktadır. Artemis görevleri, yalnızca NASA tarafından değil, ESA (Avrupa Uzay Ajansı), JAXA (Japonya) ve Kanada Uzay Ajansı gibi uluslararası ortaklarca da desteklenmektedir (NASA, 2022).

Özel sektör tarafında SpaceX, tekrar kullanılabilir roketler geliştirme konusunda devrim niteliğinde ilerlemeler kaydetmiştir. Falcon 9 ve Falcon Heavy

sistemleri sayesinde maliyetler düşürülmüş, fırlatma sıklığı artırılmış ve Uluslararası Uzay İstasyonu'na (ISS) kargo ve mürettebat transferi düzenli hale getirilmiştir. SpaceX'in geliştirdiği Starship ise hem Ay hem Mars görevleri için tasarlanan, tamamen tekrar kullanılabilir bir uzay aracıdır. Ayrıca Blue Origin (Jeff Bezos) ve Sierra Nevada Corporation gibi firmalar da ticari uzay taşımacılığı ve düşük yörünge görevlerine yönelik sistemler geliştirmektedir.

Askeri alanda ise ABD, yüksek teknolojiye sahip savaş uçakları ve gözetim sistemleriyle küresel ölçekte hava üstünlüğünü sürdürmektedir. F-35 Lightning II, çok rollü beşinci nesil bir savaş uçağı olarak hem görünmezlik teknolojisi hem de çoklu sensör füzyonu sayesinde dikkat çekmektedir. Diğer yandan yeni geliştirilen B-21 Raider stratejik bombardıman uçağı, ABD Hava Kuvvetleri'nin modernizasyon sürecinin önemli bir parçasıdır.

3.2. Avrupa Birliği ve ESA Projeleri

Avrupa Birliği ülkeleri, savunma ve uzay alanındaki teknolojik bağımsızlık hedefleri doğrultusunda çok uluslu işbirliklerine önem vermektedir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA), bilimsel keşiflerden dünya gözlemi ve navigasyon sistemlerine kadar çok geniş bir yelpazede faaliyet göstermektedir. Galileo Uydu Navigasyon Sistemi, AB'nin ABD GPS sistemine bağımlılığını azaltmayı hedefleyen stratejik bir altyapıdır ve sivil kullanımda yüksek hassasiyetli konum bilgisi sağlamaktadır.

Copernicus Dünya Gözlem Programı, çevre izleme, afet yönetimi, tarımsal verimlilik ve iklim değişikliği gibi alanlarda kullanıcılara yüksek çözünürlüklü uydu verisi sunmaktadır. Bu program sayesinde Avrupa, çevresel ve güvenlik politikalarını bilimsel verilerle destekleyebilme kapasitesine ulaşmıştır (ESA, 2021).

Clean Sky 2 programı, Avrupa havacılık sanayiinin çevre dostu dönüşümünü hedeflemektedir. Yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmayı amaçlayan bu program, yeni nesil uçak motorları, hafif malzeme teknolojileri ve elektrikli tahrik sistemleri üzerinde çalışmaktadır. Airbus tarafından geliştirilen

ZEROe hidrojenli uçak konsepti ise 2035 yılına kadar ticari hizmete girmesi planlanan, sıfır emisyonlu ilk yolcu uçağı prototipi olarak dikkat çekmektedir.

3.3. Asya Ülkeleri: Çin, Hindistan ve Japonya

Çin, son yıllarda uzay teknolojilerinde kaydettiğı hızlı ilerlemeye dikkat çekmektedir. Çin Ulusal Uzay İdaresi (CNSA), 2021 yılında Tiangong Uzay İstasyonunun modüllerini başarıyla yörüngeye yerleştirmiş ve kendi bağımsız uzay istasyonunu kurma yolunda önemli bir adım atmıştır. Bunun yanı sıra Chang'e Ay keşif görevleri ve Tianwen-1 Mars misyonu, Çin'in derin uzay araştırmalarında ulaştığı teknik yeterliliğı göstermektedir. Çin, uzay çalışmalarında sadece bilimsel hedefler değil, aynı zamanda askeri-stratejik üstünlük hedefleri de taşımaktadır.

Hindistan, düşük maliyetli ama yüksek etkili uzay misyonlarıyla öne çıkmaktadır. Hindistan Uzay Araştırma Örgütü (ISRO) tarafından gerçekleştirilen Chandrayaan Ay misyonları ve Mangalyaan Mars yörünge görevleri, özellikle gelişmekte olan ülkeler için model teşkil etmektedir. Hindistan'ın bu alandaki başarısı, mühendislik disiplinlerinin entegre kullanımı ve kaynak verimliliğı açısından dikkat çekicidir.

Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA), özellikle asteroid keşif misyonları (Hayabusa ve Hayabusa2) ve robotik uzay araçlarıyla tanınmaktadır. JAXA'nın geliştirdiğı kargo taşıyıcıları, ISS'e düzenli olarak malzeme ulaştırmakta, ayrıca uluslararası görevlerde bilimsel katkı sunmaktadır.

3.4. Karşılaştırmalı Analiz

Türkiye'nin havacılık ve uzay sanayisindeki gelişimi, özellikle son yıllarda millî projelere verilen destekle önemli bir ivme kazanmıştır. Ancak küresel ölçekte yürütülen projelerle karşılaştırıldığında, Türkiye'nin henüz teknoloji seviyesi, üretim kapasitesi, insan kaynağı ve uluslararası entegrasyon bakımından gelişmiş ülkelerin gerisinde olduğu görülmektedir. Örneğin, ABD'nin Artemis Programı gibi derin uzay görevlerine yönelik projeleri veya Avrupa

Birliği'nin Galileo ve Copernicus sistemleri, Türkiye'de henüz karşılığı olmayan geniş ölçekli stratejik projelerdir (NASA, 2022; ESA, 2021).

Buna karşın Türkiye, özellikle insansız hava araçları (İHA), uydu sistemleri ve milli muharip uçak gibi alanlarda ciddi bir teknoloji birikimi ve üretim kapasitesi oluşturmuştur. Çin ve Hindistan gibi ülkelerin de sınırlı kaynaklarla yüksek etkili projeler gerçekleştirdiği dikkate alındığında, Türkiye'nin kaynak etkinliği ve proje yönetimi bakımından benzer potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, Türkiye'nin mevcut pozisyonunu daha ileriye taşıyabilmesi için yüksek teknolojili Ar-Ge yatırımlarının artırılması, nitelikli insan kaynağının desteklenmesi ve küresel işbirliği ağlarına daha etkin katılım sağlanması gerekmektedir.

SONUÇ

Bu tez çalışması, dijital dönüşümün hız kazandığı çağımızda havacılık ve uzay sanayisinde görüntü işleme teknolojilerinin stratejik önemini çok boyutlu bir yaklaşımla ele almıştır. Çalışma boyunca, görüntü işleme sistemlerinin yalnızca teknik bir çözüm aracı değil; aynı zamanda Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) ile entegre edilerek karar destek mekanizmalarının temel bileşeni hâline geldiği vurgulanmıştır. Özellikle makine öğrenmesi, derin öğrenme, artırılmış gerçeklik ve veri madenciliği gibi çağdaş teknolojilerle bütünleşmesi, bu sistemlerin savunma sanayisinde üstlendiği rolü daha da derinleştirmiştir.

Tezin birinci bölümünde, görüntü işleme sistemlerinin temel kavramları, teknolojik altyapısı ve YBS ile ilişkisi açıklanmış; veri ambarları, OLAP sistemleri, veri kalitesi ve yapay zekâ temelli iş zekâsı yaklaşımları detaylandırılmıştır. Özellikle veri yönetimi, self-service BI, mobil karar sistemleri gibi güncel konular, görüntü işleme süreçlerinin kurumsal karar alma ile nasıl entegre edilebileceğini ortaya koymuştur.

İkinci bölümde, Türkiye’de geliştirilen millî savunma projeleri (ANKA, AKSUNGUR, GÖKTÜRK, İMECE vb.) özelinde görüntü işleme altyapıları değerlendirilmiş; bu sistemlerin operasyonel karar alma süreçlerine nasıl katkı sunduğu örneklerle açıklanmıştır. Ayrıca borescope görüntüleriyle kusur tespiti, zaman serisi analizleriyle motor arızalarının LSTM ile öngörülmesi, sensör füzyonu ve probabilistik modellemelerle anomali tespiti gibi uygulamalar üzerinden görüntü işleme sistemlerinin ne denli ileri düzeyde kullanılabildiği gösterilmiştir.

Aynı zamanda, görüntü işleme teknolojilerinin sadece savunma ve keşif faaliyetlerinde değil, üretim hatlarında kalite kontrol, bakım-onarım süreçlerinde otomasyon, eğitim simülasyonları ve montaj doğrulama gibi farklı operasyonel alanlarda da önemli roller üstlendiği vurgulanmıştır. ROKETSAN, TÜBİTAK UZAY ve ASELSAN gibi kurumların geliştirdiği örnek projeler, bu teknolojilerin Türkiye’nin savunma sanayisindeki stratejik pozisyonunu güçlendirmede ne kadar kritik olduğunu ortaya koymuştur.

Yöntemsel olarak çalışma, nitel araştırma yaklaşımı ile yapılandırılmış, literatür taramaları, teknik rapor analizleri ve kurumsal belgeler ışığında derinlemesine inceleme yapılmıştır. Özellikle veri güvenliği, sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve stratejik entegrasyon gibi yönetim odaklı boyutlar, görüntü işlemenin yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda yönetsel bir alan hâline geldiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, görüntü işleme sistemlerinin havacılık ve uzay sanayisinde;

- Operasyonel verimlilik artırımı,
 - Karar destek süreçlerinin güçlendirilmesi,
 - Kurumsal dijitalleşmenin desteklenmesi,
 - Stratejik savunma avantajı sağlanması,
 - Yerli ve millî teknoloji üretimine katkı sunulması
- açılarından çok yönlü ve kritik bir rol üstlendiğini ortaya koymuştur.

ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular, görüntü işleme teknolojilerinin havacılık ve uzay sanayisinde hem teknik hem de yönetsel açılardan stratejik bir araç hâline geldiğini ortaya koymaktadır. Ancak teknoloji, dinamik ve gelişen bir alan olduğundan, bu çalışmanın sunduğu kavramsal ve uygulamalı çerçeve üzerine inşa edilecek daha derinlemesine, ölçülebilir ve karşılaştırmalı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda aşağıda, gelecek araştırmalara ve kurumsal uygulamalara katkı sunabilecek bazı somut öneriler sunulmuştur:

Görüntü işleme sistemlerinin etkinliğini sadece teorik değil, ölçülebilir performans göstergeleri ile değerlendiren saha araştırmaları yapılmalıdır. Özellikle karar destek süreçlerindeki doğruluk oranı, müdahale süresindeki azalma, hata tespiti oranları gibi metrikler üzerinden yapılan analizler, teknolojinin somut etkisini gözler önüne serecektir. Bu tarz çalışmalar gerek akademik literatüre katkı sunacak, gerekse karar alıcı kurumlar için somut yol haritaları oluşturacaktır.

Savunma ve havacılık gibi kritik alanlarda kullanılan görüntü işleme sistemlerinin tamamen yerli ve gerçek zamanlı çalışan yazılımlar ile desteklenmesi, dışa bağımlılığı azaltacak ve veri güvenliğini artıracaktır. Bu kapsamda, uçtan uca veri işleyebilen, yapay zekâ destekli, yüksek çözünürlükle uyumlu ve modüler yapıda yazılımların Ar-Ge süreçleri desteklenmelidir. Bu tür çalışmalar, millî teknoloji hamlesi perspektifiyle stratejik bir öncelik olarak ele alınmalıdır.

Görüntü işleme sistemlerinin yalnızca teknik değil, aynı zamanda kurumsal yönetim, veri analitiği ve stratejik planlama gibi çoklu disiplinleri ilgilendirdiği unutulmamalıdır. Bu nedenle üniversiteler ile savunma sanayii kurumları arasında ortak Ar-Ge projeleri geliştirilmeli, özellikle YBS ve görüntü işleme entegrasyonunu konu alan disiplinler arası yüksek lisans ve doktora tezleri teşvik edilmelidir. Ortaya çıkacak bu tezler, uygulamaya dönük bilgi üretiminin artmasına katkı sağlayacaktır.

Görüntü işleme sistemlerinin barındırdığı hassas veriler, beraberinde önemli etik ve güvenlik sorunlarını da getirmektedir. Özellikle İHA'lar, askeri gözlem sistemleri ve uydu görüntüleri üzerinden toplanan verilerin yetkisiz erişime, manipülasyona ve veri sızıntılarına karşı korunması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda KVKK, GDPR gibi veri koruma mevzuatları ile uyumlu sistemler tasarlanmalı; veri erişim hakları, anonimleştirme teknikleri ve güvenlik protokolleri daha derinlemesine analiz edilmelidir.

Türkiye'nin millî projelerinde kullanılan görüntü işleme teknolojileri (GÖKTÜRK-3, TÜRK SAT 6A vb.) uluslararası örneklerle karşılaştırılarak teknolojik yeterlilik düzeyi, yenilik seviyesi ve entegrasyon kabiliyeti analiz edilmelidir. Bu tarz kıyaslamalar, dış pazar rekabetçiliği, uluslararası iş birliği fırsatları ve teknoloji transferi açısından stratejik değerlendirmelere zemin hazırlayacaktır. Ayrıca, global standartlara uygunluk sağlayacak AR-GE çalışmalarının yönü belirlenmiş olur.

KAYNAKÇA

- Accedia. (2023). 10 business applications of image processing & recognition. Retrieved from <https://accedia.com/insights/blog/10-business-applications-of-image-processing-and-recognition-technology>
- Ahlgren, J., Christofferson, L., Jansson, L., & Linnér, A. (1998). *Faktaboken om Gripen* (4th ed.). Sweden.
- Anderson, J. D. (2017). *Introduction to flight* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
- ASELSAN. (2023). Uzay Alanı Durumsal Farkındalığı. <https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/347/aselsan-ve-uzay>
- Candell, O. (2004). *Development of user information products for complex technical systems* (Licentiate Thesis). Luleå University of Technology, Sweden.
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Chaudhuri, S., & Dayal, U. (1997). An overview of data warehousing and OLAP technology. *ACM SIGMOD Record*, 26(1), 65–74. <https://doi.org/10.1145/248603.248616>
- Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188.
- Chitradevi, B., & Srimathi, P. (2014). An overview on image processing techniques. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2(11), 6466–6473.
- Chuvieco, E., & Huete, A. (2010). *Fundamentals of satellite remote sensing*. CRC Press.
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- Defense Here. (2023). GÖKTÜRK-2'nin 10 Yılı. <https://defensehere.com/tr/18-aralik-2012-turkiyenin-ilk-askeri-uydusu-gokturk-2-uzaya-firlatildi>

- DIAS. (2020). *Decision Theory Review, 8th Issue, Pages 102-112*. Retrieved from <https://dias.ac.in/wp-content/uploads/2020/06/102-112-Pages-of-DTR-8th-issue.pdf>
- EkoAvrasya. (2023). Türkiye'nin Uzay Vizyonu ve Uydu Teknolojisi Serüveni. <https://ekoavrasya.net/turkiyenin-uzay-vizyonu-ve-uydu-teknolojisi-seruveni>
- El-Rabbany, A. (2006). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Artech House.
- EOS Data Analytics. (2023). Satellite data analytics and imagery analysis. Retrieved from <https://eos.com/>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123.
- Frigo, M. A., & da Silva, E. C. C. (2020). Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review.
- Gabriel, J., & O'Brien, J. (1999). *Management information systems: Managing information technology in the internetworked enterprise*. Boston: Irwin.
- Gilmore, C. K. (2017). Electro-aerodynamic thrust for fixed-wing aircraft propulsion (Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology).
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing (4th Edition)*. Pearson.
- Hall, D. L., & Llinas, J. (2001). *Handbook of multisensor data fusion*. CRC Press.
- Hu, J., Wang, J., Guo, X., & Qian, L. (2025). Fault prediction of aircraft engine based on adaptive hybrid sampling and BiLSTM. *Scientific Reports*, 15, 13726. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98756-9>
- IBM. (n.d.). ERP integration: How to connect your ERP system to other business applications. Retrieved April 27, 2025, from <https://www.ibm.com/think/topics/erp-integration>
- IDEXX. (2023). Understanding "imaging integration" in practice management software. Retrieved from <https://www.idexx.com/en/blogs/cornerstone-news/imaging-integration/>
- Inmon, W. H. (2005). *Building the data warehouse (4th ed.)*. Wiley.
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE*

- conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1125–1134). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.632>
- Kan, A. (2017). Machine learning applications in cell image analysis. *Immunology & Cell Biology*, 95(6), 525–530. <https://doi.org/10.1038/icb.2017.16>
- Khaleghi, B., Khamis, A., Karray, F. O., & Razavi, S. N. (2013). Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion*, 14(1), 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2011.08.001>
- Kılınçoğlu, D. B. (2016). Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Kimball, R., & Ross, M. (2013). *The data warehouse toolkit: The definitive guide to dimensional modeling* (3rd ed.). Wiley.
- Kleiner-Schaefer, C., & Schaefer, S. (2022). University-industry collaboration in Turkish SMEs. *Journal of Technology Transfer*, 47(5), 1234–1252.
- Kumar, P. K. (2006). Information systems decision-making. *Indian MBA*. Retrieved March 2, 2015, from http://www.indianmba.com/Faculty_Column/FC307/fc307.html
- Ladley, J. (2012). *Data governance: How to design, deploy and sustain an effective data governance program*. Elsevier.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2007). *Management information systems: Managing the digital firm* (10th ed.). PHI Learning Private Limited.
- Lee, S., Maa, Y., Thimm, G., & Verstraeten, J. (2008). Product life-cycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in Industry*, 59(2–3), 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.06.023>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Wiley.
- Lorell, M., Raymer, D. P., Kennedy, M., & Levaux, H. (1995). *Grey threat: Assessing the next-generation European fighters*. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Lucy, T. (1989). *Management information system*. California: Jossey-Bass.
- Luo, M., Cheng, Y., Jiang, X., & Zhou, Y. (2021). Deep fusion of heterogeneous data sources for intelligent fault diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 153, 107466. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107466>

- Madabhushi, A., & Lee, G. (2016). Image analysis and machine learning in digital pathology: Challenges and opportunities. *Medical Image Analysis*, 33, 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.06.002>
- Markeset, T., & Kumar, U. (2003). Design and development of product support and maintenance concepts for industrial systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(4), 376–392. <https://doi.org/10.1108/13552510310503286>
- MDPI. (2023). System integration and intelligent automation. *Information*, 14(10), Article 547. <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/10/547>
- Milli Savunma. (2023). GÖKTÜRK-1 Uydusu. <https://www.millisavunma.com/gokturk-1-uydusu>
- Momeni, M. (2001). *Management information systems*. Tehran: Payam Noor University Press.
- Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.
- NNTC. (2023). UAV & satellite data analysis. Retrieved from <https://nntc.digital/solutions/drones/uav-satellite-data-analysis/>
- Orduna-Malea, E., & Aytac, S. (2015). Webometric analysis of Turkish university-industry relations. arXiv preprint arXiv:1506.03012.
- Ottih, L. O. (1995). *Management information systems*. Owerri: New African Publishing Co. Ltd.
- Parida, A., Phanse, K., & Kumar, U. (2004). An integrated approach to design and development of e-maintenance system. In *VETOMAC-3 and ACSIM-2004* (pp. 1141–1147), New Delhi.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*. Morgan Kaufmann.
- Pendse, N. (2002). What is OLAP? Retrieved from <https://www.olapreport.com>
- Pratt, W. K. (2001). *Digital image processing: PIKS scientific inside* (4th ed.). New York: Wiley-Interscience.
- Rahman, M. R., & Saha, S. K. (2008). Multi-resolution segmentation for object-based classification and accuracy assessment of land use/land cover classification using remotely sensed data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(3), 189–201. <https://doi.org/10.1007/s12524-008-0020-4>
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive systems engineering*. New York: Wiley.

- Razzak, M. I., Naz, S., & Zaib, A. (2018). Deep learning for medical image processing: Overview, challenges and the future. In Dey, N., Ashour, A. S., & Borra, S. (Eds.), *Multimedia processing for security and applications* (pp. 323–350). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78452-6_13
- Redman, T. C. (1998). The impact of poor data quality on the typical enterprise. *Communications of the ACM*, 41(2), 79–82.
- Reynolds, D. A. (2009). Gaussian mixture models. *Encyclopedia of Biometrics*, 741–745. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5_196
- Romesis, C., Weigold, M., Müller, S., & Achmus, S. (2024). AI boosts fault detection in turbofan engines. *AZoRobotics*. <https://www.azorobotics.com/News.aspx?newsID=15476>
- Sanami, S., & Aghdam, A. G. (2025). Aero-engines anomaly detection using an unsupervised Fisher autoencoder. *arXiv preprint arXiv:2502.05428*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.05428>
- Silver, M. S., Markus, M. L., & Beath, C. M. (1995). The information technology interaction model: A foundation for the MBA core course. *MIS Quarterly*, 19(3), 361–390. <https://doi.org/10.2307/249601>
- SkyWatch. (2022). How an artificial intelligence company uses satellite data. Retrieved from <https://skywatch.com/how-an-artificial-intelligence-company-uses-satellite-data/>
- Sözeri, V., Keskin, O., Harmanşah, C., Kozak, İ., & Kibar, E. N. (2023). Görüntü İşleme Algoritmalarına Dayalı Olarak Manyetik Parçacık Test Görüntülerinde Kusur Tespitinin Araştırılması. *AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Specht, D. F. (1990). Probabilistic neural networks. *Neural Networks*, 3(1), 109–118. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(90\)90049-Q](https://doi.org/10.1016/0893-6080(90)90049-Q)
- STM. (2023). Bilgisayarlı Görü Çözümleri. <https://www.stm.com.tr/tr/inovasyon/bilgisayarli-goru>
- Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.
- Tankard, C. (2012). Big data security. *Network Security*, 2012(7), 5–8. [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(12\)70063-6](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(12)70063-6)
- Temel, S., et al. (2013). University–industry collaboration in Turkish SMEs: Investigation of barriers and facilitators. Wageningen UR, Research Report.

- TUSAŞ. (2023). GÖKTÜRK-1 Tanıtım Sayfası.
<https://www.tusas.com/urunler/uzay/yer-gozlem-ve-kesif-uydulari/gokturk-1>
- TÜBİTAK (2023). 1505 - Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı.
<https://tubitak.gov.tr>
- TÜBİTAK UZAY. (2023). GÖKTÜRK-2 Görev Özeti. <https://uzay.tubitak.gov.tr>
- TÜBİTAK UZAY. (2023). İMECE Uydusu Teknik Özellikleri.
<https://uzay.tubitak.gov.tr>
- TÜBİTAK. (2023). Görüntü Kıymetlendirme Sistemleri (GKS).
<https://tubitak.gov.tr/tr/haber/goruntu-kiymetlendirme-sistemleri-gks>
- TÜBİTAK. (2023). Savunma, Havacılık ve Uzay Sanayii Panel Raporu – EK4.
<https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-10/EK-04.pdf>
- TÜBİTAK. (2023). Türkiye'nin İlk Yerli ve Millî Haberleşme Uydusu Uzayda.
Bilim Teknik, Sayı: 674.
https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/turksat_6a.pdf
- Vassiliadis, P. (2000). Data warehouse modeling and quality issues. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Design and Management of Data Warehouses (DMDW'00)*, Stockholm, Sweden.
- Vengalil, S. K. (2022). Image analysis using machine learning and traditional image processing approaches: Medical images, document images and real-world images (Doctoral dissertation, International Institute of Information Technology, Bangalore).
- Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Akter, S., Ren, S. J., Dubey, R., & Childe, S. J. (2017). Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of Business Research*, 70, 356–365.
- Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5–33.
- Wikipedia (2023). İMECE (uydu). <https://en.wikipedia.org/wiki/%C4%B0MECE>
- Wikipedia contributors. (n.d.). System integration. Wikipedia. Retrieved April 27, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/System_integration
- Wiley Online Library. (2018). Intelligent automation based on image processing. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2018/7068349>

- Wolberg, W. H., Street, W. N., & Mangasarian, O. L. (1995). Image analysis and machine learning applied to breast cancer diagnosis and prognosis. *University of Wisconsin-Madison*.
- Wong, K., Liu, J., Cheng, C., & Li, H. (2023). A deep-learning-based approach for aircraft engine defect detection. *Machines*, 11(2), 192. <https://doi.org/10.3390/machines11020192>
- Yavuz, A. H., & Er, A. (2023). Termal görüntü işleme kullanılarak zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- YÖK (2021). Üniversite-Sanayi İş Birliğinin Geliştirilmesi Eylem Planı. <https://www.yok.gov.tr>
- Zhang, X., Zhang, W., Li, W., Zhang, X., & Lei, T. (2023). Experimental research on aero-propulsion coupling characteristics of a distributed electric propulsion aircraft. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36(2), 201–212.
- Zmud, R. (1997). Editor's comments. *MIS Quarterly*, 21(2), xxi–xxii. <https://doi.org/10.2307/249421>
- Airbus. (2023). *ZEROe: Towards the world's first zero-emission commercial aircraft*. <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>
- ESA. (2021). *Copernicus – The European Earth Observation Programme*. European Space Agency. <https://www.esa.int>
- NASA. (2022). *Artemis: Humanity's return to the Moon*. National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/specials/artemis>
- SpaceX. (2023). *Making life multiplanetary*. <https://www.spacex.com>
- Blue Origin. (2023). *Our vision for the future of space*. <https://www.blueorigin.com>
- ISRO. (2022). *Indian Space Research Organisation: Missions and achievements*. <https://www.isro.gov.in>
- CNSA. (2022). *China National Space Administration: Missions overview*. <http://www.cnsa.gov.cn>
- JAXA. (2022). *Japan Aerospace Exploration Agency: Hayabusa Missions*. <https://global.jaxa.jp/projects/sat/hayabusa2>