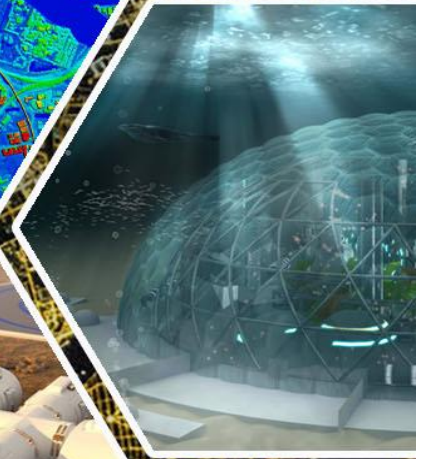
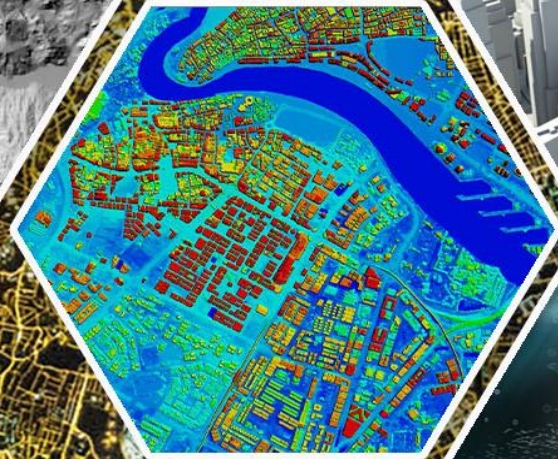
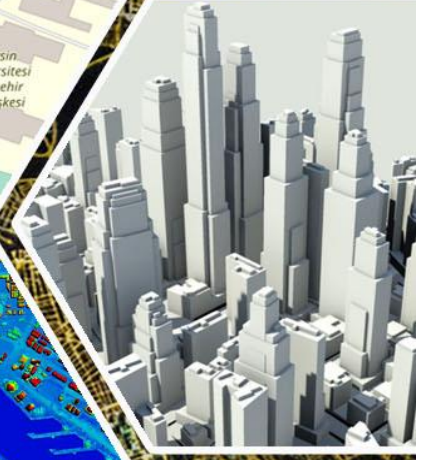
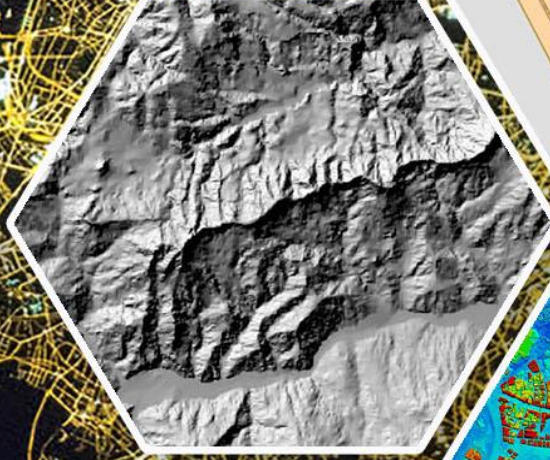
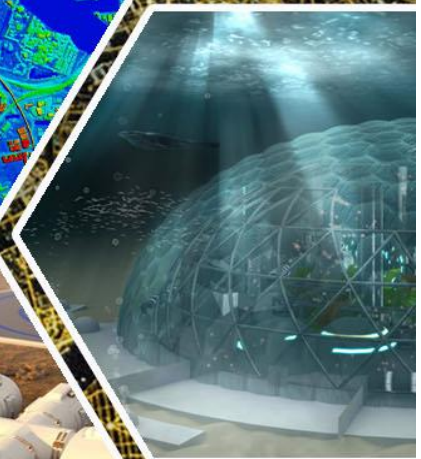
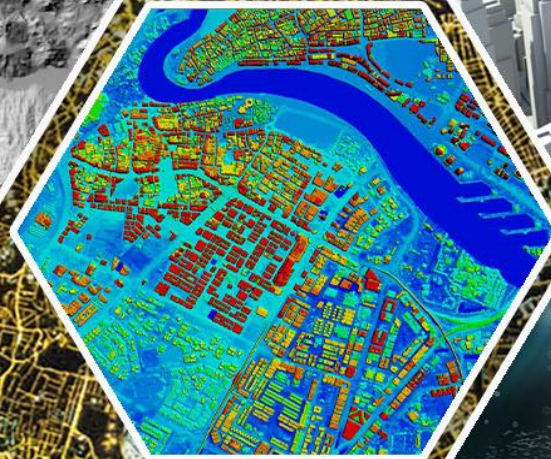
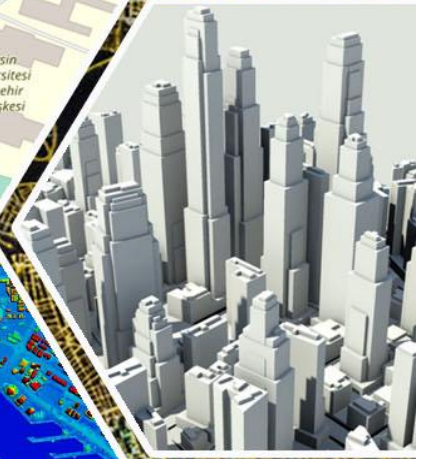
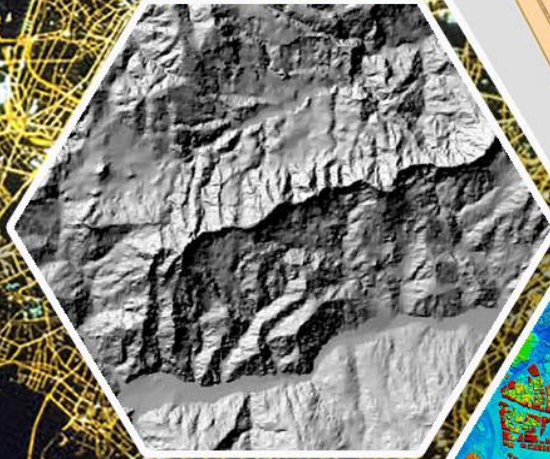


TÜRKİYE Coğrafi bilgi sistemleri dergisi



◆ HAZİRAN 2023
◆ CİLT: 5 ◆ SAYI: 1
◆ e-ISSN: 2687-5179

TÜRKİYE Coğrafi bilgi sistemleri dergisi



◆ JUNE 2023

◆ VOLUME: 5 ◆ ISSUE: 1

◆ e-ISSN: 2687-5179



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

TÜRKİYE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ DERGİSİ

(TURKISH JOURNAL OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS)

e-ISSN: 2687-5179

CİLT 5, SAYI 1
(VOL 5, ISSUE 1)

HAZİRAN, 2023
(JUNE, 2023)



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

DERGİ HAKKINDA

Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayımlayan bir dergidir.

AMAÇ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) mekânsal verinin ve mekânsal bilginin kayıt altına alınması, işlenmesi, analizi, yönetilmesi ve sunumu için geliştirilen bir sistemdir. Günümüzde CBS tarım, arkeoloji, kutup çalışmaları, havacılık, ulaşım, iklim değişikliği, suç, savunma, afet, ekoloji, eğitim, çevre, orman, jeoloji uygulamalarını da kapsayacak şekilde 1000'den fazla alanda etkin olarak kullanılmaktadır. Modern dünyada pek çok disiplinin parçası haline gelmiş olan CBS ülkemizde de gerek özel gerekse kamu kurumları tarafından yaygın kullanım alanına sahiptir. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi yükselen bir trend olan CBS'nin teknolojiadaki gelişmeleri dikkate alarak gerek akademik gerekse özel sektör arasındaki bilgi paylaşımını desteklemeyi, ayrıca genç araştırmacılara da çalışmalarını sunabilecekleri bir platform oluşturmayı amaçlamaktadır.

KAPSAM

Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisinin kapsamı;

- Sorgulama İşlemleri, Optimizasyon
- Kartografya ve Jeodezi
- 3 Boyutlu Modelleme, Simülasyon
- Mekânsal Bilgi
- Veri Paylaşımı, Güvenlik
- Standartlar, İnteroperabilite
- Konumsal Veri Altyapısı
- Topoloji
- Mekânsal Verilerin Saklanması, İndekslenmesi
- Karar Destek Sistemleri
- Web Uygulamaları
- Mobil Servisler
- Mekânsal Veri Tabanı Yönetim Sistemleri
- Mekânsal Veri Kalitesi
- Büyük Veri (Big Data)
- Mekânsal Analiz
- Mekânsal Bilgi Yönetimi
- Ekolojik ve Çevresel Uygulamalar
- Şehir Ve Bölge Planlama Uygulamaları
- Tarım ve Toprak Uygulamaları
- Kent Bilgi Sistemleri
- Enerji Bilgi Sistemleri
- Kıyı Yönetimi
- Doğal Kaynakların Yönetimi
- Endüstriyel Uygulamalar
- Afet Yönetimi
- İklim Çalışmaları
- Lojistik Uygulamaları
- Mekânsal Veri Madenciliği
- Kadastro Uygulamaları.....



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

POLİTİKA

Coğrafi Bilgi Sistemlerine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme-derleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi'nde **KÖR HAKEMLİK** uygulaması mevcuttur.

Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Danışma ve Editör Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez.

Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik vb.) yazarlara aittir. Yayınlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe ve İngilizce olarak kabul edilmektedir. Türkçe yazılan makalelerde özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

PERİYOT	Yılda 2 sayı(Haziran-Aralık)
E-ISSN	2687-5179
WEB	https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis
İLETİŞİM	lutfiyekusak@mersin.edu.tr



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

ABOUT JOURNAL

Turkish Journal of Geographic Information Systems in the field of Geographic Information Systems in parallel to the developments in science and technology magazine is a magazine published studies on new developments.

AIM

Geographic Information Systems (GIS) is a system developed for the recording, processing, analysis, management and presentation of spatial data and spatial information. Today, GIS is used effectively in more than 1000 areas including agriculture, archeology, polar studies, aviation, transportation, climate change, crime, defense, disaster, ecology, education, environment, forest, geology applications. GIS, which has become a part of many disciplines in the modern world, has widespread use by both private and public institutions in our country. **Turkish Journal of Geographic Information Systems** academic requirements, taking into account developments in technology as well as support the sharing of information between the private sector, also aims to create a platform to present their work to the young researchers.

SCOPE

- Query Operations, Optimization
- Cartography and Geodesy
- 3D Modeling, Simulation
- Spatial Information
- Data Sharing, Security
- Standards, Interoperability
- Spatial Data Infrastructure
- Topology
- Storage and Indexing of Spatial Data
- Decision Support Systems
- Web Applications
- Mobile Services
- Spatial Database Management Systems
- Spatial Data Quality
- Big Data
- Spatial Analysis
- Spatial Information Management
- Ecological and Environmental Applications
- City and Regional Planning Applications
- Agriculture and Soil Applications
- City Information Systems
- Energy Information Systems
- Coastal Management
- Natural Resources Management
- Industrial Applications
- Disaster Management
- Climate Studies
- Logistics Applications
- Spatial Data Mining
- Cadastral Applications ...



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

PUBLICATION FREQUENCY	Biannual (June-December)
E-ISSN	2687-5179
WEB	https://dergipark.org.tr/en/pub/tucbis
CONTACT	lutfiyekusak@mersin.edu.tr

EDİTÖR KURULU

BAŞ EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi. Lutfiye KUŞAK

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

EDİTÖR YARDIMCISI

Doç. Dr. Ümit IŞIKDAĞ

Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 34 360, Şişli/İstanbul

Dr. Öğr. Üyesi Fatma BÜNYAN ÜNEL

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33 343, Yenişehir/Mersin

DANIŞMA KURULU

Murat YAKAR, Mersin Üniversitesi

Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi

İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Tahsin YOMRALIOĞLU, Beykent Üniversitesi

Ömer MUTLUOĞLU, Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya

EDİTÖR KURULU

Burak BEYHAN, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Cevdet Coşkun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi

İsmail Ercüment AYAZLI, Cumhuriyet Üniversitesi

Mehmet ALKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi

Muzaffer Can İBAN, Mersin Üniversitesi

Mohamad M. AWAD, Research Director at National Council for Scientific Research (CNRS-L)

Mizanpaj

Arş. Gör. Mehmet Özgür Çelik

mozgurcelik@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Harita Mühendisliği. Bölümü / Mersin



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

Spatiotemporal Variations of Urban Growth in Denizli, Turkey

01-09

Nur Sinem Partigöç

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Havacılık Çalışması Analizleri; Kayseri Havalimanı Örneği

10-19

Hatice Tuğcu & Metin Altan

Arazi kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişikliklerinin Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemi ile İzlenmesi: Mersin, Türkiye Örneği

43-51

Mehmet Özgür Çelik & Murat Yakar

Decoding Nature's Patterns: An Innovative Approach to Tree Detection Using Deep Learning and High-Resolution Aerial Imagery

52-59

Halil İbrahim Şenol & Abdurahman Yasin Yiğit

DERLEME MAKALELER

İnsansız Hava Araçları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları

20-33

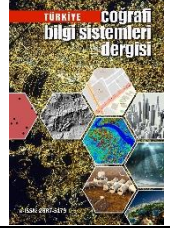
Osman Villi & Murat Yakar



Turkish Journal of Geographic Information Systems

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Spatiotemporal Variations of Urban Growth in Denizli, Turkey

Nur Sinem Partigöç*¹ 

¹Pamukkale University, Faculty of Architecture and Design, Department of City and Regional Planning, Denizli, Turkey

Keywords

Urban Growth
Spatiotemporal Variations
Urban Sprawl
Urban Planning
Geographic Information
Systems (GIS)

ABSTRACT

The existence of natural resources is under threat among various land use types because of the urban sprawl regarding the increase of population density such as forests, pastures, agricultural areas, water resources, etc. These resources have been lost significantly due to differentiating factors such as disasters, physical pressure originating from urbanization and development dynamics, irreversible use of resources, etc. Among these resources, especially agricultural areas in different abilities from I to III are affected primarily from the non-agricultural use of agricultural areas. The main purpose of study is to determine the spatiotemporal variations of urban growth using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques in central districts of Denizli city. The satellite images presenting the spatial changes due to urban growth in central districts (Merkezefendi and Pamukkale districts) between the years 1990 - 2018 and also 1/25.000 scaled topographic maps are used. As a result, it is observed that the existing urban macroform have changed and the misuse of natural resources have increased significantly in the 30-years period. These uses have changed in accordance with urban plan decisions based on the site selection of industrial areas and main transport routes. The effects of urban sprawl are evaluated in terms of urban planning discipline and important policies are developed in order to prevent the misuse of natural resources under threat of urbanization.

1. INTRODUCTION

The world has experienced significant changes affecting cities and urbanization in recent years. The interaction between rural and urban areas increased and reached different dimensions with the developments and population pressure. The process of urbanization has accelerated with the rapid population growth and differences in the way of production. This situation also brought about population accumulation in the cities. While there has been a one-way movement of labor and capital from rural to urban areas in the past, today there is a mutual interaction between rural and urban areas.

The concept of urbanization is affected by developments in the technology, innovation, construction and transportation sectors. These developments have led to the urban sprawl and almost all cities around the world have shown a tendency to expand into their surroundings. The process has many economic, ecological and social consequences. The rapid

population growth, the increase in consumption demands, the uninhibited expansion of cities and the environmental pressures of industrial development have brought the ecological dimension of cities to the fore. Cities are changing the conditions of the ecosystem and natural cycles due to the heat, energy, waste and impermeable surfaces. Because the agricultural lands, forest areas and natural landscapes around the cities are constructed as a result of the urban sprawl. Also, when these areas are built, their values cannot be replaced again.

The relationships of rural and urban dwellers to different dimensions has brought depending various reasons such as the tendency to live in an urban area, getting rid of negative effects generating people's demand of sheltering more cheaply, getting over negative effects of noise, traffic, etc. Increasing urbanization has become a major problem for decision makers with negative impacts on natural resources such as land and water resources. The interaction between the urban and rural areas manifested firstly itself in the

* Corresponding Author

^{*}(npartigoc@pau.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9905-2761

Cite this article

Partigöç S (2023). Spatiotemporal Variations of Urban Growth in Denizli, Turkey. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 5(1), 01-09.

large regions, and then spread to the small regions and districts where agricultural production is primary sector. While urban sprawl has been previously seen only as a problem caused by urbanization, today it has taken on a complex structure that directly concerns natural resources and the agricultural production.

From this point of view, it is aimed to determine the spatiotemporal variations of urban growth using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques in central districts of Denizli city. The satellite images presenting the spatial changes due to urban growth in central districts (Merkezefendi and Pamukkale districts) between the years 1990 - 2018 and also 1/25.000 scaled topographic maps are used. As a result, it is observed that the existing urban macroform have changed and the misuse of natural resources have increased significantly in the 30-years period. These uses have changed in accordance with urban plan decisions based on the site selection of industrial areas and main transport routes. The effects of urban sprawl are evaluated in terms of urban planning discipline and important policies are developed in order to prevent the misuse of natural resources under threat of urbanization.

2. THE CONCEPTUAL BACKGROUND of SPATIOTEMPORAL CHANGES in URBAN MACROFORM and CASES

Generally, the concept of land use refers to anthropogenic activities and the economic function of the land in the settlements. The discussions on the types of land use and also the changes in settlements' macroforms are mainly related for agricultural purposes and natural resources' usage. In fact, this concept should mean to be used for all types of urban activities such as sectorial changes, industrial production, the use of fossil fuel, transportation, the components of built environment, etc. (Reis et al., 2016). The increasing consumption of all kinds of goods and services has increased the importance of land which is necessary for people to continue their lives due to the rapid population growth (Tümertekin & Özgüç, 2009). Urban activities and observed changes in natural processes have caused many changes in land use (Zhan et al., 2002). Although this change has occurred over the years and also developing technology has caused this change to accelerate (Gözenç, 1977).

The economic growth and industrialization policies that have been developed in developed countries in the early 1900s and in developing countries in the 1950s have brought along immigration and rapid urbanization (Karakayacı & Karakayacı, 2012). The improvements in transportation also affected the development of cities and the immigration from rural areas to urban areas has been experienced. (Akseki, 2011). The mobility that has started in the 1950s with the migration from rural to urban areas has forced citizens to choose regions differ from the urban central areas in Turkey. This phenomenon has also constituted unplanned built environment (Türkten, 2015).

The expansiveness of current urban land use pattern has occurred towards to city periphery because

of the housing need that is one of basic needs of growing population in cities (Akseki, 2011). As a result of this expansiveness, a new growth form of cities as noncontinuous and including unused areas began and this process is called urban sprawl (Karataş, 2007). Definite areas under the pressure of urban sprawl have some characteristics. Actually, these areas have lost their rural characteristics by the time (Karakayacı & Karakayacı, 2012). Urban sprawl can also be directed towards natural areas in the city periphery because of some functions start to choose definite regions in this periphery (Akseki, 2011).

The soil contains not only its natural potential and the built environment related to the human civilizations. According to Keleş and Hamamcı (2015), the importance of soil from human perspective stems from the economic and social function of it. In addition, the situation of soil has made it the main object of current urbanization problems that allows the settlements in built environment (Keleş & Hamamcı, 2015). Cities have always been established around or on fertile cultivated areas from the past (Akseki, 2011). The process of urban areas' spreading towards the surrounding agricultural lands has caused the irreversible destruction of fertile agricultural land over time (Türkten, 2015).

The irreversible destruction of fertile agricultural land raises the importance of the sustainable agricultural facilities. This phenomenon is generally expressed as a form of agricultural production that meets the nutritional needs of people, preserving the natural resources necessary for today and future generations (Eryılmaz & Kılıç, 2018). Because of developments in rapid urbanization process, the soil is removed from being a means of production. Actually agricultural lands are used for non-agricultural purposes depending industrialization, unhealthy and rapid urbanization, inefficient use, tourism investments, etc. (Sezgin, 2010). Among these purposes, there exist various urban facilities such as urban settlements, transportation, tourism, industry, etc. (Karakayacı & Karakayacı, 2012). The demand for these agricultural areas increases due to the cheap land prices and topographic conditions of these lands (Türkten, 2015).

This change with the phenomenon of urban sprawl results in definite negative consequences of non-agricultural use of these lands. Among these consequences, there exist the unnecessary land usage, divided open spaces, the automobile dependency, large spaces between developed and developing areas, the lack of public areas and public centers, low-density residential and commercial areas, large financial disparities between settlements, different land use types in current land use patterns, etc. This situation has led to a change of ownership in land ownership. Moreover, current properties of these lands have led to physical plan decisions and the development process of these areas (Karataş, 2007). Land prices are causing the land speculation and gradually losing the property of being an agricultural area (Türkten, 2015).

Actually, the prerequisite for both the implementation of urban planning processes in an environmentally sensitive manner and the

implementation of sustainable land use plans successfully is the analysis of macroform changes due to physical plan decisions and the development process of urban areas (Bagheri et al., 2012). The main goal of this analysis is to determine the bearing capacity of natural resources and to support appropriate land uses without degradation of these resources in the long term (Cengiz et al., 2013). The analysis of spatiotemporal variations due to the urban growth is an interdisciplinary study (Prakash, 2003; Groot, 2006; Feizizadeh & Blaschke, 2012) and is expressed as a dynamic process governed by physical, economic and social conditions (Zander and Kachele, 1999; Herrmann & Osinski, 1999).

There exist many studies in the academic literature on the subject of spatiotemporal changes, which are used Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) tools. Remote Sensing (RS) a branch of science that allows researchers to photograph the earth without any intervention with satellites and aerial vehicles and to obtain data about the relevant area through the resulting images (Sunar et al., 2016). Since satellite data is readily available and time-efficient, remote sensing technology has become one of the most commonly, used tools for the changes land use pattern and urban macroforms in recent years (Albarqouni, 2022). Therefore, Geographical Information Systems (GIS) provides the opportunity to present all kinds of communication between humans and nature to the user in a planned and reasonable way and to create analyses in which we can get the optimal benefit in terms of time and location (Koçak, 2009). It is also possible to define GIS as a set of technical instruments that allow collecting earth-related information for a specific purpose, storing, controlling, questioning, analyzing and displaying it in a computer environment (Tecim, 1999).

Gandhi et al. (2015) aim to find the vegetation change of Vellore Region between the years 2001 - 2006 via GIS and RS. As a result of a series of analyses by applying NDVI to satellite observations, it is determined that the built environment has been increased due to the urban growth, in contrast, the size of agricultural areas and forests decreased accordingly (Gandhi et al., 2015). Karabulut et al. (2006) have determined the changes in urban development and land use pattern using raster and vector-based change analysis methods in Kahramanmaraş city center. According to the results, it has been determined that the annual growth rate of the city is 11% and also many industrial structures have been established on agricultural areas recently (Karabulut et al., 2006). Gülersoy (2013) followed the change of land use and urban macroform in Çorum city center between the years 1987-2011 in his study. While there has been a significant decrease in pasture areas, there has been an increase in built environment in 25 years (Gülersoy, 2013). In the study conducted by Bayar and Karabacak (2017), the change of land use pattern in Ankara city is examined in the years 2000 - 2012 via CORINE data. It has been found that there is a negative linear relationship between the measured of agricultural areas and the development of the city of Ankara (Bayar & Karabacak, 2017).

Moreover, Denizdurdan et al. (2017) have examined the temporal changes in land use pattern and macroform due to the urban development in Afşin district by applying the uncontrolled classification technique on Landsat satellite images. According to the results, it has been stated that urban development has shown a continuous increase from 1984 to 2016 (Denizdurdan et al., 2017). In the study conducted by Kurt and Duman (2016), it has been aimed to determine the interactions between urban development, land use and geomorphological units in Sakarya city by using GIS and RS. It has been found that the site selection of residential areas is settled on agricultural areas, agricultural areas have also caused pressures on forest areas and led to a decrease in forest area and an increase in agricultural area (Kurt & Duman, 2016). Geymen (2016) followed the change of land use pattern and macroform temporally in Elmalı Basin, İstanbul city. It is observed that the residential areas in the Elmalı Basin have increased over the years, while the agricultural lands and forested areas have decreased (Geymen, 2016).

3. DATA and ANALYSES

Denizli city is located in the east of the Aegean region and is a gateway between the Aegean, Central Anatolia and the Mediterranean regions. The area of the city is 11.868 km². This city has this area and constitutes approximately 1.5% of Turkey and 18.5% of the Aegean region in terms of area size. As the study area, central districts (Merkezefendi and Pamukkale districts) of Denizli city are selected.

Pamukkale district is one of the central districts of Denizli and the area of this district is 186 km² (Denizli Metropolitan Municipality, 2022). According to the population data for the year 2022 obtained from Turkish Population Registration System directed by The Turkish Statistical Institute, the total population of Denizli city is 1,056.311 people, while the total population of Pamukkale district is 347.926 people. This district is the largest district of Denizli city in terms of population.

Merkezefendi district is another central district of Denizli and the area of this district is 282.42 km² (Denizli Metropolitan Municipality, 2022). According to the population data for the year 2022 obtained from Turkish Population Registration System directed by The Turkish Statistical Institute, the total population of Denizli city is 1,056.311 people, while the total population of Merkezefendi district is 329.451 people. This district is the second largest district of Denizli city in terms of population. Figure 1 shows the locations of Denizli Metropolitan City and central districts as the study area.

The selected districts are in the frame in terms of socio-economic development level in Denizli city. These districts are mainly affected from important developments in the industrial and service sectors and has strong trading network with both the city center and other counties in surrounding area. A definite development corridor that runs to the north west of the districts significantly affects the urban development

process mainly through logistical activities carried out from Izmir Port. The geographical connection between Denizli Metropolitan City and others as Izmir, Antalya, Ankara and Istanbul is provided by the important road connections that pass through these districts. Therefore, agricultural activities accounted for 4.6%, industrial activities for 42% and the service sector for 53.4% of the economic activities in the whole of central districts (Denizli Metropolitan Municipality, 2022).



Figure 1. The locations of Denizli metropolitan city and central districts

In this study, the spatial and temporal changes depending on the urban growth are determined in central districts located in Denizli city between the years 1990 - 2018 using GIS and RS techniques. For this purpose, the comparative satellite images are used which are representing spatial and temporal changes during the nearly 30 - year period. In the 1980s, when globalization and urbanization dynamics have gained momentum in Turkey, Denizli city has significantly affected by this process. Significant investments have been made in many different sectors devoted to tourism from industry to the city, which is designated as a development priority region by the government. As a result of these investments, a rapid industrialization process has been observed and economy-based connections have been established on national and international scale. In addition, it is known that empty areas in urban macroform have been filled up, urban annuity has increased and the migration process has accelerated due to changes in trade and service sector.

4. RESULTS

The neoliberal politics has had a dramatic impact on Turkey's urban development and industrialization dynamics that started in the 1980s. During this period, when the industrialization process gained momentum, Denizli city has become one of the Anatolian cities representing the traditional places of national industrial formation. In the sustainable development plans, it is envisaged that industrialization will bring about many socio-economic changes in the city as a driving force. It has been estimated that significant changes will be observed in the processes of urban development and sprawl in parallel with these changes. Denizli city, where about 44% of the industrial production in the country is realized, has received significant migration especially from rural areas and surrounding cities in the 1990s. As a result of the concentration of industrial investments, the population has largely preferred especially the central districts (Pamukkale and Merkezefendi districts) that came to the city by migration. In the 1990s, the employment rate in the agricultural sector in Denizli decreased from about 60% to 49%. During this period, the size of the area considered as a study area and having an urban character is measured as 5843 hectares. Figure 2 shows the satellite image for the year 1990 with changing urban macroform in the central districts.

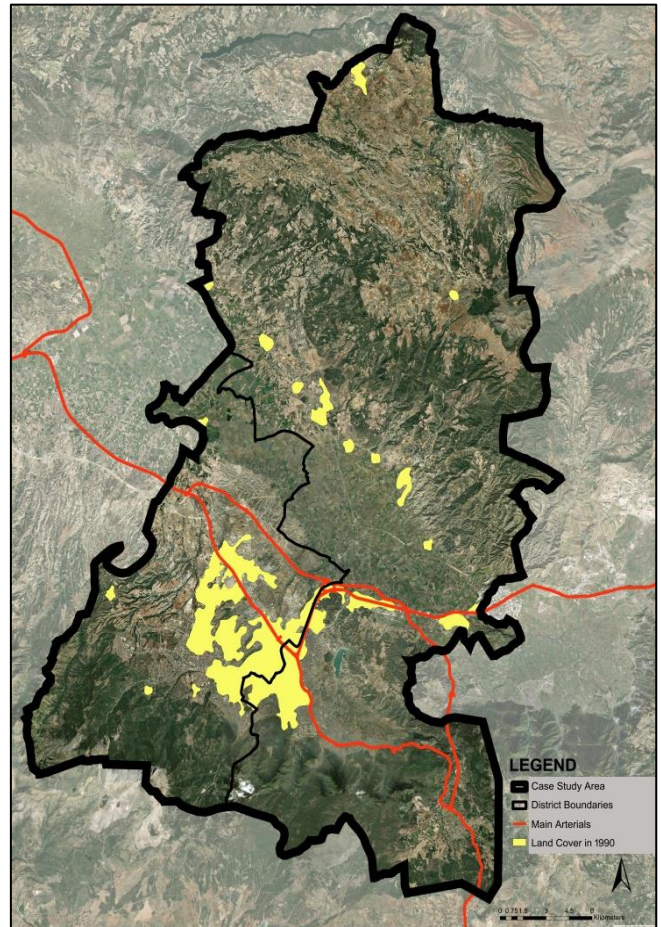


Figure 2. The satellite image for the year 1990 with changing urban macroform

By the 2000s, it is observed that the urban area has been bounded by natural thresholds, which are expanding, to the north and east of the central districts. During this period, the size of the area considered as a study area having an urban character is measured as 8471 hectares. The size of the urban area has increased by about 2628 hectares (by 45%) when this size is compared to the previous period. Among the factors causing the urban sprawl in this period, the changes in administrative structure has a critical role in addition to the dynamics of urban planning. Figure 3 shows the satellite image for the year 2000 with changing urban macroform in the central districts.

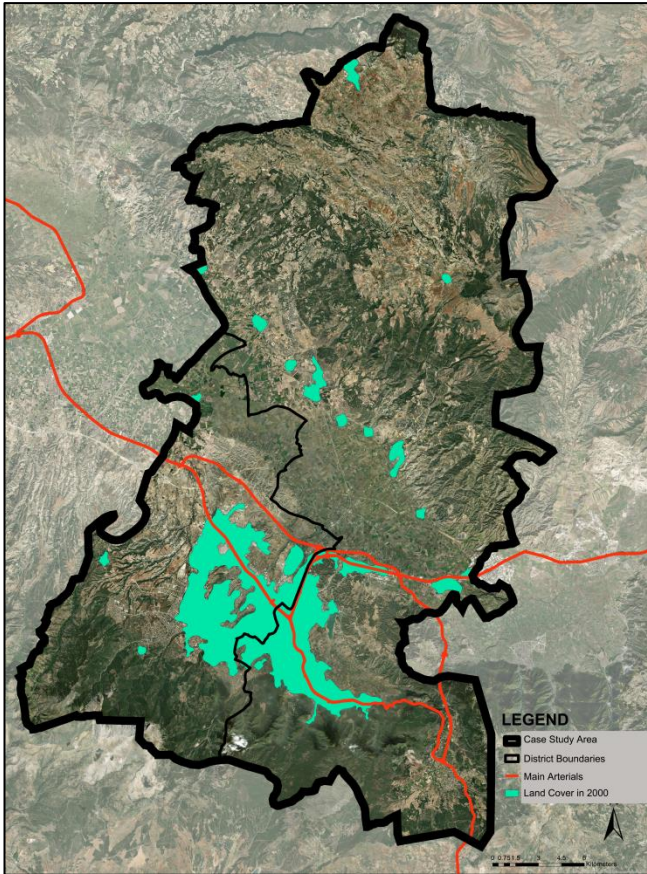


Figure 3. The satellite image for the year 2000 with changing urban macroform

Due to the spatial changes that occurred in Denizli city by the time, the industrial and slum areas remained within the existing built environment area of the city. The housing demand increased especially on the routes of main arterials regarding the increase in population and labor force in this period. By the 2006s, it has been determined that the urban form has developed in both city center and central districts around the three important arteries of the city (Denizli – Izmir main arterial, Denizli – Antalya main arterial, Denizli – Ankara main arterial), the current settlement areas has expanded and also fertile agricultural areas and natural areas have started to use for non-agricultural purposes. During this period, the size of the area considered as a study area having an urban character is measured as 9094 hectares. The size of the urban area has increased by about 623 hectares (by 7%) when this size is compared to the previous period. Figure 4 shows the

satellite image for the year 2006 with changing urban macroform in the central districts.

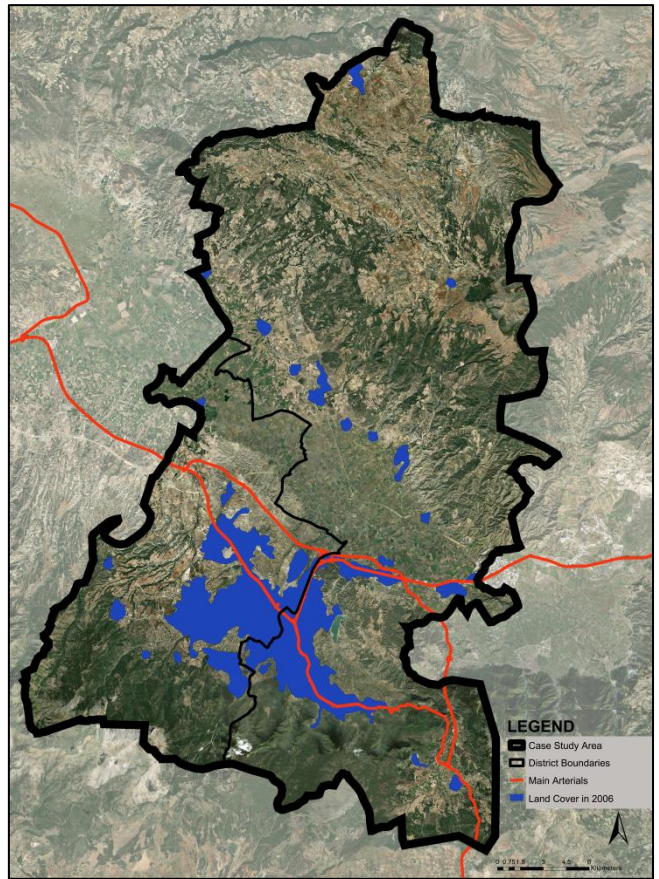


Figure 4. The satellite image for the year 2006 with changing urban macroform

By the year 2012, a statutory regulation has been introduced that closely concerned the discipline of urban planning and significantly changed the future of cities. The Metropolitan Municipality Law No. 6360 has changed the structure of local administrations and the transformation of rural settlements into urban neighborhoods has been in this process. This legal regulation has significantly accelerated the process of urban sprawl in metropolitan cities where intensive and rapid urbanization practices are seen. The selected study area is one of these settlements in Denizli city. In 2012, the land use pattern has changed and sprawled uncontrollably and disorderly during the process of the city becoming a metropolitan area and transforming the settlements' legal status. This sprawl has resulted in the significant loss of fertile agricultural areas around current settlements for non-agricultural purposes. During this period, the size of the area considered as a study area having an urban character is measured as 9862 hectares. The size of the urban area has increased by about 768 hectares (by 8%) when this size is compared to the previous period. Figure 5 shows the satellite image for the year 2012 with changing urban macroform in the central districts.

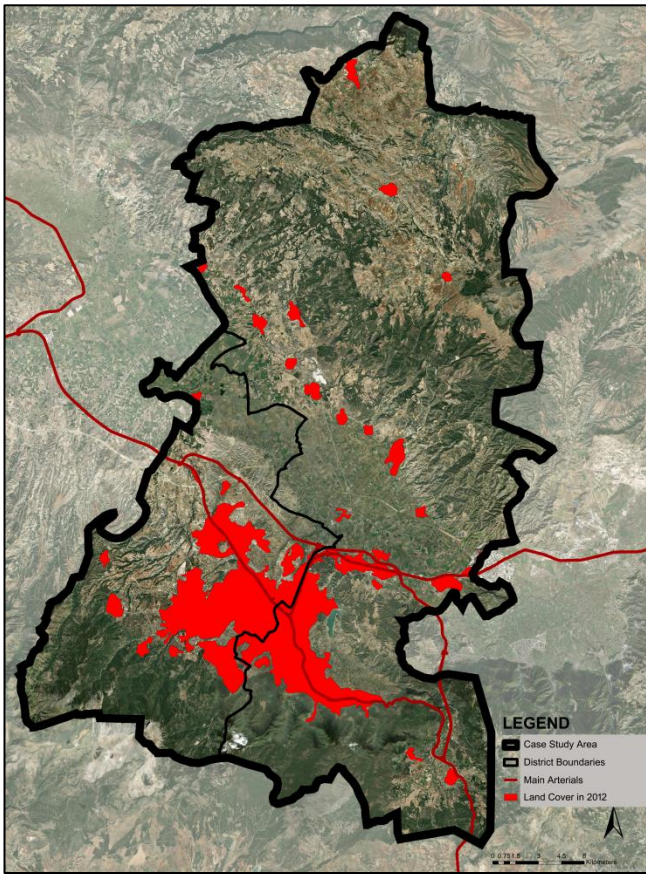


Figure 5. The satellite image for the year 2012 with changing urban macroform

A comprehensive planning study has been carried out both in Denizli city and its hinterland including the current urban land use pattern by the year 2018. In this context, two important developments have taken place such as the preparation of regional plans and leaving behind the concept of partial planning. The direction of sprawl cannot be in the south direction because of the topographical conditions as natural thresholds. The urban macroform can spread only in the northwest and northeast directions. The findings using satellite imagery have shown that the increase in urban settlements is mainly due to the change of agricultural areas and forest areas. Therefore, it is determined that medium and high density residential areas have been planned in the city center, while low density residential areas are located in the periphery of the city as a result of urban sprawl. The increase of industrial and tourism investments triggers the intensity experienced in quantitative and qualitative respects. During this period, the size of the area considered as a study area having an urban character is measured as 10739 hectares. The size of the urban area had increased by about 877 hectares (by 9%) when this size is compared to the previous period. Figure 6 shows the satellite image for the year 2018 with changing urban macroform in the central districts.

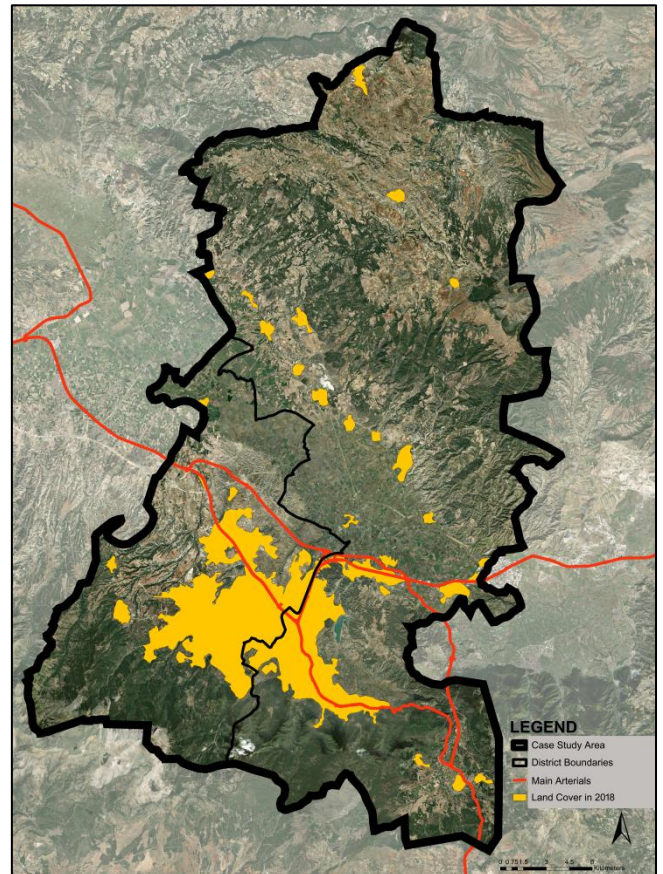


Figure 6. The satellite image for the year 2018 with changing urban macroform

When the changes in urban macroform of central districts in Denizli city are carefully examined during the approximately 30-year period between the years 1990 and 2018, it has been seen that the urban sprawl is generally towards the north-west of the city. The main reasons for this determination include the presence of natural thresholds located in the south and east of the city, the concentration of industrial investments on the Izmir road in the north-western direction of the city, the fact that new development areas have shifted to the west of the city due to the upper income group choosing a location outside the city center, The Metropolitan Municipality Law No. 6360 allows urban development areas to be shifted to rural areas. While urban sprawl has been seen by urbanization and industrialization in Denizli city, it can be said that this sprawl is directly concerned natural areas especially agricultural areas and forests located in the north-west of the city for non-agricultural purposes. In the period of about 30 years, the size of the urban area has increased from 5843 hectares to 19739 hectares, in other words, it is found that the size of the urban area has increased by about 84%. In Figure 7, the spatial changes in urban pattern in the district between the years 1990 – 2018 and the defined areas throughout development axes of the district are represented. Moreover, Figure 8 shows spatiotemporal variations in land use types which are under threat as a result of the pressure of the built environment and investments such as agricultural areas and forests.

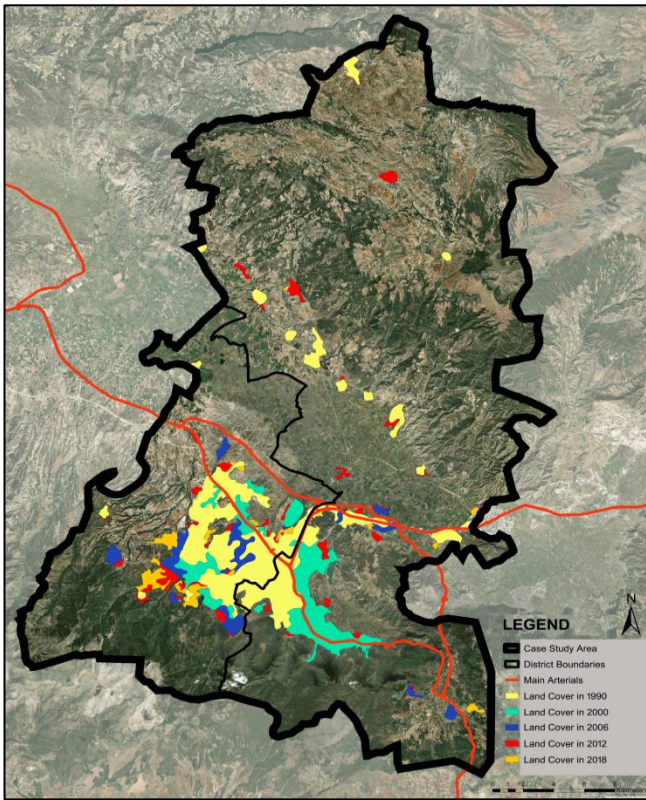


Figure 7. The spatial changes in urban pattern between the years 1990 - 2018

areas and forests due to urbanization and tourism investments; B Zone: Spatiotemporal variations related agricultural areas and forests due to industrial investments and urbanization; C Zone: Spatiotemporal variations related built environment due to urbanization and transportation investments]

5. CONCLUSION

It is vitally significant to monitor the changes in spatial organization of various urban areas and to compare previous and following periods of the Law No.6360 in terms of losses, advantages, etc. In this study, the main aim is to analyze the spatial changes of urban macroform that varies within the urban planning process. Moreover, the determination of spatial variation is occurred between the years of 1990 - 2018 in terms of urban planning discipline. For the selected study area as Merkezefendi district including 50 settlements and Pamukkale district including 61 settlements that their statuses are changed as neighborhood, the results of this study are crucial. Because, these have revealed that the decisions of local governments are so decisive and directive in terms of leading the development dynamics and trends of urban areas. In addition, the consequences of this study are established using satellite images of different years between the years 1990 - 2018, urban qualified areas have become more dominant over the rural areas (especially agricultural areas and forests) by the time and new investments (Figure 7).

In 30 years period between the years 1990 - 2018, it is certainly observed that the current land use pattern has been significantly changed in Merkezefendi and Pamukkale districts. In other words, the observed spatial changes and development trends have affected urban macroform critically and significant land losses especially in natural environment in this period. There exist triggering reasons to occur these changes as new investments' decisions depending economic growth and industrialization policies, development routes for urbanization through the three important arteries of the city, inadequate supply for housing and urban facilities, increasing demand for medium and high density residential areas in city center, etc.

As a result of the amendments to the Law 6360, it is clearly understood that Merkezefendi and Pamukkale districts as metropolitan districts will have to face new challenges such as the sustainability of rural qualified areas, the bringing local dynamics into prominence, etc. These problems will become increasingly visible with economic, social and spatial dimensions to the local governments that have authorities and responsibility of settlements and citizens that settle in dense urban areas with increasing housing demand.

Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) technologies play a critical role in terms of exposing the pressure consisted by urbanization processes especially on natural areas. As mentioned before, these technologies offer the possibility of collecting and processing spatial and non-spatial data in the most up-to-date form, quickly and easily. The observation of temporal and spatial changes

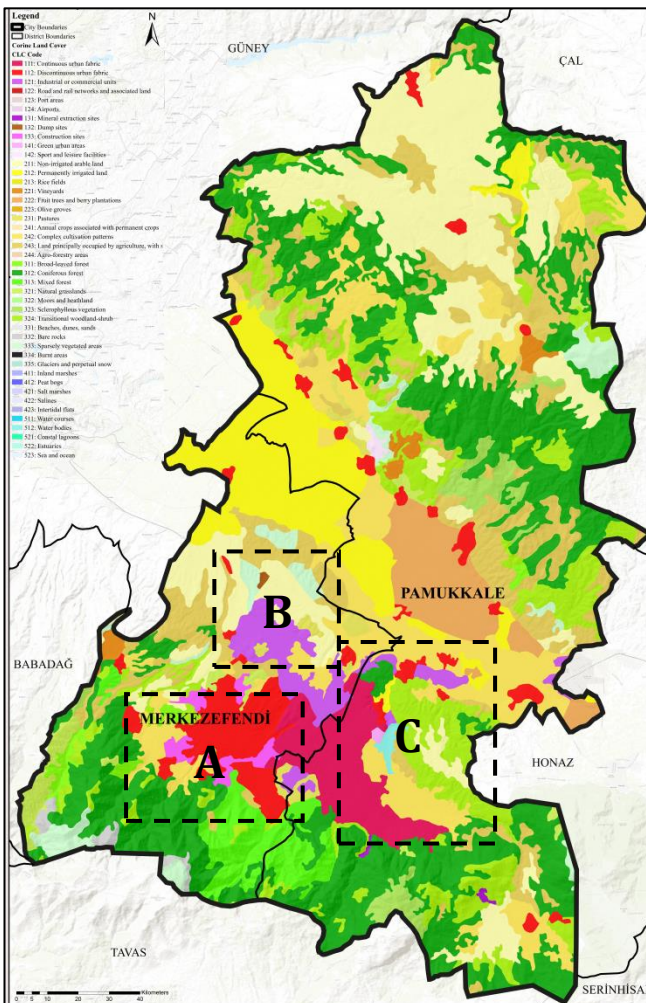


Figure 8. Spatiotemporal variations in land use types [A Zone: Spatiotemporal variations related agricultural

will help local governments to clearly analyze the current land use pattern and urban macroform and also take necessary measures especially in areas where disaster risks are high, natural thresholds limit the built environment and urban rent is relatively higher.

The increase of population arriving by migration over time not only poses the risk for natural areas related the construction process, but also causes urban areas to become less resilient in the face of disaster risks in cities where different types of disasters (earthquake, landslide, drought, rockfall and flood) coexist such as Denizli city.

For the decision makers, these spatial and temporal changes in urban areas must be taken into consideration. These changes have occurred regarding the urbanization process based on rural – urban dilemma. In this process, the authorities should prioritize certain phenomenon because the land is used only with economic interests and for non-agricultural purposes. As mentioned before, the protection of the soil is indispensable for the survival of life because the soil as a natural resource cannot be produced is also nonrenewable and limited. Therefore, it is necessary to be protected and used efficiently in order to meet the needs of today and the future.

Author Contributions

The article has a single author.

Statement of Conflicts of Interest

The author declares no conflicts of interest.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

REFERENCES

- Akseki H (2011). The effect of urban sprawl on agricultural lands, the case of Konya. *Master Thesis*, Selçuk University, Institute of Science, Konya, 111p (in Turkish).
- Albarqouni M M M Y (2022). Assessment of Spatio-Temporal Variations in Lake Surface Using Landsat Imageries and Google Earth Engine. *Master Thesis*, Istanbul Technical University, Institute of Science, Istanbul, (in English).
- Bagheri M, Sulaiman W N A & Vaghefi N (2012). Land Use Suitability Analysis Using Multi Criteria Decision Analysis Method for Coastal Management and Planning: a Case Study of Malaysia. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(5), 364-372. <https://doi.org/10.3923/jest.2012.364.372>
- Bayar R & Karabacak K (2017). Land cover changes of Ankara Province (2000-2012). *Turkish Journal of Geographical Sciences*, 15(1), 59-76.
- Cengiz T, Akbulak C, Özcan H & Baytekin H (2013). Determination of Optimal Land Use in Gökçeada. *Journal of Agricultural Sciences*, 19, 148-162.

- Denizli Metropolitan Municipality (2022). Denizli İli 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Planı Raporu (in Turkish). [Access Date: 08.02.2023], <https://www2.denizli.bel.tr/userfiles/file/imardegisikli/2107161329252852.pdf>
- Eryılmaz G A & Kılıç O (2018). Sustainable Agriculture and Good Agricultural Practices in Turkey. *KSU Journal of Agriculture and Nature* 21(4), 624-631. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.345137>
- Feizizadeh B & Blaschke T (2012). Land Suitability Analysis for Tabriz County, Iran: a Multi-Criteria Evaluation Approach Using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(1), 1-23. <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.646964>
- Gandhi M, Parthiban S, Thummalu N & Christy A (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199 – 1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Geymen A (2016). Monitoring of Natural Resources in Water Basin Using Geo. *KSU Journal of Agriculture and Nature* 19(2), 174-180. <https://doi.org/10.18016/ksujins.28849>
- Gözenç S (1977). Arazinin Kullanılması ve Değerlendirilmesinin Coğrafi Yönden Tetkiki (in Turkish). *Istanbul University Geography Institute Journal*, 20(21), 169-180.
- Groot R (2006). Function-Analysis and Valuation as a Tool to Assess Land Use Conflicts in Planning for Sustainable, Multi-Functional and scapes. *Land Scape and Urban Planning*, 75(3-4), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.016>
- Gülersoy A E (2013). Temporal Change (1987-2011) and Environmental Effects of Land Use in Central District of Çorum. *Turkish Journal of Geographical Sciences*, 11(2), 169-194. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000148
- Herrmann S & Osinski E (1999). Planning Sustainable Land Use in Rural Areas at Different Spatial Levels Using GIS and Modelling Tools. *Land Scape and Urban Planning*, 46(43), 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00050-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00050-X)
- Karabulut M, Küçükönder M, Gürbüz M & Sandal E K (2006). An Examination of Temporal Changes in Kahramanmaraş City and Its Adjacent Areas Using Remote Sensing and GIS. *4th GIS Days*, İstanbul, Türkiye.
- Karakayac Ö & Karakayacı, Z (2012). Method Proposal For Determining Urban/Rural Land Value In Urban Sprawl Area, *International Journal of Social Science*, 5 (4), 107-120. http://dx.doi.org/10.9761/jasss_98
- Karataş N (2007). İzmir’de Şehirsel Saçaklanma Eğilimlerinin Torbalı- Ayrancılar’da Arazi Sahipliliği El Değişim Süreçlerine Etkileri (1968-2000) (in Turkish). *Journal of Planning*, 40, 3-12.
- Keleş R & Hamamcı C (2015). Çevre Politikası (in Turkish). *İmge Bookstore*, ISBN: 978-975-533-439-4.
- Koçak H (2009). The Evaluation on Positive Impacts of Geographical Information Systems in the

- Improvement of Quality of Urban Life. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences*, 25, 141-148.
- Kurt S & Duman, E (2016). The Temporal Change of the Effects on Land Use and Geomorphological Units of Urban Development Process in Sakarya Province. *Marmara Geographical Review*, 34, 268-282.
- Prakash T N (2003). Land Suitability Analysis for Agricultural Crops: A fuzzy Multi criteria Decision Making Approach. *Master Thesis*, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Reis M, Dutal H, Abız B & Bolat, N (2016). Determination Temporal Land Use Changes in Goksun District of Kahramanmaraş City Using Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 35-41. <https://doi.org/10.17780/ksujes.91496>
- Sezgin D (2010). The effects of urban sprawl on the misuse of fertile agricultural lands: Ankara case *Master Thesis*, Gazi University, Institute of Science, Ankara, 171p (in Turkish).
- Sunar F, Özkan C & Osmanoğlu B (2016). Uzaktan Algılama (in Turkish). *Anadolu University Publications*, Publication No: 2320.
- Tecim V (1999). Bilgi teknolojilerinde yeni bir gelişme: coğrafi bilgi sistemleri ve bilgi sistemleri arasındaki yeri (in Turkish). *Dokuz Eylül University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, 14 (1), 1-12.
- Turkish Statistical Institute, (2022). Population data of district and city. Turkish Population Registration System. [Access Date: 02.02.2023]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=The-Results-of-Address-Based-Population-Registration-System-2021-45500&dil=2>
- Tümertekin E & Özgüç N (2009). Ekonomik Coğrafya Küreselleşme ve Kalkınma (in Turkish). *Çantay Bookstore*. ISBN: 13, 978-9757206071.
- Türkten H (2015). Interaction of structural urban sprawl and agriculture: The case study of Atakum district of Samsun province, Turkey. *Master Thesis*, Ondokuz Mayıs University, Institute of Science, Samsun, 81p (in Turkish).
- Zander P & Kachele H (1999). Modelling Multiple Objectives of Land Use for Sustainable Development. *Agricultural Systems*, 59, 311-325. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00017-7)
- Zhan X, Sohlberg R, Townshend J, Dimiceli C, Carroll M, Eastman J, Hansen M C & DeFries R S (2002). Detection of Land Cover Changes Using MODIS 250 m Data. *Remote Sensing of Environment*, 83, 336-350. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00081-0)



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Havacılık Çalışması Analizleri; Kayseri Havalimanı Örneği

Hatice Tuğcu^{*1}, Metin Altan²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, Eskişehir, Türkiye
²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Astrofizik Eğitim ve Araştırma Birimi, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

CBS
Havalimanı
Mânia Planı
Havacılık

ÖZ

Ulaşım aracı olarak havayolunu tercih edenlerin sayısı gün geçtikçe artmakta ve buna bağlı olarak havalimanı sayısında artış gözlenmektedir. Kentlerde havalimanı yer seçimi büyük önem arz etmektedir. Çevresel ve kültürel açıdan birçok etken değerlendirilerek havalimanı yer seçimleri yapılmakta, ancak kent merkezine olan yakınlık birçok faydayı getirdiği gibi, uçuş emniyetine de olumsuz etkileri olmaktadır. Uçuş emniyetinin sağlanması için havalimanı çevresinde mânia planları kapsamında yükseklik kriterleri belirlenmiştir. İmar planı hazırlamaya yetkili kurumların yapı yüksekliklerinin mânia planı yükseklik kriterlerine uygun olması, ulusal ve uluslararası yönetmelikler kapsamında zorunlu hale getirilmiştir. Ancak mânia planları ve imar planları yüksekliklerinin uyuşmadığı durumlar söz konusu olmaktadır. Ülkemizde yükseklik uyumsuzluklarına yönelik uygulamalar gerçekleştirilerek probleme çözüm üretilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada kentsel yükseklikler ile mânia planı arasındaki uyumsuzlukların giderilmesi aşamasındaki havacılık uygulama analizleri, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yöntemleri ile yapılmıştır. Örnek uygulama saha çalışması olarak seçilen Kayseri kent merkezindeki yapılar için yükseklik modellemesi yapılarak, havalimanında konuşlu bulunan seyrüsefer cihazlarının yapı tahditli alanları ve uçuş prosedürleri mânia koruma yüzeyleri çizilerek, havacılık çalışması analizleri CBS teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada yöntem olarak CBS tabanlı ArcGIS Pro ve Global Mapper programları sayısal arazi modeli üretme, kent yapı yükseklikleri modellemeye ve teknik çizimler için kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde Kayseri Havalimanı çevresindeki yapılaşmaların bir kısmının doğal mânia üzerinde kaldığı tespit edilmiş ve uçuş emniyeti için detaylı havacılık analizleri yapılarak emniyet yönetimini sağlamak amacı ile risk analizi değerlendirilmiştir.

Aeronautical Study Analysis with Geographical Information Systems; Kayseri Airport Example

ABSTRACT

Keywords:

GIS
Airport
Mânia Plan
Aviation

The number of people who prefer the airline as a means of transportation is increasing day by day, and accordingly, an increase is observed in the number of airports. Airport location selection is of great importance in cities. Airport location selections are made by evaluating many environmental and cultural factors, but proximity to the city center brings many benefits, as well as having negative effects on flight safety. In order to ensure flight safety, height criteria have been determined within the scope of obstacle plans around the airport. It has been made mandatory within the scope of national and international regulations that the building heights of the institutions authorized to prepare the zoning plan comply with the obstacle plan height criteria. However, there are cases where the heights of the obstacle plans and the zoning plans do not match. In our country, it is tried to find a solution to the problem by carrying out applications for height conflicts. In this study, aviation application analyzes at the stage of resolving the conflicts between the urban heights and the obstacle plan were made with GIS (Geographical Information Systems) methods. Height modeling was made for the buildings in the city center of Kayseri, which was chosen as the sample application field study, the structure restricted areas of the navigation devices stationed at the airport and the flight procedures, obstacle protection surfaces were drawn, and the aviation study analyzes were evaluated using GIS techniques. As a method in the study, GIS-based ArcGIS Pro and Global Mapper programs were used for digital terrain model generation, city building elevation modeling and technical drawings. As a result of the analyzes made, it was determined that some of the constructions around Kayseri Airport remained on the natural obstacle, and detailed aviation analyzes were made for flight safety and risk analysis was evaluated in order to ensure safety management.

* Sorumlu Yazar

(npartigoc@pau.edu.tr) ORCID ID 0009-0006-0946-6888
(malan@eskisehir.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-5247-887X

Kaynak Göster

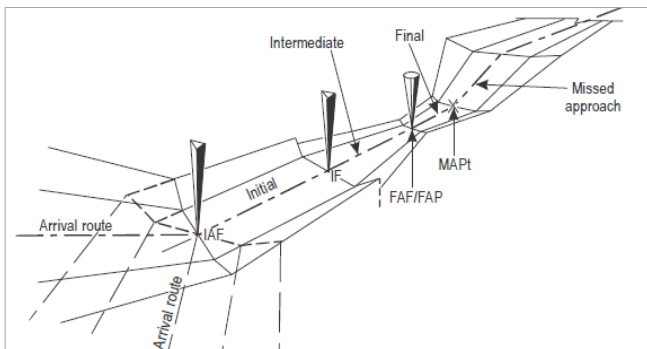
Tuğcu H & Altan M (2023). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Havacılık Çalışması Analizleri; Kayseri Havalimanı Örneği *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 10-19.

1. GİRİŞ

Havalimanı yer seçimi yapılırken dikkate alınan en önemli parametre kent merkezine olan mesafedir. Havalimanı kente uzak konumlandırıldığında ulaşım ve altyapı gibi sorunlar ortaya çıkarken, yakın mesafede ise yapıların yükseklikleri, uçuş emniyeti açısından risk oluşturur. Günümüzde dikey mimari yapılaşmaları ön plana çıkmakta ve özellikle büyük şehirlerde yüksek katlı binaların sayısı artmaktadır. Şehirleşmelerin genellikle havaalanları yönüne doğru olduğu göz önüne alınırsa, hava seyrüseferlerinde emniyeti sağlamak açısından havaalanları çevresi, arazi topografyası, bu araziler üzerinde bulunan detay sınıfları, bu detayların yükseklikleri ve özellikleri açısından ayrı bir coğrafi analize tabi tutulması gereken özel bölgelerdir (Ulubay & Varol, 2013). Havalimanı çevresinde yüksek katlı yapılaşmayı önlemek için mânia planları uygulamaya alınır. Ancak, ülke sınırlarımız içindeki yüksek dikey topografik farkların oluşturduğu engebeli araziler, havalimanı mânia planlarında “doğal mânia” olarak adlandırılan bölgeleri oluşturur. Doğal mânialar, mânia planı yüksekliğini, arazi yükseklik koşulları ile (doğal olarak) ihlal etmektedir. Ülkemizde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yayınlanan Havalimanı Emniyet Standartları Talimatı (SHT-HES) uygulama gereği, doğal mânialar üzerinde maksimum 6.5 m yapı yüksekliğine izin verilir (SHT-HES, 2016). Bu durum imar planı hazırlamaya yetkili kurumların doğal mânia alanlarındaki yapı yüksekliklerini kısıtlamaktadır. Doğal mânialar üzerinde yapılacak olan yapılaşmaların uçuş emniyetine olan etkisini değerlendirmek adına ulusal ve uluslararası çerçevede havacılık çalışmaları yapılır. Sadece doğal mânialar değil, mevcut durumda yapılmış olan ve mânia planını ihlal eden yapılar için de bu çalışmalar, uçuş emniyetini korumak için yapılmaktadır.

Havalimanı mânia planları, iç yatay, konik, yaklaşma/kalkış ve geçiş yüzeylerini içerir. Her yüzeyin belirli mesafe, genişlik ve eğim bilgileri farklı olup ICAO (International Civil Aviation Organization - Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) Annex 14 kitabında yer almaktadır (Annex 14, 2010). ICAO üyesi olması sebebi ile ülkemizdeki uygulamalarda da bu yayınlanmış kurallar geçerlidir.

Bir hava aracı uçuş sırasında birçok farklı irtifada bulunur (Şekil 1). Bir aletli yaklaşma usulü 5 ayrı kısımdan oluşur; geliş, ilk, ara, son ve pas geçme kısımlarıdır. Her safhanın mânia klerans değeri farklıdır ve detaylı mânia hesaplamaları yapılmaktadır.



Şekil 1. Hava aracının uçuş safhaları (DHMI, 2023)

Havalimanına yaklaşma, iniş, pas geçme, kalkış gibi birçok uçuş safhası bulunur ve her bir safha kendine özel irtifa ve klerans değerine sahiptir. Uluslararası uçuş prosedür kriterlerinin yayınlı olduğu ICAO Doc. 8168 Aircraft Operations Volume I - Flight Procedures kitabında, tüm uçuş sahalarının çizimleri ve mânia klerans bilgileri yayınlanmıştır (Aircraft Operations Doc.8168, 2020). SHT- HÇG (Havaalanları ve Çevresinde Yapılacak Havacılık Çalışması ve Gölgeleme Talimatı) kapsamında iniş ve kalkış yüzeylerinde havacılık çalışmalarına izin verilmemektedir (SHT-HÇG, 2020). Uçuşun en riskli bölgesi iniş kalkış esnası olması sebebi ile mânia planında yayınlanmış olan yükseklik değerlerine uyulmak zorunludur. Ancak, iç yatay ve konik yüzeylerde havacılık gölgeleme çalışmalarına izin verilir. Havacılık çalışmaları beş ayrı bölümden oluşur. Bunlar; mânia planı yükseklik kriterlerinin belirlenmesi, seyrüsefer cihazları yapı tahditli alanların analizi, uçuş prosedürleri analizi, uçak performans analizi ve risk değerlendirme analizidir.

1.1. Havacılıkta CBS'nin Kullanılması ve Literatür Özeti

Havacılık haritalarının oluşturulması, mânia planlarının çizilmesi, havalimanı analizlerinin yapılması, uçuşa engel teşkil edecek yapıların tespit edilmesi gibi hususlar havacılık sektöründe çok önemli bir yere sahiptir. Bu hususların devamlı olarak analizlerinin yapılması, haritaların güncellenmesi uçuş emniyetinin sağlanması açısından gereklidir. SAM'ın (Sayısal arazi modelleri) oluşturulması kent yapı yüksekliklerinin analizlerinin yapılması ve teknik uçuş usullerinin çizimi CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) destekli programlar ile gerçekleştirmek mümkündür. Bu çalışmada CBS'nin havacılık analizleri gerçekleştirmede etkin bir araç olduğu ortaya koyulmaktadır.

Literatürde mânia planları çiziminin CBS kullanılarak gerçekleştirildiği çalışmalar vardır. Ulubay & Varol (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Adnan Menderes Havalimanı mânia yüzeyleri ve havalimanı çevresi arazi modeli oluşturularak city surf sanal küre programında görsel 3 boyutlu (3B) analizler yapılmıştır. Uzun & Sesli (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada CBS programları ile mânia planı çizimi yapmış ve engel tespiti çalışmalarında bulunmuştur.

Yapılan literatür taraması sonucu CBS'nin mânia planları çizimleri ve engellerin tespiti için kullanıldığı görülmüştür. Ancak, tespit edilen engeller için uçuş emniyeti için yapılan havacılık çalışmaları teknik detayları ve analizleri ele alınmamıştır. Bu çalışmada mevcut mânia planı üzerinde kentsel yapılar ve sayısal arazi modellenerek havacılık analizlerinin CBS tabanlı yapılması literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Kısaltmalar

- AIP: Aeronautical Information Publication (Havacılık Bilgi Yayını).
- ARCGIS PRO: Esri Firması tarafında geliştirilen CBS Yazılımı.

- BRA: Building Restricted Areas (Yapı Tahditli Alanlar).
- CG: Ağırlık Merkezi, Uçağın hem havada hem de yerde istikrarını etkileyen denge noktasıdır.
- DHMİ: Devle Hava Meydanları İşletmesi.
- DME: Distance Measuring Equipment (Mesafe Ölçme Cihazı).
- GP: Glide Path (Süzülüş Eğimi-Yolu).
- IAC: Instrument Approach Charth (Aletli Yaklaşma Haritası).
- ICAO DOC 8168: Procedures for Air Navigation Services, Aircraft Operations (Hava Seyrüsefer Hizmetleri, Uçak Operasyonlarına İlişkin Prosedürler).
- ICAO ANNEX 1 : Volume I - Aerodrome Design and Operations (Cilt 1- Havaalanları Tasarımı ve İşletimi).
- ICAO EURO DOC 015: European Guidance Material On Managing Building Restricted Areas (İnşaat Kısıtlı Alanların Yönetimine İlişkin Avrupa Rehberlik Materyali).
- ILS: Instrument Approach Charth (Aletli Yaklaşma Haritası) (ILS, 2013).
- ILS CAT I: 60 m'den alçak olmayan bir karar yüksekliği veya en az 800 m bir görüş mesafesi veya en az 550 m bir pist görüş mesafesine sahip hassas aletli yaklaşma.
- LLZ /LOC: Localizer (Seyrüsefer cihazı).
- LTAU: Kayseri Havalimanı ICAO Kodu.
- MOC: Minimum Obstacle Clearance (Minimum Engel Açıklığı).
- NDB: Non-directional beacon (Seyrüsefer cihazı).
- OAS: Obstacle Assessment Surface (Mânia Değerlendirme Yüzeyleri).
- RWY: Runway (Pist).
- SHT- 150/5300: Havaalanları Çevresindeki Doğal Mânialar Üzerinde Yapılaşma Talimatı (SHT- 150/5300, 2021).
- SHT- OPS: Uçuş Operasyonlarına Yönelik Usul ve Esaslar Talimatı (SHT-OPS, 2020).
- SHT-HÇG: Havaalanları ve Çevresinde Yapılacak Havacılık Çalışması ve Gölgeleme Talimatı.
- SHT-HES: Havalimanı Emniyet Standartları Talimatı.
- SHT-SMS/HAD: Havaalanlarında Emniyet Yönetim Sisteminin Uygulanmasına İlişkin Talimat.
- TACAN: Tactical Air Navigation (Askeri Seyrüsefer Cihazı).
- VOR: VHF Omni-directional Radio Range (Seyrüsefer cihazı).

2. YÖNTEM

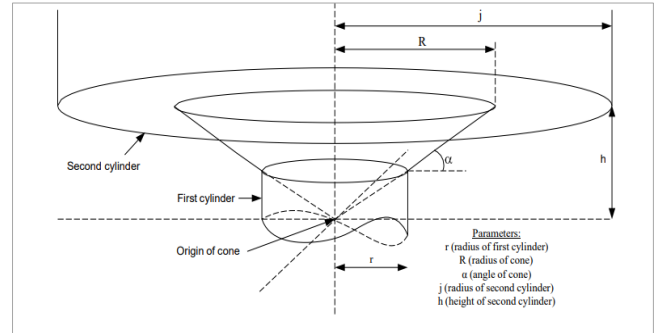
2.1. Sayısal Platform ve Yazılım Uygulamaları

Bu makale kapsamında üretilen dinamik değişkenli, ölçekli, koordinatlı, projeksiyon tanımlı, ilişkisel veri tabanı etkileşimli sayısal harita ArcGIS PRO ile üretilmiş ve sayısal analizler Global Mapper yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. ArcGIS, mekânsal topolojik işlem

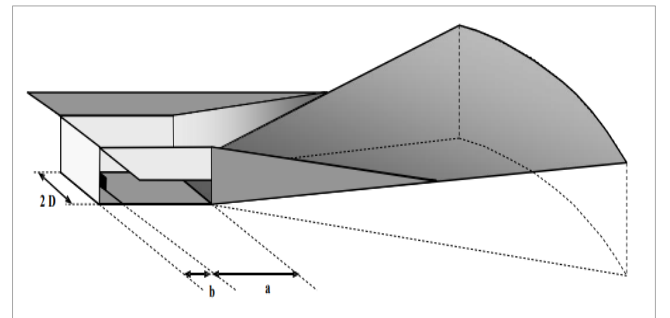
adımları, görüntü üzerine yönetim, işleme, analiz, modelleme ve paylaşım, gerçek zamanlı saha ve laboratuvar çalışmalarını kolaylaştıran ve eş zamanlı teknolojik güncelleme destekli işlevsel ve zengin CBS teknikleri içerikli bir yazılımdır (ESRI, 2023).

2.2. Uygulama İşlem Adımlarının Temel Prensipleri

Öncelikli olarak, imar planı yükseklikleri ile mânia planı yüksekliklerinin uyuşmadığı alanlara yönelik sapma (ihlal) yükseklikleri belirlenir. Mânia planını ihlal eden yüksekliklerin havalimanındaki seyrüsefer cihazlarına olan etkileri değerlendirilir. Farklı etki alanlarına sahip olan her bir cihazın ICAO Euro Doc.015 (European Guidance Material On Managing Building Restricted Areas - İnşaat Kısıtlı Alanların Yönetimine İlişkin Avrupa Rehberlik Materyali) kapsamında belirlenen yapı tahdit yüzeyleri bulunur. Yaklaşma sistemleri, en temelde hassas ve hassas olmayan yaklaşma olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. Hassas olmayan yaklaşma; yanal yönlendirmenin kullanıldığı fakat dikey yönlendirme bulunmayan bir aletli yaklaşma ve iniş sistemleridir. Bu yaklaşma sistemi VOR veya NDB gibi cihazlarla sağlanır (Kaba & Ürgün, 2019). Çok yönlü yayın yapabilen VOR, NDB, TACAN cihazları ile yönlendirilmiş cihazlar olan ILS LZZ, GP çizim kriterleri farklıdır (Şekil 2, 3).

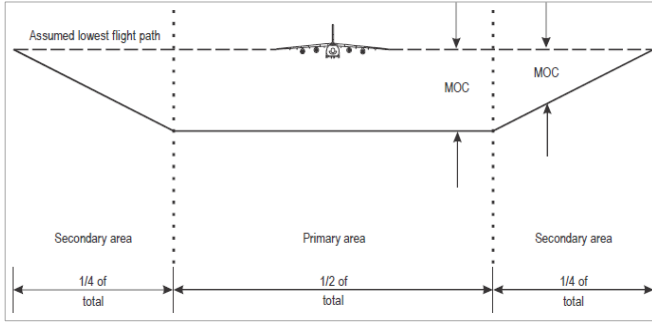


Şekil 2. Çok yönlü yayın yapan cihaz tahdit yüzeyleri (ICAO Euro doc.015, 2015)



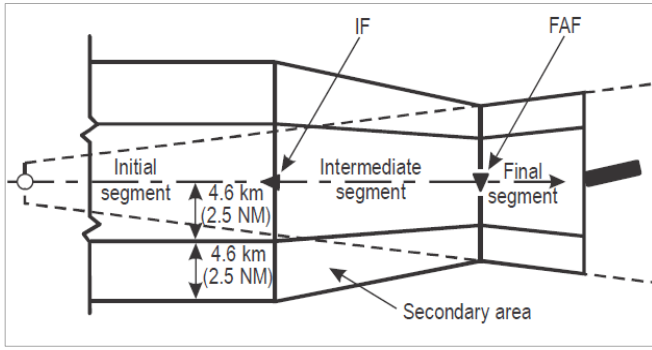
Şekil 3. Yönlendirilmiş yayın yapan cihaz tahdit yüzeyleri (ICAO Euro doc.015, 2015)

Havalimanları için yayınlanmış olan uçuş prosedürlerinin mânia koruma yüzeyleri bulunur. Mâniaların bu yüzeylerin içinde kalması durumunda gerekli klerans değerlerini (MOC) sağlamalıdır (Şekil 4).

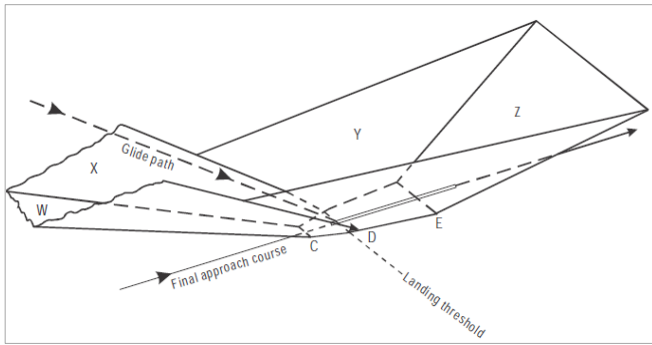


Şekil 4. Hava aracının MOC değeri gösterimi. (Aircraft Operations Doc.8168, 2020).

Hassas ve hassas olmayan uçuş usullerine ait mânia koruma yüzeyleri ve klerans değerleri farklılık göstermektedir (Şekil 5, 6). Mâniaların gerekli klerans değerlerini sağlamadığı durumda uçuş emniyeti açısından mânialara yıkım kararı alınabilir veya gerekli yüksekliklere indirilmesine yönelik yaptırım uygulanır.

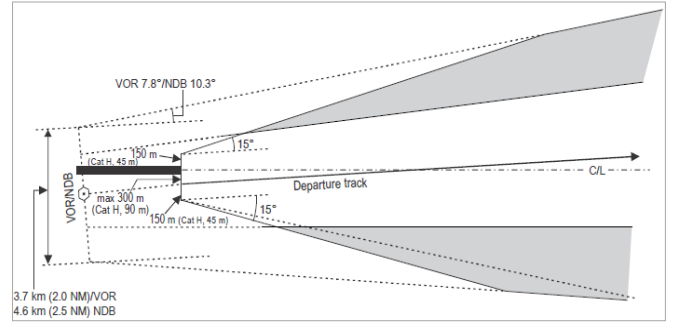


Şekil 5. Hassas olmayan yaklaşma mânia koruma yüzeyi çizim kriterleri örneği (Aircraft Operations Doc.8168, 2020).



Şekil 6. Hassas yaklaşma mânia koruma yüzeyi çizim kriterleri örneği (Aircraft Operations Doc.8168, 2020).

Havalimanına yaklaşan bir uçak iniş yapmaktan vazgeçtiyse, prosedürlerde yayınlanan MAP noktasından itibaren pas geçme usulünü uygular ve tekrardan tırmanmaya başlar. Kalkış esnasında ise yayınlı tırmanma gradyanını (CG) sağlayarak belirlenen irtifalarda tırmanış yapar. Kalkış prosedürlerindeki mânia koruma yüzeyleri cihazın konumuna veya kalkış yönlendirmesine göre değişmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Kalkış prosedürü mânia koruma yüzeyi örneği (Aircraft Operations Doc.8168, 2014).

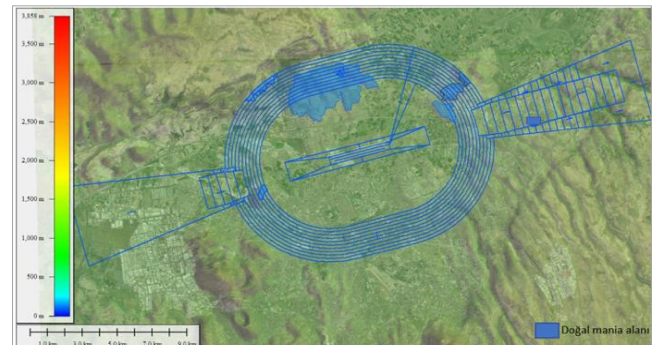
Hava aracının uçuş esnasında tek motorunu kaybetmesi halinde yayınlanmış prosedürleri uygulayamaz, irtifa kaybeder ve mevcut yolundan sapar. Bu durumlarda mânialara çarpmaması için performans analizleri havacılık çalışmalarına dâhil edilmiştir. Hem iniş hem de kalkış esnasında, kuş çarpması, motor arızası gibi sebeplerden dolayı, uçak tek motorunu kaybedebilir. Bu durumlar için belirlenen yüzeyler ve mânia kleransları havacılık çalışmalarında yer alır.

Uygulamanın son aşaması risk değerlendirme analizlerini içerir. Her bir analiz bölümü için bir risk belirlenir ve o riskin gerçekleşme ihtimali ve sonucunda yaşanabilecek olumsuz durumlar için risk analizi yapılır. Havacılık çalışmaları kapsamında, havalimanı çevresinde bulunan mâniaların uçuş emniyetine etkisi belirlenmiş olur.

2.3. CBS Teknikleri Uygulama Destekli Analiz ve Modelleme Çalışmaları: Kayseri Örneği

Bu çalışmada Kayseri Havalimanı (LTAU) çevresindeki yapıların yükseklik modellemesi yapılarak havacılık çalışması analizleri süreçlerine dahil edilmiştir.

Kayseri havalimanı pist irtifası 1055.5 m'dir. Mânia planı çizim kriterleri kapsamında pist irtifasından 45 m yüksekte konik yüzey kotu başlar ve her 200 m'de %5 eğim ile 10 m yükselir. İç yatay yüzeyin kotu 1101 m olarak belirlenmiş olup konik yüzeyin bitiminde 1201 m'ye ulaşır. Ancak havalimanının kuzeyinde iç yatay yüzeyin bir kısmı ile konik yüzeyin bir kısmının arazi kotu, mânia planı kotundan daha yüksek olması sebebi ile doğal mânia olarak kabul edilmiştir (Şekil 8). Hem sivil hem de askeri kullanıma açık bir meydan olan Kayseri Havalimanına ait mânia planları, yönetmelik ve yasal zorunluluk gereği SHGM tarafından çizilerek ilgili kurumlara gönderilmiştir.



Şekil 8. Kayseri havalimanı mânia planı ve doğal mânia alanları.

Doğal mâniâlar ile ilgili olarak SHGM tarafından yayınlanan Havalimanları Çevresindeki Doğal Mâniâlar Üzerinde Yapılaşma Talimatı (SHT-150/5300) iç yatay ve konik yüzeyde 6.5 m yükseklik kısıtlaması bulunur. Bu bölgede yapılacak her 6.5 m'yi geçen yapılaşma için uçuş emniyetleri kapsamında havacılık çalışması yapılması

gereklidir. Uçuş emniyetinin sağlanmasında kentsel yapıların etkisi CBS teknikleri ile gerçekleştirilen analiz ve modelleme çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Kayseri ilindeki havalimanı merkezde 38°46'13" N ve 35°29'43" E koordinatında bulunmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Kayseri Havalimanı konumu

Kayseri kent merkezindeki yapıların yükseklik modelleri ArcGIS PRO ortamında gerçekleştirilmiştir. Global Mapper programında, SRTM kesme yöntemi ile SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) oluşturulmuştur (Şekil 10).



Şekil 10. Çalışma alanı SRTM verisi.

Kayseri kent merkezine ait hâlihazır haritada bulunan yapı yükseklikleri, SAY (Sayısal Arazi Yüzeyi) modeli üzerine QGIS ortamında eklenmiştir ve yapıların deniz seviyesi maksimum yüksekliklere (MSL) ulaştırılmıştır (Şekil 11, 12).



Şekil 11. Kayseri kent merkezindeki yapıların yükseklik modelleri.



Şekil 12. Yükseklik modellemesi tematik görünümü.

2.4. Seyrüsefer Cihazları Yapı Tahditli Alanların Değerlendirilmesi

Kayseri havalimanında VOR/DME, NDB, LLZ, GP, DME, TACAN ve RADAR seyrüsefer cihazları bulunur. Her cihazın çalışma prensibi ve mâniâ koruma yüzeyleri farklıdır. Uçağa sinyal ileten cihazlar olması nedeni ile, çevresel yapıların yansıma yüzeyleri ve yükseklikleri performansı olumsuz etkileyebilir. Cihazın bulunduğu konumdan 3 km'lik alana kadar 1 derecelik açı ile BRA yüksekliği artmakta ve 52 m'ye ulaşmaktadır. Havacılık çalışmalarında, yüksekliği 1 derecenin üstünde kalan yapılar cihazın sinyalini etkileme olasılığı nedeniyle sinyal analizi yapılır. Bu nedenle VOR cihazı ve LLZ cihazı CBS teknikleri kullanarak Global Mapper programında çizilmiştir ve Google Earth programında kentsel yapılar ile birlikte görüntülenerek değerlendirilmiştir.

VOR cihazı 38°46'32.3" N ve 35°31'19.0" E koordinatlarda bulunur ve BRA yüzeyi 3 km'lik alanı kapsar. Kent merkezindeki birçok yapı VOR BRA içinde kalmaktadır (Şekil 13). Bu alan içinde yeni yapılaşma öngörüldüğü durumlarda, DHMİ'ye görüş sorulması zorunludur.



Şekil 13. VOR BRA yüzeyi ve yapılaşma dokusu.

LLZ cihazı 384600.0N 0352832.0E koordinatında bulunur ve tek yönlü yayın yapar. LLZ BRA içinde de birçok yapılaşma yer almaktadır (Şekil 14).

Havalimanı içinde, hangar binası, tesis veya seyrüsefer cihazı kurulumu ve benzeri yeni yapılacak yapılar, eğer BRA yüksekliklerini sağlamıyorsa, sinyal analizi yapılması gerekecektir.



Şekil 14. LLZ25 BRA yüzeyi ve yapılar

2.5. Uçuş Prosedürlerinin Değerlendirilmesi

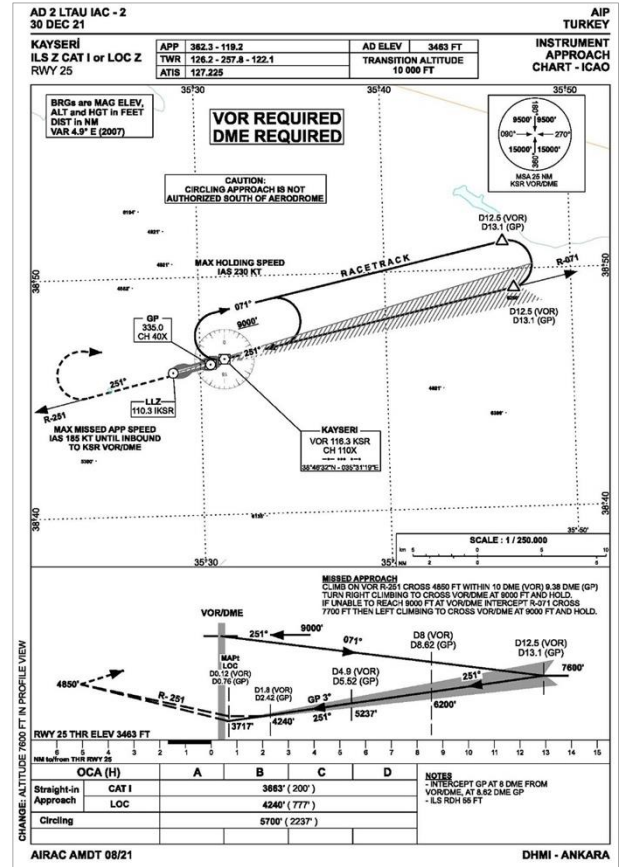
Uçuş usulleri IFR (Instrument Flight Rules-Aletli Uçuş Kuralları) ve VFR (Visual Flight Rules-Görerek Uçuş Kuralları) olarak ikiye ayrılır. Uçuş prosedürleri analizleri; mevcut ve/veya yapılması planlanan mâniaların uçuş prosedürlerine olan etkisi, ICAO ile belirlenen kriterler doğrultusunda, sertifikalı, uzman personel tarafından değerlendirilmekte ve sayısal analizler iki aşamada tamamlanmaktadır.

Aşama 1 - Ön Değerlendirme Analizleri: İnşa edilmesi planlanan yapıların, Annex 14 ve ICAO kriterleri ile tanımlanan uçuş prosedürleri yüzeylerini ihlal etmeyecek maksimum yüksekliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmadır.

Aşama 2 - Detaylı Analizler: Ön değerlendirme raporu, planlanan inşaatların uçuş prosedürleri yüzeylerini ihlal ettiğini ortaya koyması durumunda, minimum alçalma irtifalarının, tırmanış ve alçalış eğimlerinin, uçuş rotalarının veya hava sahası kullanım usullerinin yeniden belirlenmesi çalışmaları ihtiyacı ortaya çıkacaktır (Segar Havacılık, 2018).

Devlet Hava Meydan İşletmeleri Genel Müdürlüğü (DHMI) tarafından her havalimanı için uçuş prosedürleri AIP (havacılık bilgi ürünleri) sisteminde yayınlanır. Kayseri havalimanı için yayınlanmış 11 tane aletli alçalma planı prosedürü, 8 tane kalkış prosedürü bulunmaktadır. Çalışma kapsamında iki adet aletli yaklaşma prosedürleri mâniya koruma yüzeyleri çizilerek,

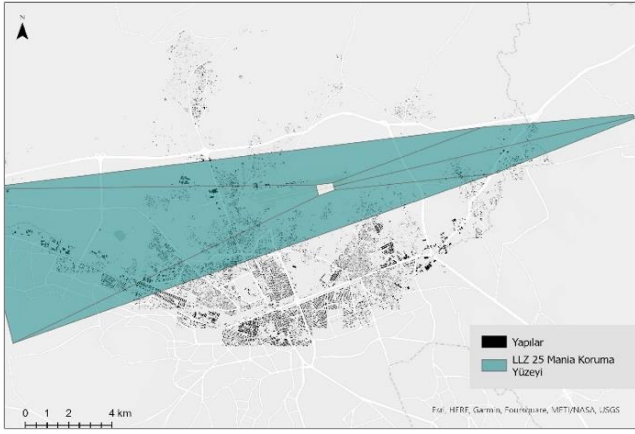
havalimanı çevresindeki yapıların bu yüzeylere olan etkisi değerlendirilmiştir (IAC-2: Instrument Approach Chart ILS Z CAT I or LOC Z RWY 25) (Şekil 15) ve mâniya koruma yüzeyleri çizilmiştir (IAC-5: Instrument Approach Chart VOR Z RWY 07) (Şekil 16).



Şekil 15. ILZ Z CAT I or LOC Z RWY 25 yayınlı uçuş prosedürü

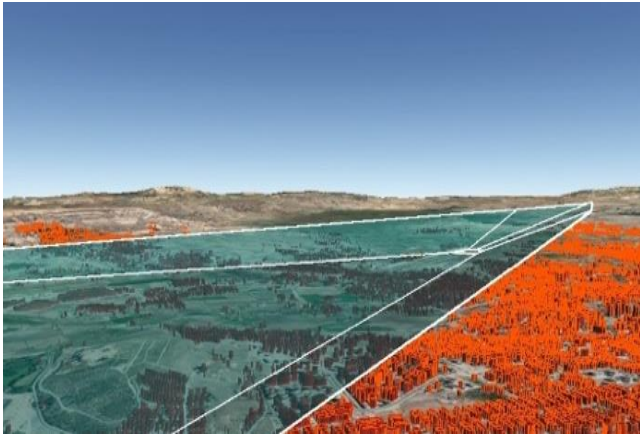
ILS sistemi, yatay ve düşey olarak uçağa kılavuzluk görevi yaparak, uçağın piste otomatik olarak inmesini sağlar. Özellikle bulut tavanının düşük, görüşün kısıtlı olduğu sisli, yağmurlu ve karlı havalarda emniyetli; görüş mesafesinin yüksek olduğu durumlarda ise emniyetin yanı sıra konforlu bir yaklaşma ve iniş yapılmasına imkân sağlar (DHMI, 2023).

Bir yaklaşma prosedürünün mâniya koruma yüzeyleri, geliş ve pas geçme safhalarından oluşmaktadır. ICAO 8168 tarafından ILS sistemleri yaklaşma usulleri için verilen kriterler Şekil 6'da gösterilmiştir. Global Mapper programında ilk önce ILS LLZ cihazı koordinatları belirlendikten sonra, belirlenen kriterler kapsamında ilgili çizimleri programın COGO aracı ile yapılmıştır. Line olarak çizilen yüzeyler polygon haline getirilmiştir ve her bir alanın (X, W, Y, Z) kendine özgü belirlenmiş olan yükseklik değerleri girilmiştir. Yapılan çizim ArcGIS Pro programında kentsel yapılar katmanı ile birlikte analiz ve modelleme çalışmalarına altlık oluşturacak formatta hazırlanmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. ILZ RWY 25 Mânia koruma yüzeyi ve kentsel yapılar

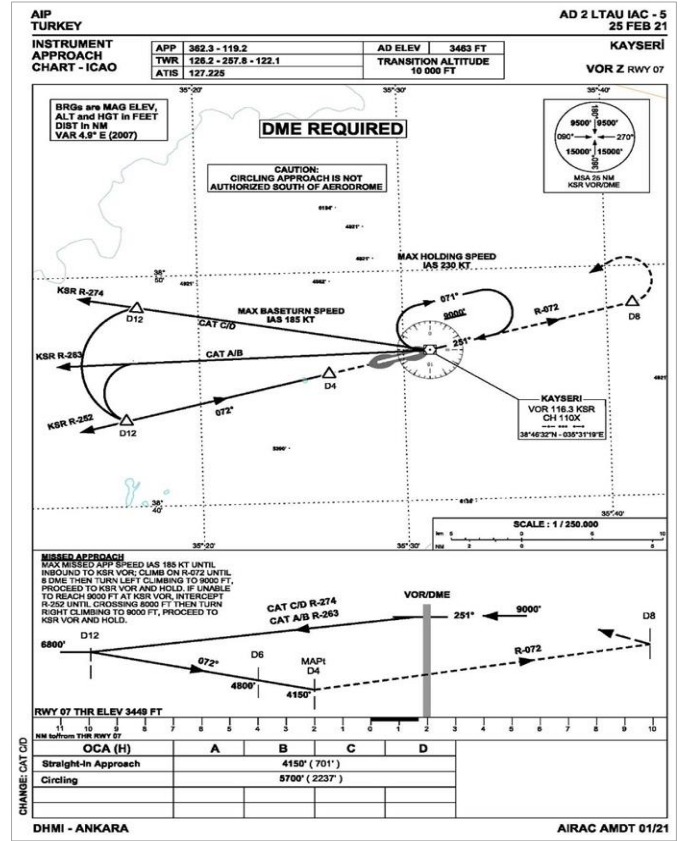
Mânia koruma yüzeyi 3 boyutlu hale getirilmiştir. ILS yüzeyinde X,Y ve Z yüzeyi mânia kleransı 300 m'ye kadar çıkmaktadır. Kayseri kent merkezi topoğrafik açıdan düz bir zemin üzerine kurulmuştur, fakat kuzeyinde dağlık araziler yer almaktadır. ILS OAS (obstacle assessment surface) yüzeyi hassas ve dar bir yüzeydir. Yüzeyin küçük olması ve merkezi düz bir arazide olması sebebi ile mânialar OAS yüzeyini ihlal etmemektedir (Şekil 17).



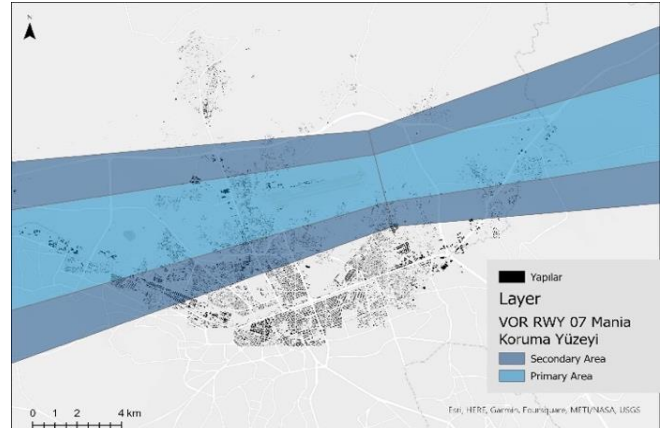
Şekil 17. ILZ RWY 25 OAS ve kentsel yapıların 3 boyutlu görünümü

Bir diğer Aletli uygulama, IAC-5 (Instrument Approach Chart VOR Z RWY 07)'dir (Şekil 18). VOR cihazı kullanarak yaklaşma yapan bir uçağın izleyeceği prosedür yayınlanmıştır. VOR cihazı uçağa radyal bilgisi vererek cihaza yönlendirmeyi sağlar böylelikle uçak havalimanında bulunan cihaza doğru yönlenecek iniş uygulamasını tamamlar.

VOR cihazına göre uygulanan alçalma planlarının mânia koruma yüzeyleri birincil ve ikincil alan olarak ikiye ayrılır. Birincil alan mânia kleransı yaklaşma esnasında 75 m iken, ikincil alanda bu klerans değeri cihaza olan mesafe değerine göre hesaplama yapılarak bulunur ve giderek artan bir klerans değerine göre modellenir (Şekil 4). Çalışma kapsamında mânia koruma yüzeyi Global Mapper programında çizilmiştir ve ArcGIS Pro programında yapılar ile birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 19).

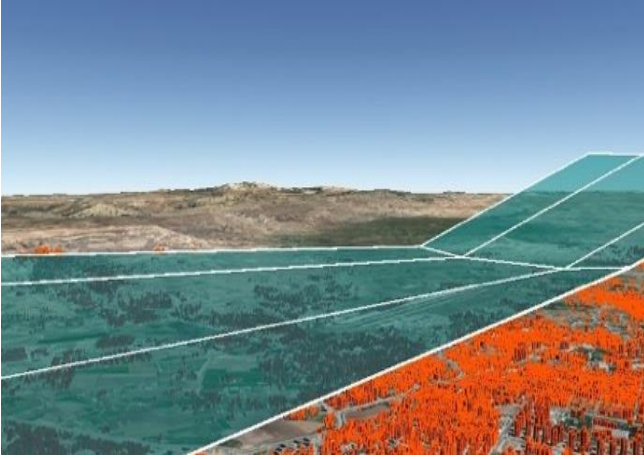


Şekil 18. VOR Z RWY 07 yayınlı uçuş prosedürü



Şekil 19. VOR RWY 07 Mânia koruma yüzeyi ve kentsel yapılar.

Çizilen VOR RWY 07 alçalma planının mânia koruma yüzeyleri üç boyutlu hale getirilerek kentsel yapıların yüzeyi ihlal edip etmediği tespit edilmiştir. Kırmızı ile gösterilen kentsel yapılar mânia koruma yüzeyini delmediği belirlenmiştir (Şekil 20). Öncelikle mânia planı yüksekliğini aşan her mânianın sonrasında uçuş prosedürleri, mânia koruma yüzeyini ihlal edip etmediğine bağlı olarak belirlenen uçuş güvenliği kapsamında CBS teknikleri kullanılarak kontrol edilmiştir.

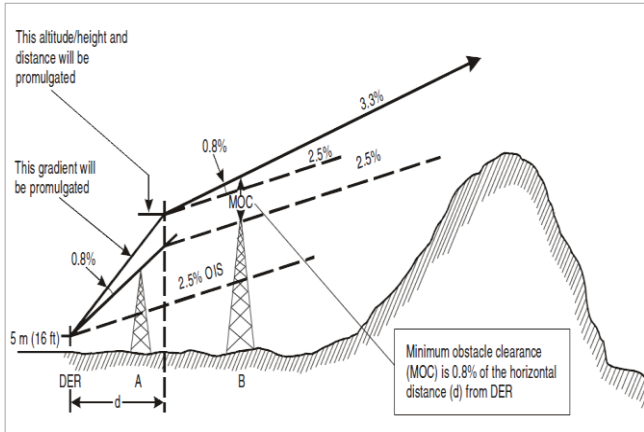


Şekil 20. VOR RWY 07 Mânia koruma yüzeyi ve kentsel yapıların 3 boyutlu görünümü.

2.6. Uçak Performans Analizleri

Bir hava aracı uçuş esnasında motor arızası ve motor kaybı yaşayabilir. Motor kaybı yaşaması durumunda performans kaybı olabilir ve normalde uygulaması gereken alçalma planı yüzeyleri dışına çıkabilir veya irtifa kaybedebilir. Bu durumlarda mevcut mâniyalara çarpma riski artmış olur. Motor arızası veya motor kabı genellikle iniş ve kalkış yüzeylerinde meydana gelir. Bu yüzeylerde bulunan mâniyalar risk teşkil etmemektedir. Ancak yapılan performans analizleri ile risk seviyeleri belirlenir ve uçuş emniyeti için uygun yüksekliklere çekilmesi gerekir.

Bir uçak normal kalkış esnasında %3,3'lük CG ile tırmanır, ancak motor kaybı söz konusu olduğunda %2,4 tırmanma performansına düşer (Şekil 21).



Şekil 21. Kalkış esnasında normal şartlardaki tırmanma değerleri (Aircraft Operations Doc.8168, 2014)

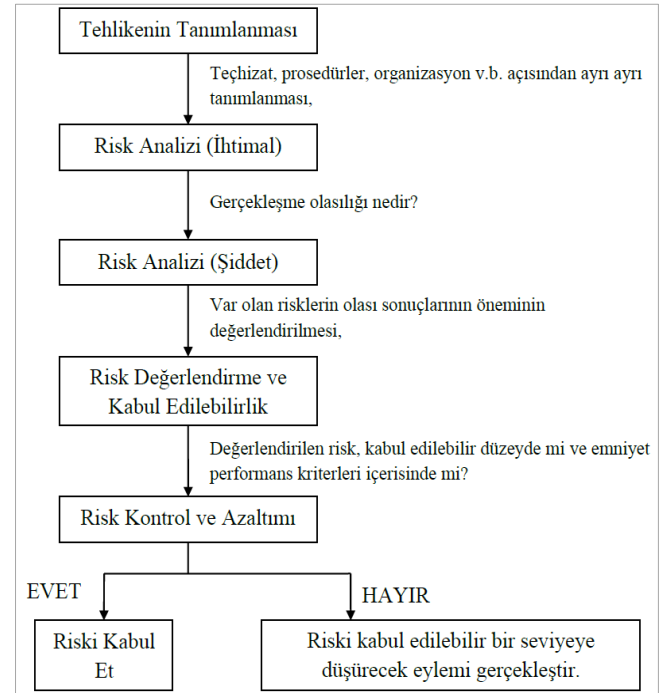
Havacılık çalışmalarında uçak performans analizlerinde bir havalimanına yayınlı tüm usuller iniş, kalkış veya pas geçme kapsamında değerlendirilir ve ayrıca senaryolar üretilir, örneğin; "uçanın kalkış anında 15 derece baş değiştirmesi". Bu senaryolar ile daha büyük alanlar taranarak risk en aza indirilmeye çalışılır. Çalışma kapsamında hem senaryo yüzeyi hem de performans analizi mâniya koruma yüzeyi belirlenmiştir ve etki alanları ortaya konulmuştur (Şekil 22).



Şekil 22. Uçak performans alanları

2.7. Risk Analizi

Havacılık çalışmalarının temel amacı, planlanan veya mevcut yapılaşmaların uçuş için risklerini belirlemek ve bu riskleri en aza indirerek emniyetli uçuşlar sağlamaktır. Doğrudan ya da dolaylı olarak, hava aracı faaliyetleri (operasyonları) ile ilgili ortaya çıkacak istenmeyen olayları yaratma potansiyeli taşıyan her türlü faktör (durum, koşul, eylem gibi) potansiyel tehlike olarak adlandırılır (Gerede, 2018). Emniyet analizleri SHGM tarafından yayınlanan "Havalimanlarında Emniyet Yönetim Sisteminin Uygulanmasına İlişkin Talimat (SHT-SMS/HAD) kapsamında yürütülür (SHT-SMS/HAD, 2008) ve belirlenen tehlikenin ihtimali ve şiddeti ortaya koyulur (Şekil 23). Eğer ihtimal sıklığı fazla ve şiddetinin seviyesi yüksek ise, riskin ortadan kaldırılması için önlemler alınır (örneğin; mâniyanın yıkım kararı veya belirli bir kısmının yıkım kararı) (Şekil 24).



Şekil 23. Emniyet risk yönetim süreci akış şeması.

Olasılık	Etkinin Derecesi				
	Felaket	Tehlikeli	Büyük	Küçük	İhmal edilebilir
Sık sık	5A Kabul edilemez	5B Kabul edilemez	5C Kabul edilemez	5D Gözden geçirme	5E Gözden geçirme
Ara sıra	4A Kabul edilemez	4B Kabul edilemez	4C Gözden geçirme	4D Gözden geçirme	4E Gözden geçirme
Nadiren	3A Kabul edilemez	3B Gözden geçirme	3C Gözden geçirme	3D Gözden geçirme	3E Kabul edilebilir
Çok az	2A Gözden geçirme	2B Gözden geçirme	2C Gözden geçirme	2D Kabul edilebilir	2E Kabul edilebilir
Hemen hemen hiç	1A Gözden geçirme	1B Kabul edilebilir	1C Kabul edilebilir	1D Kabul edilebilir	1E Kabul edilebilir

Şekil 24. Risk değerlendirme matrisi

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kayseri havalimanı üzerinden örnekleme yaparak, topoğrafik açıdan olumsuz şartların etkilerini ve gerekli uygulamaları incelenen bu makale çalışmasının temel amacı, konumsal ilişkiler içerikli saha bileşenleri açısından öngörülen risklerin azaltılmasına yönelik farkındalık oluşturmaktır. Bu çerçevede özellikle dikey yapılaşmadan kaynaklı yükseklik fazlalığı tespit edilmiştir. Özellikle yönetmelikte yer alan 6.5 m ve üzeri yükseklik değerlerinin tespit edilmesine istinaden, havalimanı dinamiklerinde riskler oluşacağı öngörülmüştür.

Kayseri Havalimanının kent merkezine çok yakın (4km) olması, farklı yüksekliklerdeki mekanlardan kaynaklanan problemlerin kıyaslanabilmesini sağlamıştır. Çalışma sahasındaki yapıların havalimanı uçuş emniyetine olan olumsuz etkileri sayısal ortamda konumsal ilişkileri göz önünde tutularak CBS teknikleri desteği ile havacılık çalışmaları çerçevesinde modellenmiştir. Model üzerinde topoğrafik açıdan gerçekleştirilen mikrozonlama sonucunda belirlenen eğim ve baki haritaları sınıflandırılarak yön ve eğim poligonları, mânia planı kriterleri ile eşleştirilerek incelenmiştir ve havalimanının kuzeyinin doğal mânia olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, makale çalışması sürecinde, havalimanında bulunan tüm cihazların teknik analizlerini ve uçuş usulleri analiz sonuçları incelenmiştir. S/S cihazı analizleri için VOR ve LLZ BRA analizleri, uçuş prosedürleri analizleri için IAC 2 ve IAC 5 alçalma planları ve uçak performans analizleri için 15 derece baş değiştirme senaryo ve öngörü çalışmaları yapılarak Kayseri kent merkezi ve havalimanı yakın çevresinde mevcut durum değerlendirilmiştir.

Uçak performans uzmanları tarafından müdahale edilerek analiz edilmesi zorunlu olan motor kaybı durumları için senaryo bazında kurgu yapılarak yayınlanmış prosedürler değerlendirilmiştir.

ICAO dokümanları, DHMİ AIP yayınları veri olarak kullanılıp çalışmada hedefleri odaklı yorumlanarak raster ve vektör tabanlı çizimler yapılmıştır ve veri tabanı etkileşimli sayısal haritaya katman olarak tanımlanmıştır. Katmanlar arası konumsal ilişkileri göz önünde bulundurularak, birçok farklı CBS işlem

adımlarının ve analiz ve modelleme sonuçları çözüm odaklı kullanılması, çalışmanın birçok aşamasında, sayısal haritamıza oluşturulacak ek katmanları ölçekli, koordinatlı, projeksiyon tanımlı olarak elde etmemizi sağlamıştır. Saha gerçekleri açısından optimum verim ile sonuca gidilerek gerçekçi yorumlara zemin hazırlayan bir platform olarak CBS tekniklerinin havacılık çalışmalarında etkin ve güvenle kullanılması gerektiği, somut sonuçlar ile ispatlanmıştır. Havacılık çalışmalarına konu olacak ve çok farklı süreçlerde profesyonel uygulamalarda anlık olarak ortaya çıkabilecek problemlerin kısa sürede tespit edilerek kalıcı çözüm üretilebilmesi açısından CBS tekniklerinin daha kapsamlı olarak saha ve laboratuvar çalışmalarının aşamalarında kullanılması gerektiği öngörüyor ve öneriyoruz.

Yazarların Katkısı

Yazar1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Görselleştirme, Analiz ve Modelleme. **Yazar2:** İnceleme, Düzenleme, Doğrulama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Aircraft Operations Doc.8168 (2020). Aircraft Operations (Seventh edition). *International Civil Aviation Organization*.
- Annex 14 (2010). Annex-14 - Havaalanları, Cilt 1 Havaalanı Tasarımı ve İşletimi, [Erişim Tarihi: 05.03.2023], https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/Annex_14_Cilt-1_2.Baski-Kasim2010.pdf
- DHMI (2023). Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ), Ankara. [Erişim Tarihi: 03.03.2023], <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/ElektronikHizmetleri/TeknikBilgiler/SeyruseferHizmetleri/ILS.aspx>
- ESRI (2023). ESRI [Erişim Tarihi: 10.03.2023], <https://www.esri.com.tr>
- Gerede (2018). Havacılıkta Emniyet Yönetimi, Teoriden Uygulamaya Geleneksel ve Yeni Nesil Yaklaşımlar. *Pegem Akademi*, ISBN 978-605-241-224-4.
- ICAO Doc 8168 (2020). Aircraft Operations (Seventh Edition). *International Civil Aviation Organization*.
- ICAO Euro Doc 015 (2015). European Guidance Material on Managing Building Restricted Areas (Third Edition). *International Civil Aviation Organization*
- ILS (2013). ILS (Aletli İniş Sistemi) Localizer Kritik ve Hassas Sahalarının İdaresine İlişkin Avrupa Ara Kılavuzu, [Erişim Tarihi: 16.03.2023], <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal->

[yayinlar/4343-ils-aletli-inis-sistemi-localizer-kritik-ve-hassas-sahalarinin-idaresine-iliskin-avrupa-ara-kilavuzu](#)

Kaba F & Ürgün S (2019). Bir hassas yaklaşma prosedürü olarak ILS'in (Instrument Landing System) önemi ve uçuş gecikme maliyetlerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 333-342. <https://doi.org/10.31590/ejosat.515682>

Segar Havacılık (2018). <https://segaraviation.com/page/6-ucus-prosedur-analizleri.html>, [Erişim Tarihi: 03.12.2023].

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2008). SHT- SMS/HAD Havaalanlarında Emniyet Yönetim Sisteminin Uygulanmasına İlişkin Talimat, [Erişim Tarihi: 15.03.2023], <https://web.shgm.gov.tr/tr/genel-duyurular/1658-havaalanlarinda-emniyet-yonetim-sisteminin-uygulanmasina-iliskin-talimat-sht-sms-had-yayimlanmistir>

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2016). SHT-HES (Havalimanları Emniyet Standartları Talimatı, [Erişim Tarihi: 15.03.2023], <https://web.shgm.gov.tr/tr/genel-duyurular/5185-havaalani-emniyet-standartlari-talimati-sht-hes-yayimlanmistir>

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2020). SHT-HÇG Havaalanları ve Çevresinde Yapılacak Havacılık Çalışması Ve Gölgeleme Talimatı, [Erişim Tarihi:

15.03.2023],

<https://web.shgm.gov.tr/tr/mevzuat/6885-havaalanlari-ve-cevresinde-yapilacak-havacilik-calismasi-ve-golgeleme-talimati-sht-hcg-yururluktan-kaldirilmistir>

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2020). SHT-OPS Uçuş Operasyonlarına Yönelik Usul ve Esaslar Talimatı [Erişim Tarihi: 15.03.2023],

<https://web.shgm.gov.tr/tr/mevzuat/6440-ucus-operasyonlarina-yonelik-usul-ve-esaslar-talimati-sht-ops-revize-edilmistir>

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2021). SHT- 150/5300 Havaalanları Çevresindeki Doğal Mâniolar Üzerinde Yapılacak Talimatı, [Erişim Tarihi: 15.03.2023],

<https://web.shgm.gov.tr/tr/mevzuat/6521-havaalanlari-cevresindeki-dogal-manialar-uzerinde-yapilasma-talimati-sht-150-5300-yayimlanmistir>

Ulubay A & Varol M B (2013). Havaalanları etrafında emniyetli sahaların oluşturulması ve sunulması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(1), 113-122.

Uzun Ö F & Sesli F A Creation and Analysis of Obstacle Plans with Geographic Information System: Samsun Çarşamba Airport Example. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 3(3), 98-102. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.746948>



© Author(s) 2023.

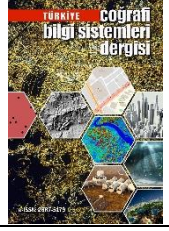
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



İnsansız Hava Araçları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları

Osman Villi*¹, Murat Yakar²

¹Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Mersin, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Mersin, Türkiye

ÖZ

İnsansız hava araçları son yıllarda sadece askeri uygulamalarda değil mühendislik, bilimsel ve endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte, birçok aktif veya pasif algılayıcılarla donatılan insansız hava araçları sayesinde hassas veriler elde edilebilmektedir. Uydu verilerine göre düşük maliyetli, hızlı ve analitik çözümler sağlayan insansız hava araçları verileri aynı zamanda mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük açısından da avantajlıdır. Bu verilerin kalitesi, bu veriler ile üretilen 2 ve 3 boyutlu haritalar, ortofotolar, indeks haritaları ve nokta bulutu verilerinin kalitesini ve doğruluğunu da aynı oranda etkilemektedir. Coğrafi bilgi sistemlerine altlık olan bu çıktılar sayesinde, hassas ve nitelikli sonuçlar elde edilebilmektedir. Afet yönetimi, şehir planlama çalışmaları, telekomünikasyon faaliyetleri, risk hesaplama uygulamaları gibi birçok önemli çalışmada insansız hava araçları verileri, Coğrafi bilgi sistemlerinin altlık verilerini oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, insansız hava aracı ve CBS uygulamaları üzerinde durulmuş ve literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. CBS uygulamalarında insansız hava araçlarının kullanılmasının avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Son olarak gelecekteki beklentiler sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler:

CBS
Uzaktan Algılama
İHA
Fotogrametri
İHA Uygulamaları

Unmanned Aerial Vehicles and Geographic Information Systems Applications

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles have been used not only in military applications but also in engineering, scientific and industrial applications in recent years. With the developing technology, sensitive data can be obtained thanks to the unmanned aerial vehicles equipped with many active or passive sensors. Unmanned aerial vehicle data, which provides low-cost, fast and analytical solutions compared to satellite data, is also advantageous in terms of spatial, radiometric, spectral and temporal resolution. The quality of this data also affects the quality and accuracy of the 2D and 3D maps, orthophotos, index maps and point cloud data produced with these data. Thanks to these outputs, which are the basis of geographic information systems, sensitive and convenient results can be obtained. In many important studies such as disaster management, city planning studies, telecommunication activities, risk calculation applications, unmanned aerial vehicle data constitute the base data of geographic information systems. Within the scope of this study, unmanned aerial vehicles and geographic information systems applications are emphasized and studies in the literature are included. The advantages and disadvantages of using unmanned aerial vehicles in geographic information systems applications are stated. Finally, expectations for the future are listed.

Keywords:

GIS
Remote sensing
UAV
Photogrammetry
UAV Applications

*Sorumlu Yazar

(osman.villi@toros.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8174-409X
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251

Kaynak Göster

Villi O & Yakar M (2023). İnsansız Hava Araçları ve CBS Uygulamaları. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 20-33.

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA), içerisinde insan bulunmayan, otonom, yarı otonom ve/veya manuel yordamlarla uzaktan kontrol edilebilen, tümleşik sistemlerin bir araya geldiği hava araçları olarak tanımlanmaktadır (Kanun vd., 2022; Villi & Yakar, 2022; Alptekin & Yakar, 2021; Kusak vd., 2021; Cömert vd., 2021; Alptekin vd., 2020; Alptekin & Yakar, 2020a; Alptekin vd., 2019). İHA gelişim sürecinin ilk yıllarında askeri amaçlar için kullanılsa da son yıllarda birçok alanda kullanımı artmış ve çeşitli araştırmalarda büyük başarı oranı sağlamıştır. İHA ile havadan alınan görüntülerin mühendislik uygulamalarında, tarihi ve arkeolojik araştırmalarda, güvenlik uygulamalarında, endüstriyel alanlarda, tarımsal uygulamalarda, afet yönetimi veya ticari faaliyetlerde kullanımı günden güne artmaktadır.

Tarihi ve arkeolojik araştırmalar irdelendiğinde birçok önemli çalışmaya ulaşılmaktadır. Yakar vd. (2018) çalışmalarında kültürel mirasların 3 boyutlu (3B) oluşturulması ve kayıt altına alınarak belgelenmesi çalışmalarında İHA ve coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) faydalanmışlardır. Çalışmalarında Erzurum Üç Kümbetler Anıt Mezarlarını yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi kullanarak 3B olarak modellemişler ve CBS sistemlerine aktarmışlardır. Ulvi vd. (2020) çalışmalarında Kapadokya Bölgesinde yer alan bir kilisenin belgelenmesi için İHA sistemlerinden faydalanmışlardır. Restorasyon çalışmaları için büyük öneme sahip verileri CBS ortamında analiz etmişlerdir. Benzer şekilde Şasi & Yakar (2017) çalışmalarında Anadolu Selçuklu İmparatorluğu dönemine ait Sakahane Mescidi'nin 3B modellenmesi için İHA ve CBS sistemleri kullanmışlardır. Modellenen tarihi yapının kültürel mirasın korunması açısından önemine değinen araştırmacılar aynı zamanda olası bir restorasyon çalışması için bu verilerin oldukça kritik öneme sahip olduğunu bildirmişlerdir. Kanun vd. (2021) çalışmalarında Kanlıdivane Arkeolojik Bölgesinde bulunan bazı yapıtların 3B modellenmesi ve ölçülmesi çalışmalarında İHA ve CBS sistemlerinden faydalanmışlardır.

Doğal afetlerin izlenmesi ve afet yönetimi uygulamalarına bakıldığında, literatürde önemli çalışmalar mevcuttur. Yakar vd. (2022) çalışmalarında kaya düşmesi tehlikesi olan bölgelerin İHA ve CBS sistemleri kullanılarak modellenmesi üzerinde durmuşlardır. Çalışma alanının 3B modellenerek süreksizlik analizlerini yapmışlar ve özellikle ulaşılması zor bölgelerin verilerini elde ederek, olası kaya düşmeleri için süreksizlik kümelerini karakterize etmişlerdir. Alptekin & Yakar (2020b) yaptıkları çalışmada afet yönetimi üzerinde durmuşlardır. Mersin İlinde bulunan ve aşırı yağış alan Çukurkeşlik Mahallesi'nin kayıt altına alınmasını ve daha sonrasında meydana gelebilecek afetler için veritabanı niteliğindeki bilgileri CBS sistemine entegre etmişlerdir. Alptekin & Yakar (2022) ayrıca heyelan doğal afetinin risklerini azaltmak ve risk alanlarının modellenmesi için başka bir çalışma alanı olan Mersin İli Değirmençay Köyünü çalışma alanlarına eklemişlerdir. Benzer şekilde bu

bölgenin de periyodik aralıklarla izlenmesi ve nokta bulutları arasındaki farkların analiz edilmesi sayesinde arazi durumunun belgeleneceğini ve olası afetlere karşı önlemler alınabileceğini belirtmişlerdir.

Endüstriyel faaliyetlere bakıldığında önemli çalışmalar dikkat çekmektedir. Tutuş (2018) film endüstrisinde İHA sistemlerinin ve çekim tekniklerinin detaylarını ortaya koymuştur. Çalışmasında film sektörü için önemli olabilecek ve sinematik görüntülerin elde edilmesi için kritik sayılan İHA ve kameraların hareketlerine ve ayarlarına değinmiştir. Liao & Lu, (2017) çalışmalarında enerji üretimi için önemli olan güneş enerji santrallerinde panel arıza tespiti için İHA sistemlerinden ve termal kameralardan faydalanmışlardır. Odo vd. (2022) çalışmalarında elektrik iletim hattı kulelerinin analizi üzerinde durmuşlardır. Geliştirdikleri görüntü işleme tabanlı sistem sayesinde, İHA ile alınan görüntülerin anlık analizi ile hızlı arıza tespiti yapabilmişlerdir. (Karakose, 2017) elektrik hatlarını izlemek ve olası kopuklukları tespit etmek için görüntü işleme tabanlı İHA sistemi geliştirmiştir. (Rossi vd., 2016; Bretschneider & Shetti, 2016) gaz kaçaklarını otomatik tespit edebilen İHA sistemi geliştirmişler ve gaz iletim borularında testlerini gerçekleştirmişlerdir.

Mühendislik uygulamaları incelendiğinde de İHA sistemlerinin oldukça önemli bir role sahip olduğu görülmektedir. Morgenthal & Hallerman (2014) çalışmalarında yapı hasar tespiti ve restorasyon çalışmaları için İHA görüntüleri kullanmışlardır. Yapılarda meydana gelen çatlakların otomatik tespit edilmesi için görüntü işleme tabanlı sistemler geliştirmişlerdir. Kınalı & Çalışkan, (2022) çalışmalarında orman yolu projeleri için uygun yerlerin seçimi için İHA verileri kullanmışlardır. İHA verileri üzerinden yaptıkları alan ve hacim ölçümleri sayesinde proje maliyetlerini de önceden tespit edebilmişlerdir.

Son yıllarda hassas tarım uygulamalarında da İHA sistemleri oldukça popüler ve güvenilir hale gelmektedir. (Ok & Ozdarici-Ok, 2017) çalışmalarında ağaç sayılarının otomatik hesaplanabilmesi için İHA ve CBS sistemlerinden faydalanmışlardır. Donmez vd. (2021) çalışmalarında ağaç sayım uygulamaları için farklı yöntemler önermiş ve multispektral kamera kullanarak yüksek başarı oranı sağlamışlardır. Tanut vd. (2021) çalışmalarında şeker kamışı bitkisinin verim tahmini için İHA görüntülerini kullanmışlardır. Geliştirdikleri görüntü işleme ve yapay zekâ sistemi tabanlı uygulama sayesinde %98.69 doğrulukta verim tahmini yapmışlardır.

İHA'lara eklenebilen aktif ve pasif çeşitli sensörler bulunmaktadır. Kameralar ise en yaygın kullanılan elektro-optik sensörlerdir. Bu sensörler genellikle, video kamera, standart fotoğraf makinesi, multispektral kamera, termal kamera, hiperspektral kamera, oblik kamera veya web kamerası olabilir (Cilek vd., 2022). Son yıllarda geliştirilen yüksek çözünürlüklü ve geniş bant algılama yapabilen kameralar sayesinde yüksek kalitede görüntüler toplanabilmektedir. Bu görüntüler, fotogrametrik harita üretim teknikleriyle işlenerek yoğun nokta bulutuna, sayısal yükseklik modeline, ortofoto haritaya veya indeks haritasına dönüştürülebilmektedir. Elde edilen çıktılar, uydu

görüntülerine göre daha iyi mekânsal, radyometrik ve spektral çözünürlüğe sahip olmaktadır (Özcan, 2017; Villi, 2019).

CBS (CBS), coğrafi verilerin toplanması, depolanması, analizi ve görselleştirilip yorumlanmasında kullanılan sistemler bütünü olarak tanımlanabilir. Çok sayıda kaynaktan elde edilen farklı türdeki veriler bir araya gelerek CBS sistemini beslemektedir. Verilerin tutarlı ve hassas olması, çıktı verilerinin de doğruluğunu etkilemektedir. Dolayısı ile CBS sistemini besleyen girdilerin düşük hata oranına sahip, yüksek çözünürlüklü ve güncel olması istenmektedir. İHA'lar da bu aşamada CBS sistemleri için büyük öneme sahip araçlardır. Alınan görüntülerin mekânsal çözünürlüğünün son derece iyi olması, uydu görüntülerine göre daha güncel olması ve radyometrik çözünürlük açısından hassas olması, çıktı verilerinin güvenilirliğini de doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında, İHA ve CBS sistemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar irdelenmiş ve gelecekteki beklentiler sunulmuştur.

2. İHA VE SENSÖRLER

Askeri tip olmayan İHA sistemlerinin ana hedefi, üzerinde taşıdıkları faydalı yükler ile veri elde etmektir (Fahlstrom vd., 2022). İHA'ların gerçekleştireceği görevin gerekliliklerine bağlı olarak faydalı yükler çeşitlilik göstermektedir. İHA sistemlerinde genel olarak bilgi toplayıcı, iletişim sağlayıcı, navigasyon ve yönlendirme amaçlı faydalı yükler bulunabilir. Bilgi toplayıcı faydalı yükler arasında da en yaygın kullanılan sensörler elektro-optik sensörlerdir (Villi & Yakar, 2022). Elektro-optik sensörler genellikle görüntü formatında veriler toplayan sistemlerdir. Bu sistemlerin sivil amaçlı kullanımlarında genellikle görüntü formatlarında veriler elde edilmektedir. Bu veriler ise çoğunlukla CBS'nin veri kaynağını oluşturmaktadır.

Dünya pazarı incelendiğinde CBS tabanlı İHA sistemlerinin pazar payı 2022 yılı itibarıyla 300 milyon dolar olmuştur ve 2023 yılı için 349.5 milyon dolar olması beklenmektedir. Ayrıca 2033 yılı beklentileri de yaklaşık 1.6 milyar dolardır. Küresel İHA pazarının %31'ini oluşturan CBS tabanlı İHA sistemleri her sene yaklaşık %16.5 büyümeye göstermektedir (Factmr, 2022).

2.1. İHA Türleri

İnsansız hava araçları için çeşitli kurumlar ve araştırmacılar birçok sınıflandırma yöntemi ortaya atmışlardır. İHA'nın motor ve kanat tipine, yakıt tipine, menziline, irtifasına veya ağırlığına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Örneğin Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA'ları ağırlığına göre sınıflandırmış ve bir talimatname yayınlamıştır (SHGM, 2020). Bento (2008) ise İHA'ları görevlerine göre sınıflandırmıştır (Tablo 1, 2).

Tablo 1. SHGM İHA Sistemleri Talimatnamesi 'ne göre İHA'ların sınıflandırılması

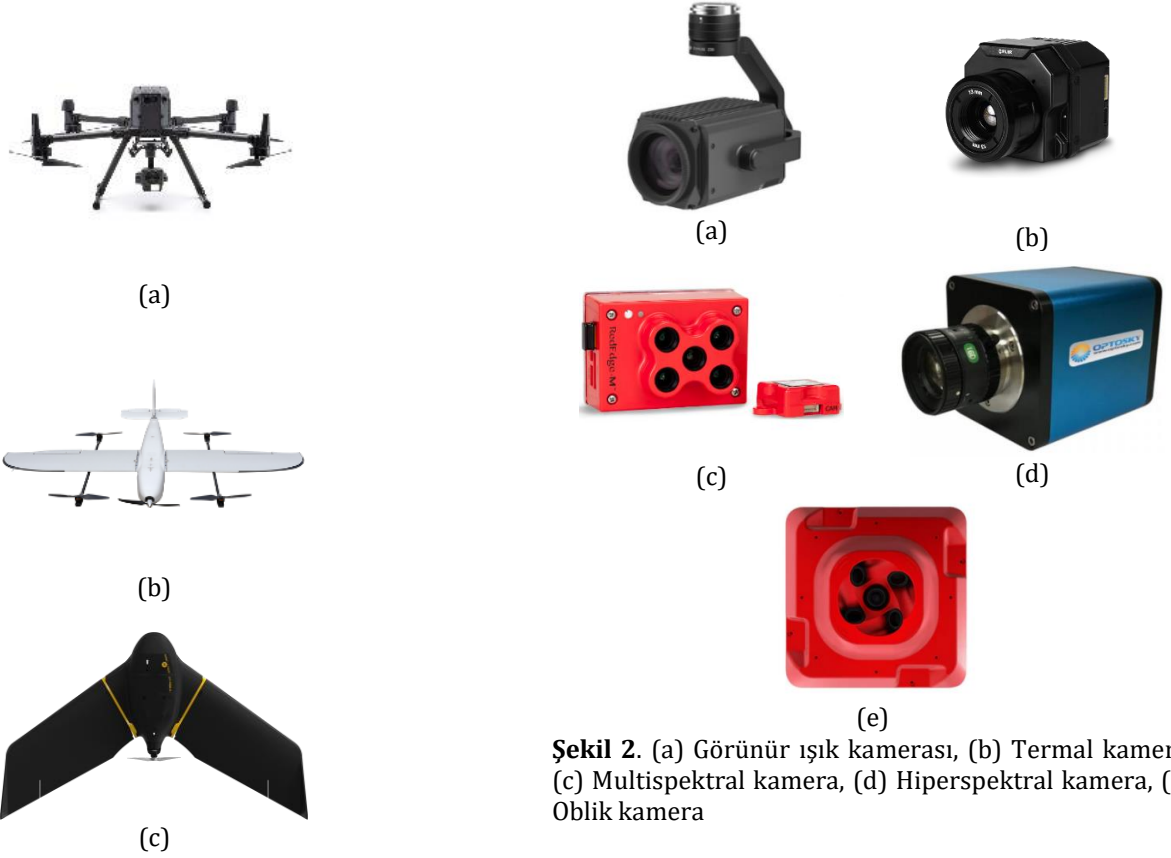
Tip	Ağırlık
İHA0	500 gr - 4 kg
İHA1	4 kg - 25 kg
İHA2	25 kg - 150 kg
İHA3	>150 kg

Tablo 2. İHA'ların (sivil, askeri, bilimsel, endüstriyel ayırt etmeksizin) sınıflandırılması (Bento, 2008)

	C	W	R	T	L
Mikro	Mikro	0.10	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktiksel	Çok Yakın Menzil	150	3000	2-4	10-30
	Yakın Menzil	200	3000	3-6	30-70
	Orta Menzil	150-500	3000-5000	6-10	70-200
	Uzun Menzil	-	3000-5000	6-13	200-500
	Dayanıklı	500-1500	5000-8000	12-24	>500
	Orta İrt.-Uzun Dayanıklı	1000-1500	5000-8000	24-48	>500
Stratejik	Yüksek İrtifa-Uzun Dayanıklı	2500-12500	15000-20000	24-48	>2000
	Muharip	250	3000-4000	3-4	>2000
Göreve Özel	Yem	250	50-5000	<4	0-500
	Stratosferik	-	20000-30000	>48	>2000
	Stratosfer Dışı	-	>30000	-	-

Kanat tiplerine göre sınıflandırma söz konusu olduğunda sabit kanat, döner kanat ve hibrit kanat tipli İHA tasarımları mevcuttur. Motor tiplerine göre sınıflandırma söz konusu olduğunda içten yanmalı ve elektrik motorlu tasarımlar, yakıt türlerine göre sınıflandırmada elektrikli ve sıvı yakıtlı sistemler, menzillerine göre incelendiğinde ise çok yakın, yakın, orta, uzun menzilli İHA modelleri mevcuttur.

Sivil amaçlı İHA sistemlerinde en yaygın kullanılan sınıflandırma kanat türlerine göre yapılan sınıflandırmadır. Sabit kanatlı İHA modelleri kanat yapıları gereği aerodinamik açıdan oldukça verimlidir ve uzun süreler havada kalabilmektedir. Ayrıca kanat yüzey alanı ve kanat açıklığına bağlı olmakla birlikte yüksek faydalı yük kapasiteleri mevcuttur. Ancak havada asılı kalma, iniş-kalkış esnasındaki problemler, maliyet ve erişebilirlik açısından döner kanat İHA modellerine göre dezavantajlıdır. Uçuş yapılacak alanın büyüklüğü, taşınacak sensörlerin ağırlığı, uçuş süresi isterleri göz önüne alınarak İHA tipleri tercih edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. (a) Döner kanat, (b) Hibrit tip, (c) Sabit kanat tiplerine sahip İHA türleri

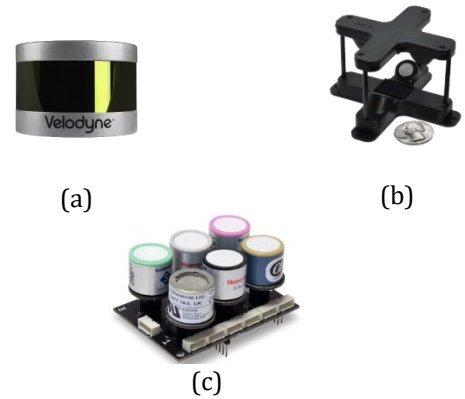
Bazı kaynaklarda ise İHA'lar uçuş kabiliyetlerine göre sınıflandırılmaktadır. Eğer İHA tamamen İHA operatörü tarafından kontrol edilebiliyorsa Seviye 0, İHA irtifasını koruyabiliyor ancak diğer tüm kontroller İHA pilotunda ise Seviye 1, İHA otonom kabiliyete sahip ancak büyük oranda İHA operatörü etkin ise Seviye 2, İHA büyük oranda otonom ancak İHA operatörünün gözleminde etkin ise Seviye 3, İHA tamamen otonom kabiliyete sahip ancak gerekli olduğunda İHA operatörü müdahale edebilir durumdaysa Seviye 4, İHA herhangi bir operatöre hiç ihtiyaç duymadan görevini yerine getirebiliyorsa Seviye 5 olarak sınıflandırılmaktadır. Sivil amaçlı İHA sistemlerinin birçoğu Seviye 3 ve Seviye 4 sınıfında yer almaktadır. Seviye 5 İHA türüne ulaşmadaki temel sorun ise ülkelerin kanun ve regülasyonlarıdır (Gislounge, 2021).

2.2. İHA Sensör Türleri

İHA üzerlerine entegre edilen, uçuş alanına ve uçuşa ait çeşitli formatlarda verileri toplayan, işleyen ve/veya kaydeden sistemlere İHA sensör sistemleri veya faydalı yük isimleri verilmektedir (Yakar vd., 2023). Gerek askeri gerekse sivil kullanımlarda en yaygın kullanılan faydalı yükler elektro-optik sistemlerdir. Görüntü veya video formatlarında veri toplayan elektro-optik sistemler, nesnelerin ışık yansıma değerlerini kaydetmekte ve insan gözünün görebileceği formata dönüştürmektedirler. Yaygın olarak kullanılan türleri arasında görünür ışık kameraları, termal kameralar, multispektral kameralar, hiperspektral kameralar, oblik kameralar yer almaktadır (Şekil 2).

Şekil 2. (a) Görünür ışık kamerası, (b) Termal kamera, (c) Multispektral kamera, (d) Hiperspektral kamera, (e) Oblik kamera

İHA'lar üzerine entegre edilebilen diğer sensör türleri arasında ise LiDAR sensörler (Laser Detection and Ranging), gaz yoğunluk ölçüm sensörleri, meteorolojik sensörler, radyoaktivite ölçüm sensörleri gibi sistemler vardır (Şekil 3).



Şekil 3. (a) LiDAR sensör, (b) Meteorolojik sensör, (c) Gaz ölçüm sensörü

3. CBS

CBS, coğrafi verileri toplamak, yönetmek, analiz etmek, görselleştirmek, paylaşmak ve saklamak için kullanılan sistemler bütünü olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca Dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. problemlerin çözülmesine yönelik mekan/konuma dayalı karar destek süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmaktadır (Wikipedia, 2022; Esri, 2023; Başarsoft, 2023; Tecim, 2008).

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, CBS'nin etkin kullanımı birçok problemi daha iyi anlamayı ve problemlere analitik çözümler üretmeyi mümkün kılmaktadır. CBS'nin çözüm üretebildiği veya

kullanıcılara karar destek sistemi olarak yardımcı olduğu bazı problemler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. CBS uygulamaları ile analiz edilebilen bazı örnek durumlar

Yatırıma uygun alanların tespiti
Heyelan bölgelerinin tespiti
Deprem toplanma alanlarının tespiti
Baraj inşaatı için uygun yer seçimi
Hastane, okul, sanayi kuruluşları için yer tespiti
En kısa rota planlamaları
Güneş enerji santralleri için yer tespiti
Rüzgâr türbinleri için yer tespiti
Sel, taşkın vb. gibi afetlerin analizi
Sulama stratejisi geliştirme
Arazi kullanımı analizleri
Meteoroloji ile ilgili analizler
Trafik ile ilgili analizler
Çevre ve şehircilik kapsamında yapılan analizler

CBS sistemleri birçok donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte donanımların erişilebilirliği ve kapasiteleri oldukça artmıştır. Güncel herhangi bir bilgisayar sistemi bile CBS yazılımlarını kolaylıkla yürütebilmektedir. Sıklıkla kullanılan ve yukarıda bahsedilen problemlerinin analizlerinde kullanılan bilgisayar yazılımlarına aşağıda yer verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Günümüzde sıklıkla tercih edilen CBS bilgisayar yazılımlarından bazıları

Uygulama Adı	Özellikleri
Arc/Info	Harita otomasyonu, veri dönüşümleri, sorgulama, topografik analiz vb.
QGIS	Veri görüntüleme, veri düzenleme, raster ve vektör veri işlemleri, sorgulama vb.
ArcView GIS	Raster ve vektör veri sorgulama, düzenleme, çapraz platformlarda çalışabilme vb.
SDE	Coğrafi veri depolama, veri yönetimi, veri analizi vb.
MapObjects	Harita oluşturma, veri görselleştirme, CBS programları oluşturma vb.
ArcIMS	Veri kaynaklarını görüntüleme, düzenleme, sorgulama vb.
MicroStation	Konumsal analizler, 3 boyutlu modelleme, animasyon vb.
MapInfo	Veri görselleştirme, analiz etme, düzenleme, sorgulama, çıktı alma gibi çok çeşitli işlemlerin yapılmasına olanak sağlayan GIS yazılımı.
Netcad GIS	Veri görselleştirme, veri sorgulama, harita çizimi, halihazır harita üretimi, imar planı çizimi vb.

4. İHA VE CBS UYGULAMALARI

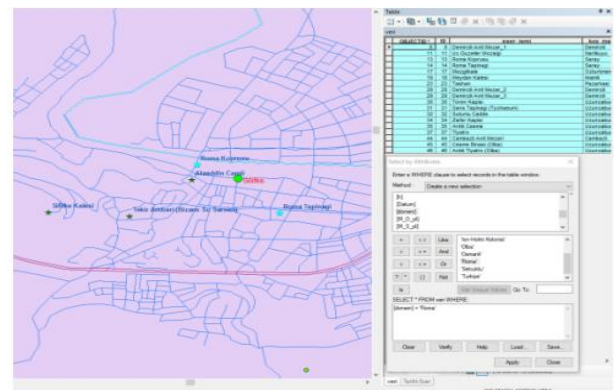
İHA sistemlerinin, CBS' nin kullanıldığı uygulamalar için önemi son yıllarda oldukça artmıştır. Devlet kurumlarının yanı sıra özel kurum ve kuruluşlar tarafından da kullanılan İHA ve CBS sistemlerinin uygulama alanları her geçen gün genişlemektedir. İHA teknolojisi ölçme ve haritalama, tarihi ve mimari araştırmalar, güvenlik uygulamaları, yaban hayatının izlenmesi, afet izleme ve afet analizi gibi birçok CBS uygulamasında hâlihazırda kullanılmaktadır (Lifeingis, 2023).

CBS sistemlerinin ihtiyaç duyduğu coğrafi veriler birçok kaynaktan elde edilmektedir. Ancak elde edilecek sonuçların doğruluğunun ve çözünürlüğünün yüksek olması istendiğinde girdi verilerinin de kalitesi aynı oranda yüksek olması istenir. Uydulardan alınan görüntüler çoğu zaman mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük açısından İHA görüntülerine göre yetersizdir. Bu yüzden çok büyük olmayan alanların analizlerinde, İHA görüntüleri daha hassas sonuçlar üretebilmektedir. Literatür incelendiğinde, İHA görüntüleri kullanılarak oluşturulan CBS sistemlerinin başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir.

Yakar & Doğan (2018) çalışmalarında kültürel mirasların 3Bmodellemesinin önemine değinmişlerdir. Çalışmalarında İHA ve CBS sistemlerinin entegre ve etkin kullanım örneklerine değinen araştırmacılar Mersin İli Silifke İlçesi' nde bulunan 46 tarihi yapıya ait verileri toplamışlardır. Bu tarihi yapılardan bazılarının 3B modellerini oluşturarak bu yapıların durumunun tespiti, belgelenmesi korunması ve restorasyon çalışmaları için altlık harita şeklinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır (Şekil 4, Şekil 5).

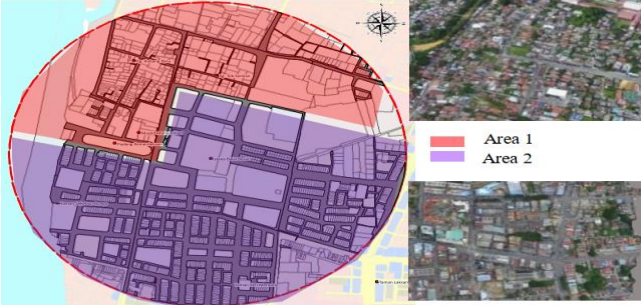
QGIS ID	eser_ismi	soy_mahalle	Y_3	X_3	Y_6	X_6	phi	lambda	h	Datum	dogum
1	Meryem Ana Kilesesi	Nerliya	56905	402459	58098	402297	30°28'22"87	34°6'18"14	196.38	WGS84	Bucara
2	Ayaz Tepe	Iskaidem	56557	402677	58354	402468	30°21'40"38	33°59'52"45	116.62	WGS84	Bucara
3	Agrofidias Anıtı Kenti	Vesilivrcok	56213	400323	56210	401163	30°6'20"85	33°41'25"67	59.16	WGS84	İon-İstemi Kocoma
4	Camibasi Kilesesi	Camibasi	56048	404691	59244	404020	30°24'20"25	34°11'59"72	975.15	WGS84	Bucara
5	Karakabasi Anıtı Kenti	Karakabasi	58110	403380	59106	403219	30°25'50"23	34°6'57"46	446.44	WGS84	Bucara
6	Kubeler	Karakabasi	58913	403626	58910	404464	30°27'10"40	33°59'30"61	601.41	WGS84	Bucara
7	İskale Anıtı Kenti	Karakabasi	58925	403480	59031	403319	30°28'20"80	34°6'27"79	506.43	WGS84	Bucara
8	Demirci Anıtı Bazarı	Demirci	58587	403545	58584	403383	30°28'45"28	33°57'32"25	791.44	WGS84	Roma
9	Uzuncaharı (Olaslı) Anıtı Kenti	Uzuncaharı	40385	405074	60201	404869	30°35'11"48	33°55'37"48	1246.19	WGS84	İstankisi
10	Oba Anıtı Kenti	Uzuncaharı	58638	405081	58635	404819	30°35'3"42	33°57'54"97	1244.18	WGS84	İstankisi
11	Üç Çukürler Müzesi	Nerliya	58975	403388	58971	403195	30°25'20"36	34°04'4"14	58.29	WGS84	Roma
12	Tenir Anıtı (Roma Sü. Sarayı)	Sarıya	58266	402781	58262	402569	30°22'22"82	33°55'18"19	84.60	WGS84	Bucara
13	Roma Kapısı	Sarıya	58302	402880	58289	402839	30°22'44"82	33°55'30"80	69.59	WGS84	Roma
14	Roma Tarihçesi	Sarıya	58351	402764	58245	402621	30°22'26"86	33°55'30"58	69.59	WGS84	Roma
15	Salka Kalesi	Pazarbaşı	58230	402788	58227	402685	30°22'24"80	33°55'2"68	206.60	WGS84	Oba
16	Tenir Kalesi	Tahine	58025	401428	58022	401287	30°18'27"57	33°48'14"84	512.02	WGS84	Sarkulu
17	Mergütle	Çatırmenci	58026	402787	58023	402625	30°22'1"81	34°13'7"91	544.36	WGS84	Roma
18	Meryem Kalesi	İmam	58741	404181	58737	403939	30°28'45"24	33°58'22"24	646.33	WGS84	Roma
19	Gökburç	Çarvak	58463	404339	58468	404078	30°38'28"74	34°02'37"84	976.28	WGS84	Bucara
20	Resadyye Camii	Sarıya	58369	402773	58365	402612	30°22'35"82	33°55'57"56	79.59	WGS84	Çamandı

Şekil 4. Tarihi yapıların veritabanı tablosu (Yakar & Doğan, 2018)



Şekil 5. ArcGIS CBS yazılımı üzerinde sorgulama işlemi (Yakar & Doğan, 2018)

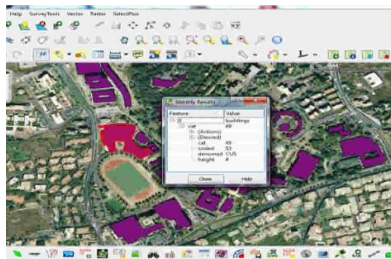
Noor vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada Phantom 3 model döner kanat insansız hava aracı kullanarak Malezya'da bulunan Kota Bharu bölgesinden görüntüler toplamışlardır. Topladıkları 793 adet İHA görüntülerini, Agisoft fotogrametrik değerlendirme yazılımında işlemişler ve 3B şehir modeli oluşturmuşlardır. Uçuş planını hazırlarken Pix4DCapture uygulamasını kullanmışlar ve %80 dikey, %65 yatay bindirme ayarlarını kullanmışlardır. Elde ettikleri 3B şehir modeli ile Arcgis 17 CBS yazılımı üzerinde analizler yapmışlardır (Şekil 6).



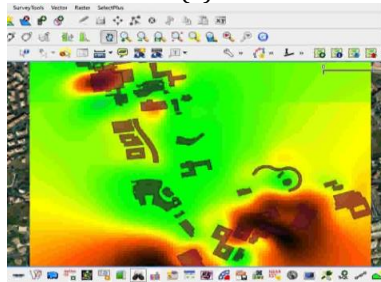
Şekil 6. 3B modellenmiş şehir merkezinin GIS yazılımı üzerinde analizi (Noor vd., 2019)

Çalışmalarında İHA görüntüleri ile oluşturulan güncel 3B haritalama sayesinde imar planlarının verimli oluşturulabileceğini ve tarihsel değişimin izlenebileceğini belirtmişlerdir.

Mangiameli vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada, İHA'ların verimli şekilde veri toplayabilmesi için CBS tabanlı bir uçuş planı hazırlama sistemi geliştirmişlerdir. İHA'ların herhangi bir engelle karşılaşmadan veya topografik kısıtlardan kaçınarak uçuş yapabilmesi için öncelikle raster veriler üzerinde sınıflandırma yapmışlardır. Bina ve yüksek yapılar ile sayısal yükseklik modeli verilerini kullanarak İHA uçuş planı için haritalar üretmişlerdir. Çalışmalarında QGIS CBS yazılımını kullanmışlar ve Open Layer Kütüphanesi ile WebGIS açık kaynak sistemlerinden faydalanmışlardır (Şekil 7).



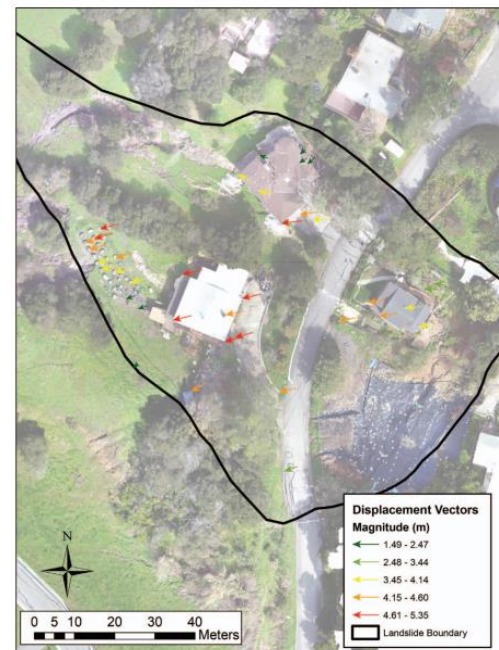
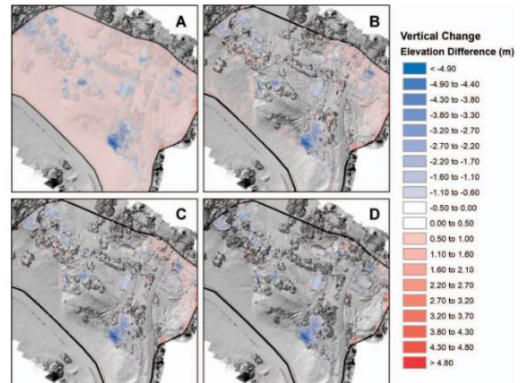
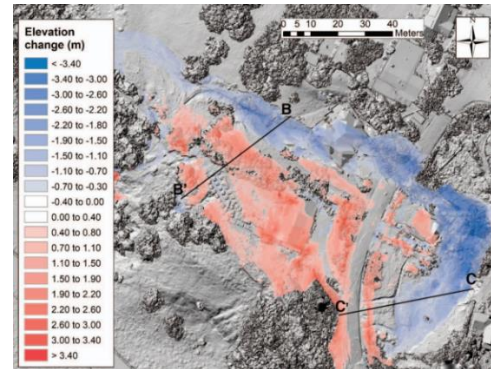
(a)



(b)

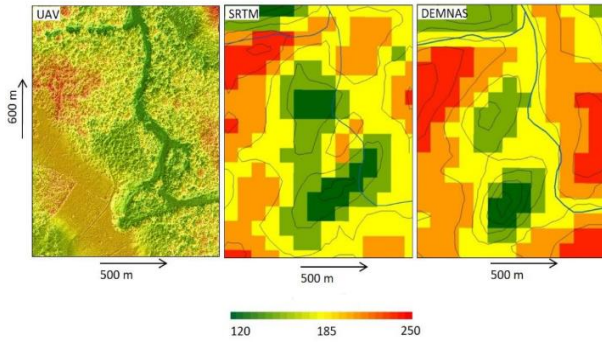
Şekil 7. Açık kaynak İHA uçuş planı hazırlama arayüzü (a) Binaların sınıflandırılması, (b) Sayısal yükseklik modeliyle birlikte oluşan uçuş planı uygunluk haritası) (Mangiameli vd., 2013)

Carey vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada toprak kayması gibi jeomorfik değişimleri izlemek için İHA ve CBS sistemlerinden yararlanmışlardır. Çalışmalarında Phantom 3 model bir döner kanat İHA kullanarak Kaliforniya yakınlarındaki bir alandan görüntüler toplamışlardır. Bu görüntüleri Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımında işleyerek sayısal yükseklik modelleri elde etmişlerdir. Farklı zaman periyotlarında oluşturulan sayısal yükseklik modellerini ArcMap CBS yazılımında karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yatay ve dikey düzlemde meydana gelen değişimler ile bu değişimlerin yönlerini hesaplamışlardır (Şekil 8).

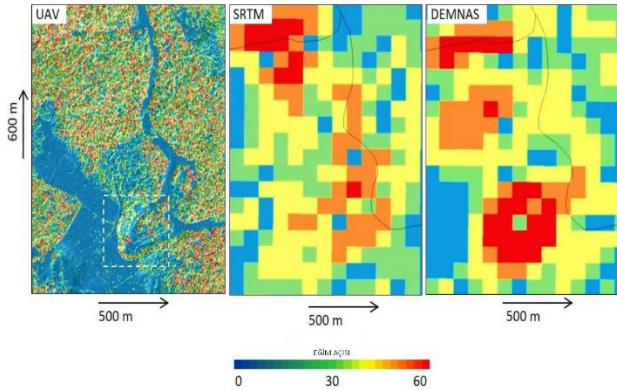


Şekil 8. Jeomorfik değişimler (Carey vd., 2019)

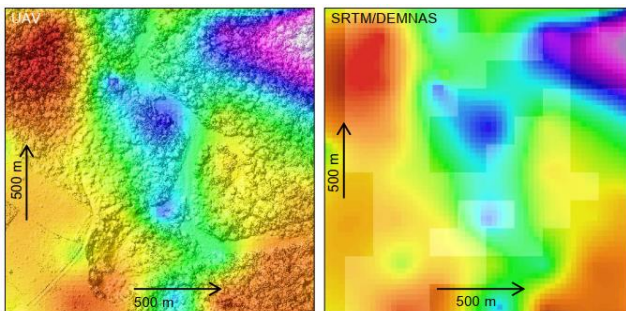
Yanis vd. (2020) yaptıkları çalışmada SRTM ve DEMNAS verileri ile İHA verilerini karşılaştırmışlardır. 30 metre çözünürlüğe sahip SRTM verileri, 8.2 metre çözünürlüğe sahip DEMNAS verileri ve 2.5 santimetre çözünürlüklü İHA verilerinden DEM (digital elevation model) harita oluşturmuşlardır. Aynı zamanda eğim haritası da oluşturmuşlar ve hassasiyetlerini kıyaslamışlardır. Çalışmalarında ayrıca manyetik alan değişim haritasını da oluşturarak olası kömür madeni tespiti için haritalar elde etmişlerdir. Deneylerinde İHA modeli olarak DJI marka Mavic Pro Platinum modeli kullanarak %80-%100 arası bindirme oranıyla, 100 metre irtifadan 630 adet fotoğraflar almışlardır. Bu fotoğrafları Pix4D Mapper fotogrametrik değerlendirme yazılımında işleyerek yoğun nokta bulutu, ortomozaik görüntü ve sayısal yükseklik modeli elde etmişlerdir. Elde ettikleri görüntüleri ArcGIS 10.5 CBS yazılımına aktarmışlardır. STRM ve DEMNAS verilerini de ArcGIS 10.5 yazılımına aktararak bu 3 görüntüyü çeşitli yönleriyle kıyaslamışlardır (Şekil 9-11).



Şekil 9. İHA, SRTM ve DEMNAS verileriyle oluşturulan DEM haritası (Yanis vd., 2020)



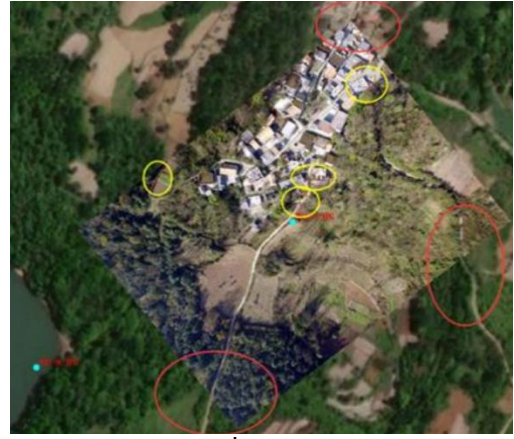
Şekil 10. İHA, SRTM ve DEMNAS verileriyle oluşturulan eğim haritası (Yanis vd., 2020)



Şekil 11. İHA, SRTM ve DEMNAS verileriyle oluşturulan manyetik alan değişim haritası (Yanis vd., 2020).

Çalışmalarının sonucunda, küçük bölge analizlerinde veya büyük ölçekli altlık harita oluşturma süreçlerinde, İHA görüntülerinin uydu verilerine göre oldukça başarılı ve hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Wang vd. (2020) çalışmalarında raster türdeki İHA fotoğraflarının hızlı şekilde jeoreferanslanmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Klasik yöntemlerde uzun zaman alan bu süreci hızlandırmak için, bir Python programlama kütüphanelerinden faydalanmışlardır. Fotoğrafların düzenlenmesi ve uygun şekilde klasörlenmesi için PyCharm kütüphanesinden, fotoğrafların koordinat sistemi düzenlemeleri ve birleştirilip shape dosyası oluşturulması işlemleri için Arcpy kütüphanesinden yararlanmışlardır. ArcGIS CBS yazılımı üzerindeki Python komut terminalini kullanarak 11320 İHA görüntüsünü birleştirip koordinatlandırarak ArcGIS CBS ortamına aktarmışlardır ve çalışmaları sonucunda, klasik yöntemlere göre %70 zaman tasarrufu elde ettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 12).



Şekil 12. 11320 adet İHA fotoğrafının ArcGIS CBS yazılımı ortamına aktarılması ve coğrafi düzeltme işlemi (Wang vd., 2020)

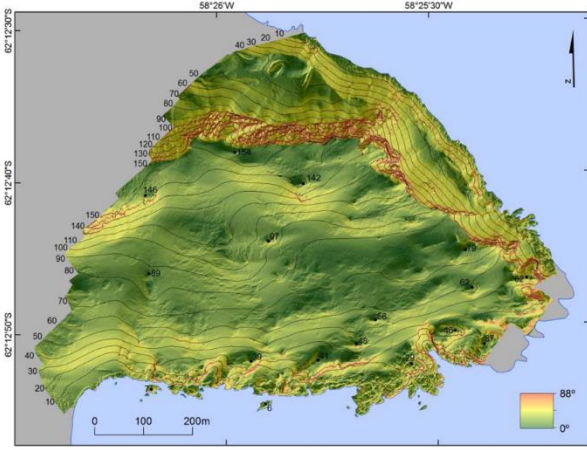
(Dabski vd., 2017), Antarktika'da bulunan Kral Georgia Adası'nın Demay Buzulu noktasında araştırmalarda bulunmuşlardır. İklim değişikliğinin izlenmesi için yaptıkları çalışmalarda PW-ZOOM model bir sabit kanatlı İHA ile görüntüler toplamışlardır (Şekil 13).



Şekil 13. Çalışmada kullanılan PW-ZOOM model sabit kanatlı İHA

350 metre irtifadan %70 dikey, %60 yatay bindirme oranıyla toplamda 766 adet fotoğraf toplamışlar ve

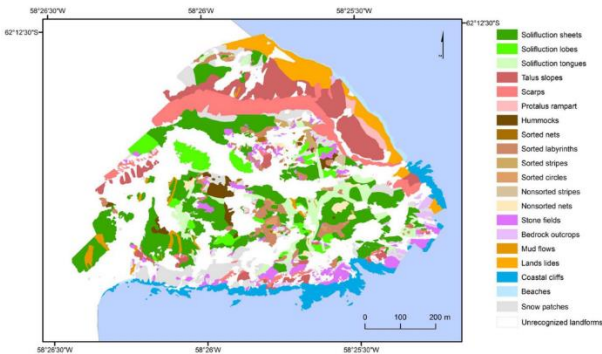
topladıkları fotoğrafları Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımında birleştirerek ortofoto görüntü elde etmişlerdir. Bu ortofoto görüntüyü ise ArcGIS 10.3 CBS yazılımına aktarmışlardır. Eğim, bakı ve kontur analizlerini ArcGIS üzerinde yer alan spatial analiz aracıyla gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca 3B görselleştirme için ArcScene 10.3 yazılımından faydalanmışlardır (Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16).



Şekil 14. Çalışma alanının ArcGIS hillshade (kabartma) aracıyla oluşturulması (Dabski vd., 2017)



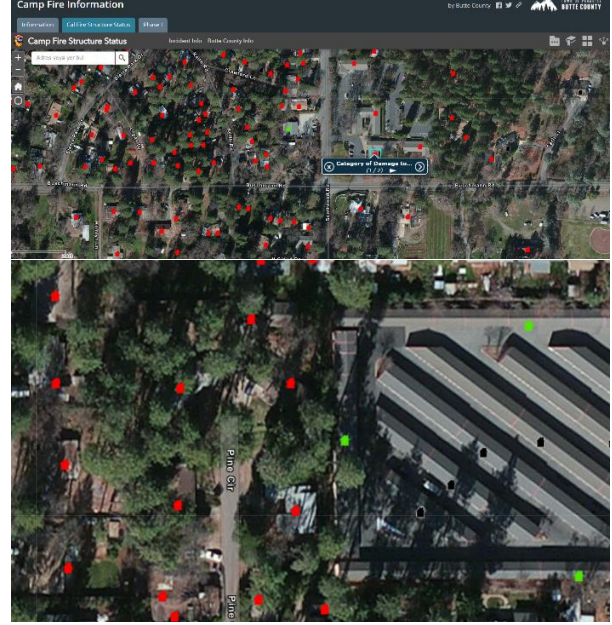
Şekil 15. Çalışma alanının ArcScene ile 3B oluşturulması (Dabski vd., 2017)



Şekil 16. Çalışma alanının ArcGIS araçları ile sınıflandırılmış sonuç görüntüsü (Dabski vd., 2017)

Araştırmacılar çalışma sonucunda, uydu görüntüleri yerine yüksek çözünürlüklü ve güncel İHA görüntüleri kullanarak çok daha hassas veriler elde edilebileceğini, özellikle iklim değişimi izleme çalışmaları gibi hassas konularda İHA görüntülerinin kullanımının daha doğru sonuçlar ortaya koyabileceğini belirtmişlerdir.

İHA'lar acil durum yönetimi açısından birçok alanda kullanılmaktadır. Geniş alanları hızlı bir şekilde tarayabilmekte ve afet yönetimi konusunda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. 2018 yılında Kaliforniya'da meydana gelen bir kamp yangınına ait alanın haritalanması ve CBS sistemine entegre edilmesi sayesinde felaketlerin analizi hakkında birçok sonuç elde edilebilmiştir. Ayrıca Kaliforniya Ormanlık ve Yangından Korunma Departmanı, kendi sorumluluk alanlarında tespit edilen yangınları anlık olarak CBS sistemlerine entegre ederek diğer insanların haberdar olmasını ve korunmaları için çevrimiçi CBS sistemi (Şekil 17) geliştirmektedirler (CA, 2023; PSU, 2023).

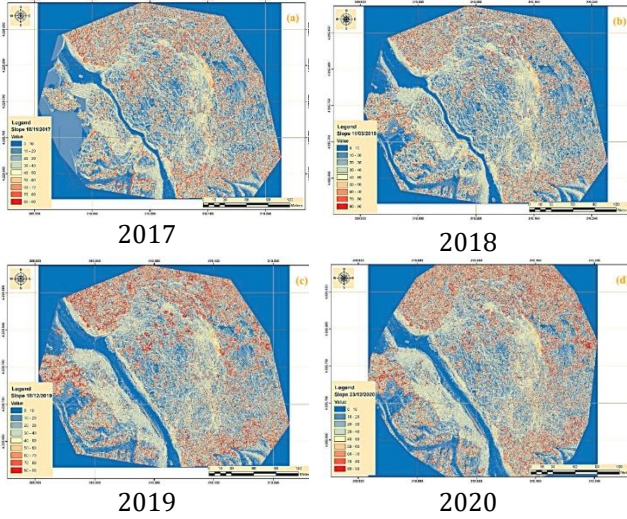


Şekil 17. Çevrimiçi yangın izleme ve korunma CBS sistemi

Fukano vd. (2021) yaptıkları çalışmada ürün verimliliğini hesaplamak için DJI Inspire 1 model döner kanat İHA ve multispektral kamera ile Litchi uçuş planı hazırlama uygulaması kullanarak 30 metre irtifadan görüntüler toplamışlardır. Toplanan görüntüleri Pix4D Mapper fotogrametrik değerlendirme yazılımında birleştirmişlerdir. Şubat, Mart ve Nisan aylarına ait verileri periyodik olarak toplayarak ortomozaik görüntü, sayısal yükseklik modeli ve NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: Normalized edilmiş fark bitki örtüsü indeksi) görüntü oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri istatistiksel metod (GAUSS: GIS based Analysis UAV-Supported Field Study) ile buğday ve soya fasulyesi verim tahminlerinde başarılı sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

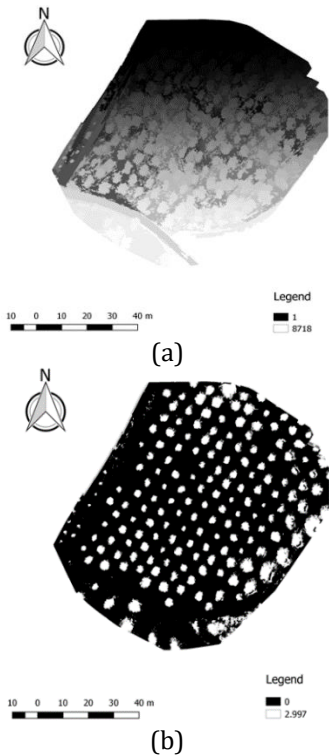
Kyriou vd. (2021) yaptıkları çalışmada, Yunanistan'ın batı kesimlerinde olası bir heyelan felaketini araştırmak için İHA ve CBS sistemlerinden faydalanmışlardır. DJI Matrice 600 ve DJI Phantom 4 model döner kanat İHA modelleri ile 110 metre irtifadan uçuş gerçekleştirmişlerdir. %90 dikey ve %75 yatay bindirme kullanarak 2017-2020 yılları arasında 25 uçuş yaparak görüntüler toplamışlardır. Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımı kullanarak sayısal yükseklik modeli ve ortofoto oluşturmuşlar ve farklı zamanlara ait görüntüleri kıyaslamışlardır.

Çalışmalarının sonunda değişen koordinatları ve değişme yönlerini MATLAB bilgisayar yazılımı ve Arcgis CBS yazılımları kullanarak hesaplatmışlardır. Son olarak sayısal yükseklik modelleri, eğim haritaları ve vejetasyon haritaları arasındaki değişimleri analiz etmişlerdir (Şekil 18).



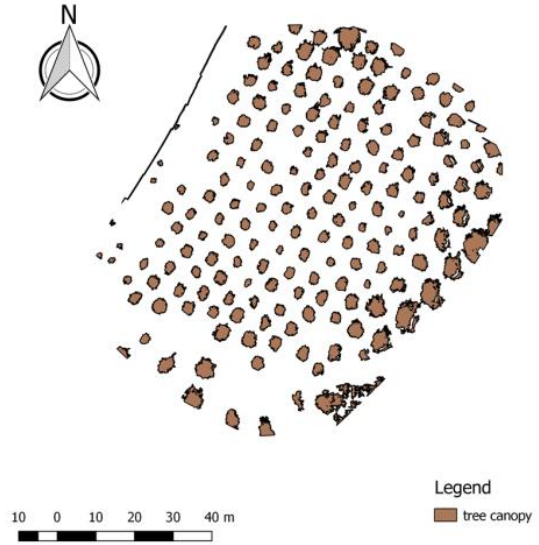
Şekil 18. Farklı senelere ait eğim haritası (Kyriou vd., 2021)

Duarte vd. (2022) yaptıkları çalışmada zeytin fidanlarının, okalıptüs ağaçlarının ve üzüm bağlarının olduğu bir çalışma alanı için analiz uygulaması geliştirmişlerdir. 3RD Solo model döner kanat İHA ve Micasense Rededge model multispektral kamera ile görüntüler toplamışlardır. Açık kaynak CBS platformu olan QGIS programı üzerinde Python 2.7 versiyonunu ve PyQt4 arayüz geliştirme kütüphanesini kullanarak ağaç tacı çıkarımı uygulaması geliştirmişlerdir (Şekil 19, 20).



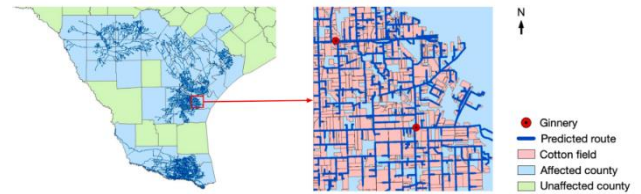
Şekil 19. (a) Segmente edilmiş zeytin fidanlığı görüntüsü, (b) Zeytin fidanlığı NDVI indeks görüntü

üzerinde denetimsiz öğrenme algoritması kullanarak sınıflandırılmış görüntü (Duarte vd., 2022)



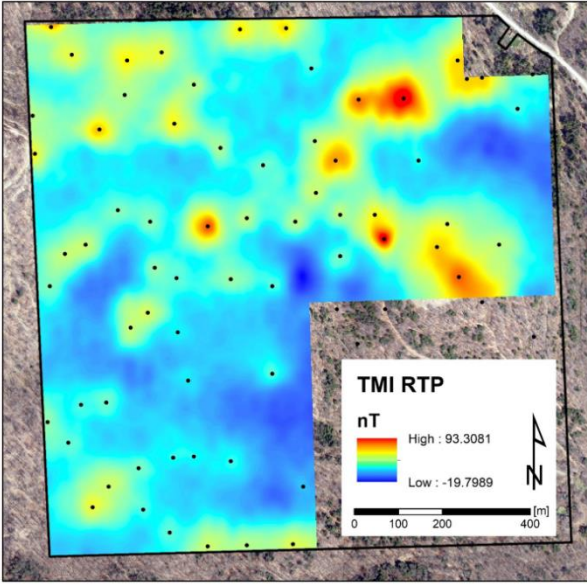
Şekil 20. Ağaç taçlarının shapefile olarak çıkarımı (Duarte vd., 2022)

Pamuk bitkisi yetiştirilen bölgelerde, hasat sonrası çıkan ve kaliteyi düşüren zararlı pamuk bitkilerinin temizlenmesi oldukça önemlidir. (Wang vd., 2022) yaptıkları çalışmada Texas bölgesindeki çalışma alanları üzerinde (30 metre irtifadan) İHA ile görüntüler toplamışlar (DJI Matrice 100 ve multispektral kamera ile) ve çeşitli sınıflandırma yöntemleriyle "volunteer cotton" adı verilen bu bitkilerin temizlenmesi için CBS sistemlerinden faydalanmışlardır. Bu bitkilerin CBS sisteminde koordinatlı şekilde kayıt altına alınması ve bitkilerin kısa zamanda temizlenebilmesi için rotalar hesaplamışlardır (Şekil 21).



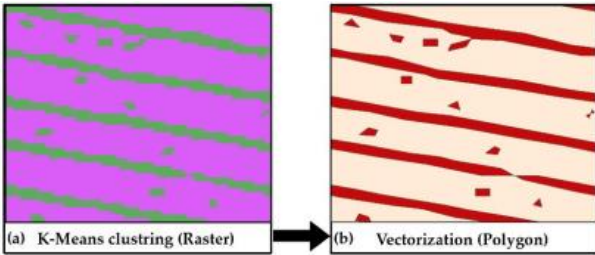
Şekil 21. "Volunteer cotton" bitkilerinin temizlenmesi için CBS yazılımı üzerinde (Arcgis 10.5) oluşturulan rotalar (Wang vd., 2022)

De Smet vd. (2021) New York'ta bulunan eski petrol ve gaz kuyularını bulmak için aero-manyetik araştırmalar için İHA ve CBS sistemlerinden faydalanmışlardır. QGroundControl uçuş planlama yazılımını kullanarak uçuş rotası oluşturmuşlar ve DJI Matrice 600 döner kanat tip İHA kullanmışlardır. Çalışmalarında yersel ölçümler de kullanan araştırmacılar, sayısal yükseklik modeli, sayısal engel modeli, manyetik alan yoğunluk haritası gibi çıktılar oluşturarak analizler yapmışlardır (Şekil 22).



Şekil 22. Yersel ölçümlerle birlikte değerlendirilen sonuç haritası (De Smet vd., 2021)

Fareed & Rehman (2020) yaptıkları hassas tarım çalışmasında, ekim sıralarının analizi üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında DJI Mavic 2 Pro model döner kanat İHA kullanarak %70 yatay ve dikey bindirme oranlarıyla görüntüler toplamışlardır. Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımı ile yoğun nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto görüntü elde etmişlerdir. ArcGIS 10.7 CBS yazılımı üzerinde ise sınıflandırma çalışmalarını yürütmüşlerdir. Ekim sıralarının raster ve vektör veri haline getirilmesiyle birlikte çalışmalarını tamamlamışlardır. Çalışmalarının sonunda, ekim sıralarının hatasız olmasının ürün verimine olumlu etkisi olduğunu ve olası hataların erken tespitinin mümkün kılındığını belirtmişlerdir (Şekil 23).



Şekil 23. Ekim sıralarının raster ve vektör olarak işlenmesi (Fareed & Rehman, 2020)

Dewanto vd. (2020) yaptıkları çalışmada İHA verileri kullanarak, kent modelini ve güneş enerji potansiyel haritasını çevrimiçi ortama 3B olarak aktarmışlardır. Çalışmalarında 1050mm kanat açıklığına sahip sabit kanatlı bir HAWK model İHA kullanmışlardır. İHA üzerinde Pixhawk 2.1 uçuş kontrolcüsü tercih etmişler ve MissionPlanner uçuş planı yazılımı üzerinden parametreleri ayarlamışlardır. Revit, Google Sketchup ve ArcGIS Pro CBS yazılımı kullanarak 3B bina modelleri ve solar radyasyon potansiyelini oluşturmuşlardır. Sayısal yükseklik modeli tabanlı solar radyasyon haritası ile 3B şehir haritasını birleştirerek WebGIS üzerinden yayınlamışlardır (Şekil 24, 25).



Şekil 24. DSM tabanlı solar radyasyon görüntüsü (Dewanto vd., 2020)



Şekil 25. WebGIS ortamına aktarılmış solar radyasyon ve 3B şehir modeli (Dewanto, 2020)

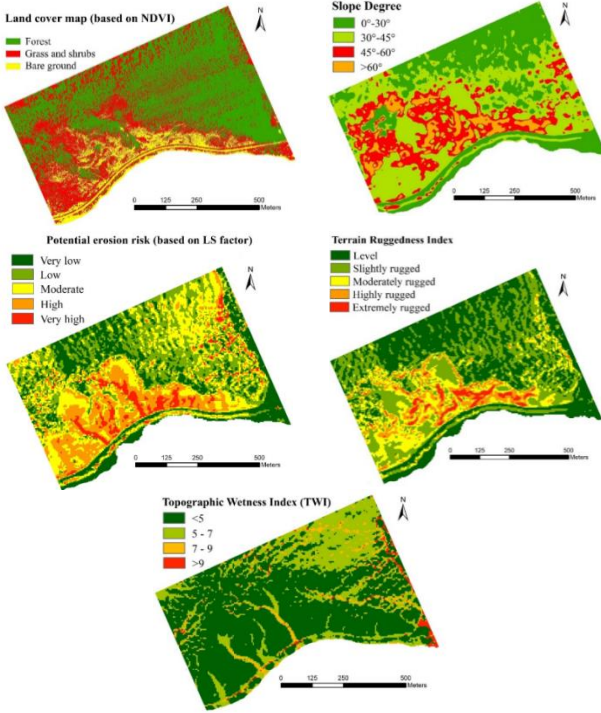
(Koçyiğit vd., 2022) yaptıkları çalışmada, Mersin Anamur İlinde yer alan Anemurium Antik Kentini İHA görüntüleri kullanarak CBS platformuna aktarmışlardır. Çalışmalarında Phantom 3 model bir döner kanat İHA kullanmışlar ve 649 adet fotoğraf toplamışlardır. %60 boyuna ve %80 enine bindirme ile topladıkları görüntüleri Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımında işlemişlerdir. Birleştirilen görüntülerden elde ettikleri ortofoto görüntüyü ArcMap 10.4 CBS yazılımına aktarmışlar ve ilişkili coğrafi veritabanı oluşturmuşlardır. Bu sayede çalışma alanındaki tüm taşların, yolların envanter çalışmalarını yapmışlar ve arkeolojik alanların yönetimine katkı sunacağını belirtmişlerdir (Şekil 26).



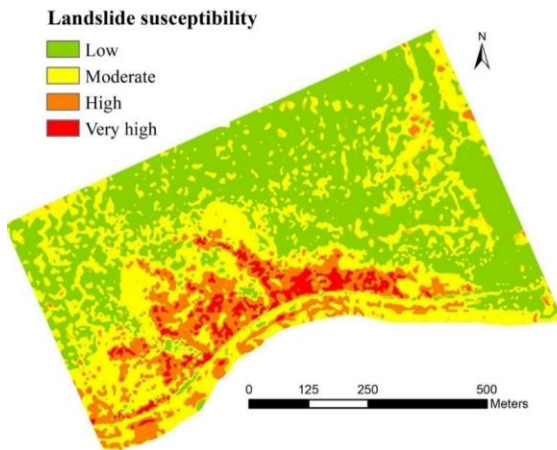
Şekil 26. Tarihi yapıların CBS ortamına ilişkisel veritabanıyla aktarılması (Koçyiğit vd., 2022)

Gantimurova vd. (2021) çalışmalarında, tarihi bir demiryolu olan ve Rusya'da bulunan Circum-Baykal hattının heyelan oluşabilecek bölgelerini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında SibGIS model bir döner kanat İHA kullanmışlardır. İHA üzerine hem görünür ışık kamerası hem de Mapir Survey 3 model multispektral kamera entegre etmişlerdir. 125 metre irtifadan %70-80

dikey, %60-70 yatay bindirme oranlarıyla görüntüler toplamışlardır. Vejetasyon alanları ile kayalık alanların sınıflandırılmasının hassasiyeti için multispektral kameranın farklı bantlarından faydalanmışlardır. AHP (Analytic Hierarchy Process: Analitik Hiyerarşi Prosesi) metodu kullanarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturmuşlar ve eğim açısı, arazi kullanımı, erozyon riski, arazi sağlamlık indeksi ve topografik ıslaklık indeksi verilerini kullanarak sınıflandırmayı tamamlamışlardır. CBS sistemleri olarak QGIS, SAGA GIS ve ArcGIS kullanan araştırmacılar heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır (Şekil 26, 27).



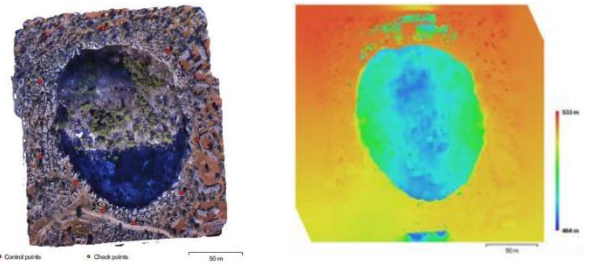
Şekil 26. AHP için kullanılan haritalar (Arazi kullanımı, eğim, erozyon riski, arazi sağlamlık indeksi, arazi ıslaklık indeksi haritaları) (Gantimurova vd., 2021)



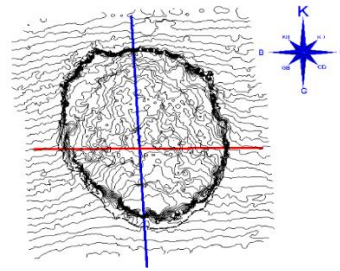
Şekil 27. Heyelan duyarlılık haritası (Gantimurova vd., 2021)

Yakar & Doğan (2017) çalışmalarında Mersin İli Silifke İlçesinde bulunan Aşağı Dünya Obruğu 'nun 3B modellenmesi için İHA ve CBS sistemlerinin avantajlarından faydalanmışlardır. Çalışmalarında Phantom 3 model döner kanat bir İHA kullanmışlar ve

Pix4D Capture uçuş planlama uygulaması ile otonom şekilde veriler toplamışlardır. Yatay ve dikeyde %80 bindirme oranıyla 30 metre irtifadan 533 adet görüntü toplayan araştırmacılar obruğun iç yapısı gereği 3B modeli tam olarak elde edememişlerdir. Ancak farklı bir uçuş modu olan "orbit mode-yörünge modu" kullanarak obruğun içi ve yan duvarlarını tam olarak görüntüleyebilmişlerdir. Agisoft PhotoScan fotogrametrik değerlendirme yazılımı üzerinden işlenen görüntüler ile yoğun nokta bulutu oluşturulmuş ve 3DSurvey bilgisayar yazılımı ile kuzey-güney, doğu-batı hattı profili oluşturulmuştur. Son olarak ortofoto görüntü ve sayısal yükseklik modeli oluşturulan obruk detaylıca incelenmiştir. Araştırmacılar, obrukların detaylı analizlerinin tektonik süreçlerin incelenmesi ve anlaşılması adına oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 28, 29).



Şekil 28. Ortofoto görüntü ve sayısal yükseklik modeli (Yakar & Doğan, 2017a)



Şekil 29. Eş yükselti haritası ve profil hatları oluşturulması (Yakar & Doğan, 2017b).

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında İHA ve CBS uygulamalarının birlikte kullanıldığı literatür çalışmaları araştırılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Yapılan çalışmalar İHA kullanımının her geçen gün popülerleştiği, zaman ve maliyet açısından avantajlı hale geldiğini göstermektedir. Özellikle küçük alanlardaki uygulamalar veya hassas sonuçlar istenen çalışmalar için İHA görüntülerinin uydu görüntülerine tercih edildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca uydu görüntülerinin en önemli dezavantajlarından biri olan zamansal çözünürlük konusunda oldukça başarılı olan İHA uygulamalarının, doğal afetlerin izlenmesi ve afet yönetimi uygulamalarında büyük başarımlar elde ettiği görülmektedir. Hassas tarım uygulamalarında ise periyodik görüntüler arasındaki değişimler önem arz etmektedir. İHA sistemleri ile oldukça hızlı şekilde periyodik görüntülerin toplanması ve CBS' ye atlık olması, uydu görüntülerine göre daha hızlı ve analitik sonuçlar ortaya koymuştur.

İHA ile yapılan CBS çalışmalarının en önemli avantajları arasında yüksek mekânsal, radyometrik,

spektral ve zamansal çözünürlük yer almaktadır. Ayrıca uydu görüntülerine göre daha düşük maliyetli çalışmalar yapılabilmektedir. Ancak büyük alanlar söz konusu olduğunda veya özel bir spektral çözünürlük istenen durumlarda İHA sistemleri yetersiz kalmaktadır.

Yapılan çalışmaların güncelliği ve elde edilen sonuçların kalitesi göz önüne alındığında, bahsedilen dezavantajlara rağmen, CBS uygulamalarında İHA kullanımının daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu makalenin ortaya çıkmasında desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen Sayın. Dr. Öğr. Üyesi Lütüfiye Kuşak' a, Sayın Prof. Dr. Murat Yakar'a, her daim yanımda olan eşim Özge'ye, mutluluk kaynağım kızım Eliz'e ve motivasyon kaynağım annem Hacer'e teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Yazar1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazım.

Yazar2: Literatür araştırması, İnceleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Alptekin A, Çelik M Ö, Doğan Y & Yakar M (2019). Mapping of a Rockfall Site with an Unmanned Aerial Vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1), 12-16.
- Alptekin A, Çelik M Ö, Kuşak L, Ünel F B & Yakar M (2019). Anafi Parrot'un Heyelan Bölgesi Haritalandırılmasında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 33-37.
- Alptekin A & Yakar M (2020a). Determination of Pond Volume with Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 59-63.
- Alptekin A & Yakar, M (2020b). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17-21.
- Alptekin A & Yakar M (2021). 3D Model of Üçayak Ruins Obtained from Point Clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3 (2), 37-40. <https://doi.org/10.53093/mephoj.939079>
- Alptekin A & Yakar M (2022). Modelling A Landslide Site Using UAV Photogrammetry in Değirmençay Village, Mersin. *Intercontinental Geoinformation Days*, 4, 196-198.
- Başarsoft (2023). Coğrafi Bilgi SCBS Nedir? [Erişim Tarihi: 06.05.2023], <https://www.basarsoft.com.tr/cografi-bilgi-sistemleri-cbs-nedir/>

- Bento M D F (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *InsideGNSS*, 54-61.
- Bretschneider T R & Shetti K (2015). UAV-Based Gas Pipeline Leak Detection. *In Proc. of ARCS*.
- Ca (2023). Current Emergency Incidents, [Erişim Tarihi: 10.05.2023], <https://www.fire.ca.gov/incidents/>.
- Carey J A, Pinter N, Pickering A J, Prentice C S & Delong S B (2019). Analysis of Landslide Kinematics Using Multi-temporal Unmanned Aerial Vehicle Imagery, La Honda, California. *Environmental & Engineering Geoscience*, 25(4), 301-317. <https://doi.org/10.2113/EEG-2228>
- Cilek A, Berberoglu S, Donmez C & Cilek M. U. (2020). *Journal of Digital Landscape Architecture*, 5-2020, 275-284.
- Cömert R, Şenkal E & Avdan U (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, Zonguldak, Türkiye.
- Dabski M, Zmarz A, Pabjanek P, Korczak-Abshire M, Karsznia I & Chwedorzewska K J (2017). UAV-based detection and spatial analyses of periglacial landforms on Demay Point (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica). *Geomorphology*, 290, 29-38.
- De Smet T S, Nikulin A, Romanzo N, Graber N, Dietrich C & Puliaiev A (2021). Successful Application of Drone-Based Aeromagnetic Surveys to Locate Legacy Oil and Gas Wells in Cattaraugus County, New York. *Journal of Applied Geophysics*, 186, 104250. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.10425>
- Dewanto B G, Novitasari D, Tan Y C, Puruhito D D, Fikriyadi Z A & Aliyah F (2020). Application of Web 3D GIS to Display Urban Model and Solar Energy Analysis using The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data (Case Study: National Cheng Kung University Buildings). *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 20(1), 12-17.
- Donmez C, Villi O, Berberoglu S & Cilek A (2021). Computer Vision-Based Citrus Tree Detection in a Cultivated Environment Using UAV Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106273. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106273>
- Duarte L, Silva P & Teodoro A C (2018). Development of a QGIS Plugin to Obtain Parameters and Elements of Plantation Trees and Vineyards with Aerial Photographs. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 109. <https://doi.org/10.3390/ijgi7030109>
- Esri (2023). CBS Nedir? [Erişim Tarihi: 06.05.2023], <https://www.esri.com.tr/tr-tr/cbs-nedir/genel-bakis>.
- Factmr (2022). Drone GIS Mapping Market Outlook (2023-2033). [Erişim Tarihi: 08.05.2023], <https://www.factmr.com/report/drone-gis-mapping-market>.
- Fahlstrom P G, Gleason T. J. & Sadraey M. H. (2022). Introduction to UAV Systems Fifth Edition. *John Wiley & Sons, Inc.*, ISBN: 978-1-119-80263-1.
- Fareed N & Rehman K (2020). Integration of Remote Sensing and GIS to Extract Plantation Rows from a

- Drone-Based Image Point Cloud Digital Surface Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 151. <https://doi.org/10.3390/ijgi9030151>
- Fukano Y, Guo W, Aoki N, Ootsuka S, Noshita K, Uchida K, Kato Y, Sasaki K, Kamikawa S & Kubota H (2021). GIS-based Analysis for UAV-Supported Field Experiments Reveals Soybean Traits Associated with Rotational Benefit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 637694. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637694>
- Gantimurova S, Parshin A & Erofeev V (2021). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping of the Circum-Baikal Railway in Russia Using UAV Data. *Remote Sensing*, 13(18), 3629. <https://doi.org/10.3390/rs13183629>
- Gislounge (2021). Autonomous UAVs and Geospatial Data, [Erişim Tarihi: 11.05.2023], <https://www.gislounge.com/autonomous-uavs-and-geospatial-data/>
- Kanun E, Alptekin A & Yakar M (2021). Cultural Heritage Modelling Using UAV Photogrammetric Methods: A Case Study of Kanlıdivane Archeological Site. *Advanced UAV*, 1(1), 24-33.
- Kanun E, Alptekin A, Karataş L & Yakar M (2022). The Use of UAV Photogrammetry in Modeling Ancient Structures: A case Study of "Kanytellis". *Advanced UAV*, 2(2), 41-50.
- Karakose, E. (2017). Performance Evaluation of Electrical Transmission Line Detection and Tracking Algorithms Based on Image Processing Using UAV," *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, Malatya, Turkey.
- Kınalı M & Çalışkan E (2022). Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forest Road Projects. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 1-1. <https://doi.org/10.24011/barofd.1073229>
- Koçyiğit, F. U., Durduran, S. S. & Alkan, T. (2022). Creating Geographical Information System (Gis) Database with Unmanned Aerial Vehicles (Uav) In Archaeological Areas; The Case of Anemurium Ancient City. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 10(3), 831-843. <https://doi.org/10.21923/jesd.999829>
- Kusak L, Unel F, Alptekin A, Celik M & Yakar M (2021). Apriori Association Rule and K-Means Clustering Algorithms for Interpretation of Pre-Event Landslide Areas and Landslide Inventory Mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Kyriou A, Nikolakopoulos K, Koukouvelas I & Lampropoulou P (2021). Repeated UAV Campaigns, GNSS Measurements, GIS, and Petrographic Analyses for Landslide Mapping and Monitoring. *Minerals*, 11(3), 300. <https://doi.org/10.3390/min11030300>
- Liao K C & Lu J H (2021). Using UAV to Detect Solar Module Fault Conditions of a Solar Power Farm with IR and Visual Image Analysis. *Applied Sciences*, 11(4), 1835. <https://doi.org/10.3390/app11041835>
- Lifeingis (2023). UAVs in the GIS industry: Applications, Trends and Future Outlook, [Erişim Tarihi: 10.05.2023], <https://www.lifeingis.com/uavs-in-gis-industry/>
- Mangiameli M, Muscato G, Mussumeci G & Milazzo C (2013). A GIS Application for UAV Flight Planning. *IFAC Proceedings*, 46(30), 147-151.
- Morgenthal G & Hallermann N (2014). Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures. *Advances in Structural Engineering*, 17(3), 289-302. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.3.289>
- Noo, N., Abdullah A A A, Abdullah A, Ibrahim I & Sabeek S (2019). 3D City Modeling Using Multirotor Drone for City Heritage Conservation. *Planning Malaysia*, 17. <https://doi.org/10.21837/pm.v17i9.610>
- Odo A, McKenna S, Flynn D & Vorstius J (2020). Towards the Automatic Visual Monitoring of Electricity Pylons from Aerial Images. *15th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 566-573.
- Ok A O & Ozdarici-Ok A (2017). Detection of Citrus Tree from UAV DSMS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-1/W1, 2017 ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17 – CMRT 17 – ISA 17. – EuroCOW 17, 6–9 June 2017, Hannover, Germany
- Özcan O (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-7.
- PSU (2023). Emerging Theme: GIS and UAVs, [Erişim Tarihi: 10.05.2023] <https://www.e-education.psu.edu/geog858/node/557/>.
- Rossi, M & Brunelli D (2016). Autonomous Gas Detection and Mapping with Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65(4), 765-775. <https://doi.org/10.1109/TIM.2015.2506319>
- Şasi A & Yakar M (2017). Photogrammetric Modelling of Sakahane Masjid Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87. <https://doi.org/10.31127/tuje.316675>
- Tanut B, Waranusast R & Riyamongkol P (2021). High Accuracy Pre-Harvest Sugarcane Yield Forecasting Model Utilizing Drone Image Analysis, Data Mining, And Reverse Design Method. *Agriculture*, 11(7), 682. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070682>
- Tecim V (2008). CBS: Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi. Ofset Matbaacılık, ISBN: 978-605-60047-0-4.
- Tutuş Y (2018). Tanıtım Film Yapım Sürecinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı: Elazığ İline Yönelik Örnek Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 74s.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit A Y & Kaya Y (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26. <https://doi.org/10.29128/geomatik.560179>
- Villi O (2019). İnsansız Hava Araçlarında Çok Bantlı Kamera Entegrasyonu ve Tarımsal Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 89s.
- Villi O & Yakar M (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız*

- Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
<https://doi.org/10.51534/tiha.1189263>
- Wang T, Mei X, Thomasson J A, Yang C, Han X, Yadav P K & Shi Y (2022). GIS-Based Volunteer Cotton Habitat Prediction and Plant-Level Detection with UAV Remote Sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106629.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106629>
- Wang Z, Zhang W, Zhong L, Song X & Ruan X (2020). UAV Remote Sensing Method for Extracting Feature Points of Aerial Photos After Fast Geolocation. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 782(59).
- Wikipedia (2022). Coğrafi Bilgi Sistemi, [Erişim Tarihi: 06.05.2023],
https://tr.wikipedia.org/wiki/Co%C4%9Frafî_bilgi_sistemi.
- Yanis M, Anggini A H, Abdullah F, Zainal M & Abubakar M (2021). Application of Unmanned Aerial Vehicle as a Base Map Layer In Near-Surface Geophysics. *Jurnal Geografi*, 13(1), 26-36.
- Yakar M & Doğans Y (2018). GIS and Three-Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>
- Yakar M & Doğan Y (2017a). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 94-101.
- Yakar M & Doğan Y (2017b). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- Yakar M, Ulvi A, Fidan Ş, Karabacak A, Villi O, Yiğit A Y, Çelik M Ö & Hamal S N G (2023). İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Operatörlüğü Eğitim Kitabı. *Atlas Akademi*, ISBN: 978-605-8101-34-8.
- Yakar M, Ulvi A, Varol F, Yiğit A Y, Kaya Y, Kabadayı A, Çıkıkcı K & Catın S S (2018). 3D Model Production by Using UAV and Terrestrial Photogrammetric Techniques: The Example Of Erzurum Three Kumbets. *International Congress on Cultural Heritage and Tourism*.
- Yakar M, Ulvi A, Yiğit A Y & Alptekin A (2022). Discontinuity Set Extraction from 3D Point Clouds Obtained by UAV Photogrammetry in A Rockfall Site. *Survey Review*, 1-13.
<https://doi.org/10.1080/00396265.2022.2119747>



© Author(s) 2023.

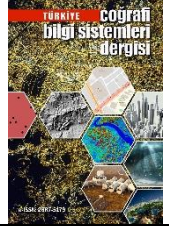
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



İnsansız Hava Araçlarında Çarpışma Önleyici Sistem Optimizasyonu

Alper Evren Demir*¹, Metin Altan²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Astrofizik Eğitim ve Araştırma Birimi, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

İHA
Çarpışma Önleyici Sistem
Entegrasyon
CBS

ÖZ

Askeri ve sivil hava sahalarının ortak kullanım zorunluluğu, uçak sayısı ve seferlerindeki artış, teknolojik gelişmelere uyum süreci gibi problemlerin yanısıra, havacılık uygulamalarının bir başka mücadele konusu da uçuş güvenliğinin optimizasyonudur. İlgili sektörlerin Ar-Ge çalışmaları, fen ve mühendislik anabilim dallarından alınan çözüm odaklı fikirler, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ve yapay zeka benzeri analiz ve modelleme platformları, havacılık çalışmalarındaki sinerjiyi sürekli dinamik tutmaktadır. Özellikle İHA (İnsansız Hava Araçları), gerek sivil, gerekse askeri uygulamalarda bir çok ihtiyaca cevap vermekte, kapsamı giderek artmakta ve ekonomik yatırımlara açık bir pazar olarak görülmektedir. İHA sistemleri ayrıca, atmosferik değişkenliklerin takibi, 3D CBS destekli topoğrafik analiz ve modelleme ile anlık karar destek platformu içermesi, teknolojik gelişmelere kolay adapte olabilmesi, uzaktan erişimli kullanım kolaylığı ile can kaybı veya yaralanma riski oluşturmaması, güvenlik açısından riskli bölgelerde etkin kullanım gibi avantajlara sahiptir. Uygulama alanlarındaki artışa paralel olarak, kullanılan İHA'ların sayısı da hızla artmaktadır. Bu çalışmada, havada çarpışma olasılığını tetikleyen ve besleyen faktörler değerlendirilerek mevcut durum incelenmiş, çarpışma önleyici sistemlerin İHA entegrasyonu içerikli öngörü ve fikirler geliştirilmiş ve hava sahasının daha etkin ve güvenli kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anti-Collision System Optimization in Unmanned Aerial Vehicles

Keywords:

UAV
Anti-Collision System
Integration
GIS

ABSTRACT

In addition to problems such as the necessity of joint use of military and civil airspaces, the increase in the number of aircraft and flights, the adaptation process to technological developments, another challenge of aviation applications is the optimization of flight safety. R&D studies of relevant sectors, solution-oriented ideas from science and engineering departments, GIS (Geographical Information Systems) and artificial intelligence-like analysis and modeling platforms keep the synergy in aviation studies dynamic. Especially UAV (Unmanned Aerial Vehicles) respond to many needs in both civil and military applications, its scope is increasing gradually and it is seen as a market open to economic investments. UAV systems also have advantages such as monitoring atmospheric variability, including 3D GIS supported topographic analysis and modeling and instant decision support platform, easy adaptation to technological developments, ease of use with remote access, no risk of loss of life or injury, and effective use in risky areas in terms of security. Parallel to the increase in application areas, the number of UAVs used is also increasing rapidly. In this study, the current situation was examined by evaluating the factors that trigger and feed the possibility of air collision, foresight and ideas were developed for the integration of anti-collision systems to unmanned aerial vehicles, and suggestions were made for more effective and safe use of airspace.

*Sorumlu Yazar

(alpervrendemir@ogr.eskisehir.edu.tr) ORCID ID 0009-0000-3330-3444
(maltan@eskisehir.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-5247-887X

Kaynak Göster

Demir A E & Altan M (2023). İnsansız Hava Araçlarında Çarpışma Önleyici Sistem Optimizasyonu. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 34-42.

1. GİRİŞ

Havacılık alanında yaşanan gelişmeler, bir önceki yıla göre giderek daha çok artış gösterirken, hava yolu şirketleri, sefer sayılarındaki artışa paralel olarak, hava sahalarındaki uçak kapasitelerini genişletmektedirler. Havada ve hava limanlarında uçakların düzenli ve kontrollü bir şekilde trafik emniyetinin sağlanabilmesi için, pilotların daha kapsamlı HTK (Hava Trafik Kontrol) hizmetlerini almaları gerekmektedir. Havacılık alanında yaşanan gelişmeler, HTK görevlilerinin iş yükünde artış yaşanmasına neden olmaktadır. Uçakların, planladıkları hedeflere emniyet ve güvenden ödün vermeden uçabilmeleri için, HTK görevlilerinin karşılaştıkları trafik işleyişine yönelik sıkıntılarının çözülmesi hedefinde çalışmalar sürdürülmektedir. Her geçen yıl, teknolojik gelişmeler desteği ile HTK hizmet kalitesinde artış gözlenmektedir.

Yazılım ve donanım odaklı çalışan bilim insanlarından oluşan Ar-Ge ekipleri, havacılık çalışma ve uygulamalarında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik bilgisayar destekli sistemler geliştirmektedir. Uçakların çarpışmalarının azaltılması ve kazaya neden olacak etkenlerin önceden tahmin ve tespiti için gerçekleştirilen araştırmalar artan öneme sahiptir. Teknolojik gelişmelere paralel güncellenen bu yazılım ve donanım sisteminin en yaygın olanı, uçaklar arası çarpışma ihtimali tespitini de uygulamaları arasına alan ve TCAS (Traffic Collision Avoidance System) olarak ifade edilen trafik ayırma ve uyarı sistemidir.

TCAS sistemi, uçakların arasındaki güvenli ayrılma mesafesinin korunabilmesi için, hem yatay hem de dikey eksenlerdeki trafik yoğunluklarının her koşulda anlık kontrolünü yapabilmektedir. Uçakların arasında bulunan göreceli mesafelerin ve irtifa bilgisinin yanı sıra, TCAS aynı zamanda muhtemel bir çarpışmaya kalan zamanın da hesaplanması için gerekli yazılım ve donanım altyapısına sahiptir. TCAS sistemi desteği ile uçakların irtifası değiştirilerek, çarpışmalarına yönelik risklerin azaltılma sürecinde, yatay ve dikey eksenlerde manevralara anlık çözüm önerileri geliştirilmektedir. Örneğin, önceden ayrılma destekli hava sahası sisteminde, muhtemel bir çarpışma anının üç dakika öncesinden saptanması ve bununla ilgili çözüm önerisi sunulması, çarpışma önleyici sistem güvenliği sağlanabilmektedir. Kurulum aşaması tamamlanarak etkin kullanım sürecine geçilen bir diğer sistem de otomatik hava sahası sistemidir.

Uçakların çarpışma ihtimalinin belirlenerek çözüm önerilerinin üretilmesine yönelik çalışmalar kapsamında iki öngörü üzerinde odaklanılmıştır. Deterministik yöntemde uçakların mevcut bilgileri ve konum bilgileri birlikte değerlendirilirken, olasılık içerikli yöntemde ise uçakların konumlarının belirlenmesinde ölçüm hataları gözönünde bulundurulur.

2. İHA SİSTEMLERİ

Uçmak fikri, tarih öncesi ve mitolojik zamandan beri insanlığın ilgisini çekmiş, modern insanlı havacılık sistemleri ise 1700'lü senelerin sonunda ortaya çıkmıştır. İHA tarihinde bilinen ilk uçaklar M.Ö. 425 senesinde Arhitas tarafından Pigeon ismi ile gerçekleştirilmiş ve günümüze kadar farklı amaçlara yönelik çok sayıda sistem geliştirilmiştir. İHA gelişim aşamalarının ilk

zamanlarında, genel olarak tek kullanımlık ve plansız uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Valavanis & Vachtsevanos, 2014).

Wright kardeşlerin insanlık tarihine geçmiş olan ilk modernize edilen insanlı hava araçlarının uçuşundan 15 sene sonra, özellikle de askeri alanda İHA'ların üretimine başlanmış, gelişim süreçleri ise havacılık tarihi ile eşdeğer tutulmuştur (Barnhart, 2012). İHA sistemleri ilk etkin görevlerini birinci dünya savaşı sırasında almıştır. 30 deniz milini aşan mesafesi ile, ilk defa İHA Sperry şirketi tarafından 1916 yılında, Almanların yapmış olduğu zep- linlere karşılık olarak, hava torpidosu amacıyla üretilmiştir. Günümüze kadar uzaktan kontrollü ve sabit kanatlı torpidoda İHA'lar genellikle askeri personellerin eğitimi için kullanılmıştır (Szabolcsi, 2014).

1930'lu yıllarda İngilizlerin Quenn Bee ismi ile geliştirdikleri insansız araçlar, günümüzde yaygın kullanılan dronlar için tasarımcılara ilham vermiştir. Dünyada silahlı kuvvetlerin benimsediği İHA sistemleri, Vietnam ve İsrail'deki savaşlarda olduğu gibi, günümüzde de artan gereklilik ile kullanılmaya devam etmektedir. Askeri kullanımlarda geliştirilen jet motorlu İHA'lar, öncelikli sorumluluk tanımları kapsamında gözetim görevlerine destek vermiştir (DeGarmo, 2004).

Birinci ve ikinci dünya savaşları süresince gerçekleştirilen otonom ve uzaktan kumandalı İHA üretimleri, artan gereksinimler yelpazesinde günümüze kadar gelişerek küresel ölçekte büyük önem ve itibar kazanmıştır. Özellikle 2000 yılından başlayarak, güncel teknolojinin yazılım ve donanım gelişimine desteği ve üretim maliyetlerinin giderek azalması, ilgilerin odak noktasını üzerine çekmiş, Irak ve Afganistan'daki görevler ile başlayan etkin operasyonel kullanım gereklilikleri, artan ilgi ve destek ile günümüze taşınmıştır (DeGarmo & Nelson, 2004).

Öncelikle askeri uygulamalara yapılan yatırımlar, İHA sistemlerinin yeteneklerinin gelişmesine ortam hazırlamış, sivil kullanımlarına duyulan ihtiyaç bir çok alanda farkındalık yaratmış, havacılık, fen bilimleri ve mühendislik projelerinin uygulama aşamalarını tetiklemiş ve ileri safhalarını beslemiştir. Günümüze kadar süregelen teknolojik gelişmeler, operasyonel uygulamalar, üretim maliyetlerindeki olumlu gelişmeler, mevzuatların sadeleştirilerek uygulamalarda sağlanan kolaylık ve toplumların insansız sistemlere bakış açısındaki pozitif yaklaşım, İHA uygulamalarına desteği daha da arttırmıştır.

İHA sistemlerinin sivil alanlarda kullanımı, öncelikle görüntü toplama ve analiz etme çerçevesinde yoğunlaştı. 2004 yılı araştırma sonuçlarına göre bile, en az 32 ülkede İHA sistemleri geliştirilmekte, 41 devlette ise aktif olarak kullanılmaktaydı. Lider İHA kullanıcıları pozisyonundaki Japonya, özellikle tarımsal ilaçlama gibi uygulamalarda 2.000'den fazla İHA kullanmaktadır (DeGarmo, 2004). Günümüzde bir çok askeri, havacılık, fen ve mühendislik uygulamalarının vazgeçilemez bileşeni olan İHA'ların sivil amaçlı kullanımlarındaki artış nedeni ile ortak hava sahası paylaşımı zorunluluğu, teknik problem ve operasyonel riskleri de beraberinde getirmiştir.

3. ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ SİSTEMLER

Havacılık uygulamalarının yerel ve küresel ölçekte yaygınlaşması sürecinde, HTK hizmetine olan gereklilik de hızla artmaktadır. Bu süreçten beslenen sektörün de

tepki olarak kalitesini, yetkinliğini ve kapasitesini geliştirme çabalarında ihtiyaç duyduğu teknolojik güncelleme uygulamalarını zorunlu kılmıştır. Birbirini tetikleyen ve besleyen bu arz-talep dengesine dikkat çeken havacılık otoriteleri, gelecek yıllarda uygulama alanlarına çok daha fazla ihtiyaç duyulacağını vurgulamaktadır. Teknolojik gelişmeler desteği ile gerçekleştirilen havacılık uygulama kalitesindeki artış, hem yerde ve hem de havada verilmekte olan HTK desteğindeki artan hizmet kalitesi ile paralellik göstermektedir (Frost & Sullivan, 2001).

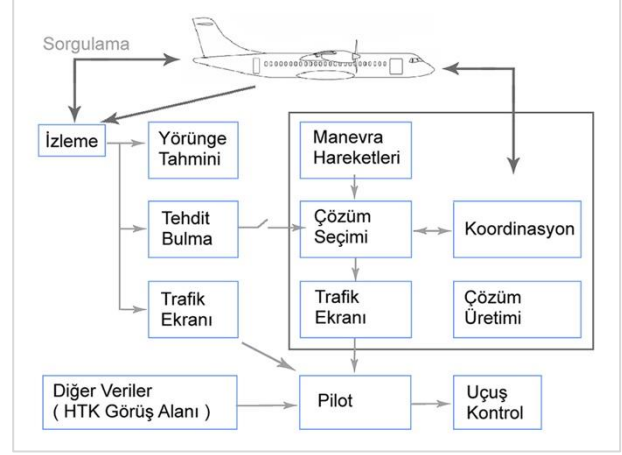
Uçakların uçuş süreçlerindeki her aşamada birbiriyle ve manialar ile çarpışmalarının önlenmesi ve hava akışının düzenli olarak devam etmesinin sağlanabilmesi için, HTK görevlilerinin uçaklarla iletişim halinde olması gereklidir. Pilotların, radar kontrol ve kokpit personel hizmeti veren HTK görevlilerinin yönlendirme ve talimatlarına uymaları, yaptıkları manevraların ardından durumlarını sesli biçimde rapor etmeleri, hava trafiğinin problemsiz işleme açısından gereklilik ötesi bir zorunluluktur. Fakat çok acil ve maduriyet içeren sıradışı durumlarda maruz kalınan HTK hizmeti zafiyeti durumunda pilotlar ancak "gör ve kaçın" (see and avoid) uygulaması ile çarpışmadan kaçabilmektedirler (Kuchar & Drumm, 2007). Günümüzde çoğunlukla yerden yürütülen HTK hizmetlerinin yanında, uçakları havadan yönlendirerek ayrılma işleminin gerçekleştirilmesi yönündeki sorumlulukların bir kısmının pilotlara verilmesi çalışmaları yürütülmektedir.

1950'li yıllarda gör ve kaçın olgusuna yönelik güvenin azalması nedeni ile, çarpışma önleyici sistem düşüncesi ortaya atılmış. Uçaklar arası mesafe ve yaklaşma süreçleri dikkate alınarak yapılan hesaplar sonucunda öngörülen gerekli uyarıların uçaklara iletilmesi hedeflenmiş. 1956 yılında ABD'de gerçekleşen Grand Canyon Kazası'nın ardından, hava yolları ve havacılık otoriteleri tarafından, çarpışma önleyici sistemlerin tasarısı ve kısa sürede etkin kullanımına yönelik geliştirilmesi amaçlı çalışmalara önem ve hız kazandırılmış. 1960-70'li yıllarda geliştirilen uyarı sistemleri desteği ile, ilk kez çarpışma önleyici sistem uygulamaları, sivil hava yolu firmaları tarafından aktif olarak denenmiş. İlk denemelerde, birçok kez gereksiz uyarılar ile pilotlar tedirgin ve meşgul edilmiş. 1970'li yıllarda Beacon Uçak Çarpışma Önleyici Sistem (Beacon Collision Avoidance System) kullanılmaya başlanmış. 1980'li yıllarda ise TCAS sistemiyle çalışmalara geçilmiş, ilk aşamalarda, kokpitte bir radar ekranının etrafında diğer uçakların izlenmesi üzerinde odaklanılmış. 1986 yılında ABD'de alınan bir karar ile TCAS ekipmanlarının uçaklarda bulundurulması zorunlu hale getirilmiş (EUROCONTROL, 2012).

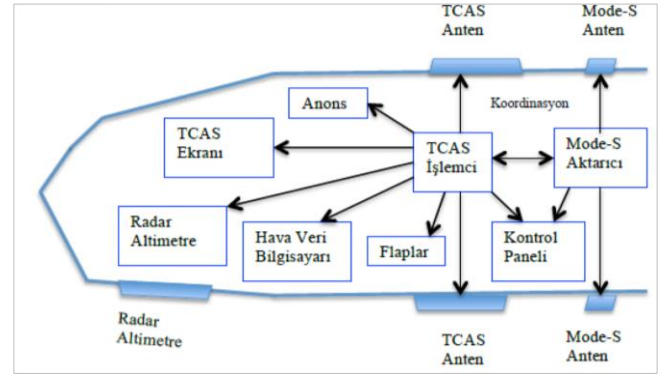
TCAS sistemi hem normal pilot, hem de oto pilot kontrolündeki uçaklar ile çalıştırılabilir. İkazlar kokpit içerisinden hem sesli hem de yazılı olarak iletilir. TCAS Sistemi; TA (Trafik Alert) trafik uyarı ve RA (Resolution Advisory) çözüm önerisi olarak iki tür yapılandırılabilir.

Trafik ikazı öncelikle, kokpitte oluşabilecek bir tehlike için ekibin hazır olması ve uçağın çevresindeki trafiğin kontrol altında tutulması gerekliliklerini içerir. Trafik ikazları ayrıca, oluşması muhtemel bir tehlikeye karşı kokpit ekibinin daha kısa zamanda tepki vermesini ve verdiği çözüm önerisi doğrultusunda, uygulaması gerekli olan komutların algılanmasını sağlar. Çözüm önerileri komutla birlikte uçuş esnasında eş zamanlı olarak verilir

ve pilotların beş saniye içerisinde uygulaması beklenir (Kuchar & Drumm, 2007). Koruma alanlarının ihmal edildiği durumlarda, birden fazla uçakta TCAS sistemi bulunuyorsa, uçaklar tek taraflı olarak TA ikazı verir. TCAS sistemi güncel teknoloji destekli ekipmanlar ve belirlenen hedeflere yönelik geliştirilen çalışma prensipleri içerir (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. TCAS çalışma mekanizması (Kuchar & Drumm, 2007).



Şekil 2. TCAS ekipmanları (EUROCONTROL, 2012).

TCAS işlemcisinin çalışması sürecinde alınan tüm veriler sistem yazılımı tarafından değerlendirilir ve alınan sonuçlar doğrultusunda verilmesi gereken bütün uyarılar kokpit personeli için yazılı ve sesli olarak yapılır. TCAS sistemi, uçakların çevrelerinin izlenebilmesi için kullanılan iki antene sahiptir. TCAS sistemi kapsamında gerekli haberleşmelerin yapılabilmesi için Mode S aktarıcılarının kullanılması gereklidir. Sistem ile izlenen uçaklar Mode-S aracılığı ile yakınlık miktarına duyarlı sorgulanır ve 1030 MHz frekansından veri gönderilmesi, 1090 MHz frekansından da veri alınması gerçekleştirilir. Bu sorgu sıklığı 1 dakikadan saniye mertebesine kadar kısaldır. Uçakların yapması öngörülen çözüm önerileri Mode S aktarıcıları tarafından uçaklara gönderilir. Mode S aktarıcıları 24-Bit uzunluğunda, kendilerine özgü adreslere sahiptir. Aktarıcıdaki bu adreslere gönderilen mesajların başka uçaklara iletilmesi mümkün değildir.

Uçakların etrafında bulunan hava trafik durumu anlık olarak, hava trafik alıcılarının aracılığı ile, uçağın trafik ekranında pilotlar tarafından gerçek zamanlı olarak takip edilebilir. Problem içermesi muhtemel durumlarda pilotlar bu ekrandan, kritik durum özelinde verilecek trafik çözüm öneri ve ikazlarını eş zamanlı olarak

değerlendirebilir. Pilotlar bu ekran aracılığı ile, ihtiyaç duydukları bilgileri ve geri bildirimleri belli bir süre ekranda tutar. Pilotların görevlerini daha verimli yapmalarına yönelik geliştirilen bu aktif uygulamaların etkin desteği ile, uzun mesafeli uçuşlar çok daha rahat, güvenli ve kontrol altında gerçekleştirilebilmektedir. Uçuş sırasında oluşan olumsuz durumlar arasında yüksek risk oluşturabilecek en muhtemel probleme öncelik vererek, pilotların ilk aşamada doğru noktaya çözüm hedefli odaklanabilmesi için, sistem belirlediği öncelikli asıl tehdidin daraltılmış alanını ekrana yansıtılır (Şekil 3 ve 4) (EUROCONTROL, 2012).

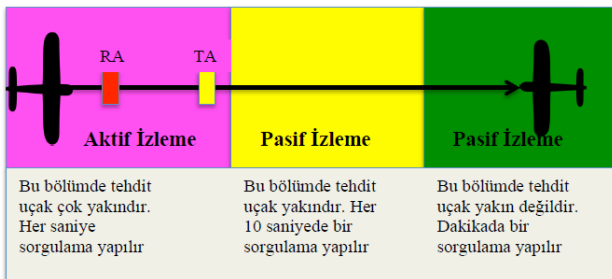


Şekil 3. Trafik ekranı örneği 1



Şekil 4. Trafik ekranı örneği 2

Yabancı bir uçağın trafik ikaz ekranında görüntülenmesi için, uçakların aralarında yaklaşık 2700 feet kadar göreceli bir irtifanın bulunması gerekir. Yatay olarak incelenen durumda, göreceli mesafenin 4-6 deniz mili arasında olması gerekir (Kuchar & Drumm, 2007).



Şekil 5. TCAS izleme

Uçuş sürecinde pilotlar TCAS sistemi kullanarak yakın hava sahalarını hassas şekilde denetim altında tutabilirler. Uçaklar birbirine çok yaklaştığında, tehdit unsurunun beslediği risk artar ve her saniye sorgulama yapılan aktif izleme gerektirir. Potansiyel tehdit içeren uçak yakın olduğunda her 10 saniyede bir sorgulama

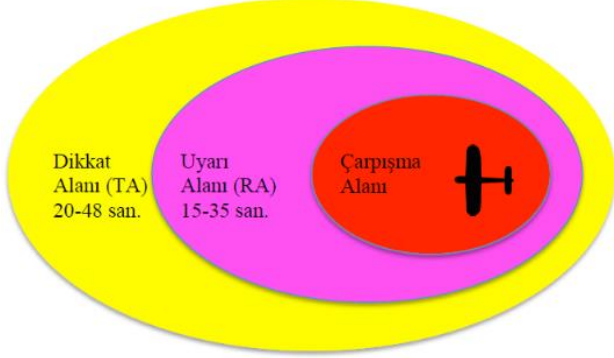
yapılır. Yabancı uçak risk oluşturma potansiyeline sahip olmayacak yeterli mesafede ise, dakikada bir sorgulama yeterli olur (Şekil 5) (EUROCONTROL, 2012).

TCAS için hangi değerlerin TA ve RA eşik değeri olduğu, Eurocontrol'un 2012 tarihli yayınında ayrıntıları ile belirtilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. TCAS eşik değerleri

İrtifalar	SL	Kalan zaman (sn)		Düşük Hız zamanı (sn)		Yatay Mesafe Eşik Değeri (Nm)		Yatay Mesafe Eşik dEğeri (feet)		En az İrtifa Farkı (feet)
		T.A	RA	RA	T.A	RA	T.A	RA		
0-1000 ft. AGL	2	20	Yok	Yok	0.30	Yok	850	Yok	Yok	
1000-2350 ft. AGL	3	25	15	15	0.33	0.20	850	600	300	
FL50-FL1100 ft. AGL	4	30	20	18	0.48	0.35	850	600	300	
FL1100-FL200 ft. AGL	5	40	25	20	0.75	0.55	850	600	350	
FL100-FL200 ft. AGL	6	45	30	22	1.00	0.80	850	600	400	
FL200-FL420 ft. AGL	7	48	35	25	1.30	1.10	850	700	600	
FL200-FL420 ft. AGL	7	48	35	25	1.30	1.10	1200	800	700	

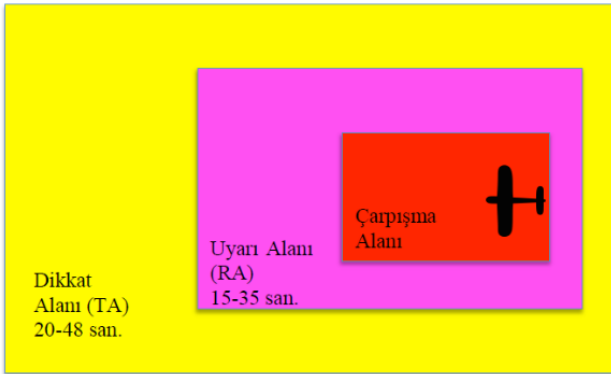
TCAS sisteminin çalışma prensibinin odak noktası, uçaklar arasında muhtemel çarpışmayı önlemeye yönelik geliştirilen işlem adımları uygulama sürecidir. Öngereklilik olarak, TCAS sistemine sahip uçakların aralarında muhtemel bir çarpışma tehlikesinin saptanabilmesi için, mesafe ve zaman kavramlarının aynı algı çerçevesinde olması gerekir.



Şekil 6. Yatay koruma alanı.

Bu aşamada, zaman ve mesafe değişkenlerinin hantisi için eşik değeri aşılsa, kalan zamana ve mesafeye bağlı olarak öngörülen farklı seviyelerdeki risk limitlerine istinaden gerekli uyarı ve talimatlar pilotların dikkatine sunulur (Tablo 1). Eşik değerleri aşıldığında öngörülen işlem adımları, konumsal yatay ve dikey değişkenlikler gözönünde bulundurularak değerlendirilir (Şekil 6 ve Şekil 7) (EUROCONTROL, 2012).

Şekil 6 ve 7 gözönünde bulundurulduğunda, Yer gerçeklerinin, yakın atmosfer koşullarının ve topoğrafik yapının da dikkate alınarak sentezlendiği çok bileşenli sisteme entegre edilecek dinamik yapı hareketliliği (insanlı, insansız, askeri, sivil, hareketli ve hareketsiz doğal yaşam bileşenleri) konumsal analiz ve modelleme tekniklerinden destek almayı gerektirir. Bu süreç, tüm bileşenlerin eş zamanlı denetlenmesinin yanı sıra hareketli cisimlerin birbirleri, yakın çevresi ve mekanlar ile etkileşim dinamiklerini de beraberinde getirir.



Şekil 7. Dikey koruma alanı

Bu yaklaşım, zamana bağımlı dinamik bir konumsal ilişkilendirme, sentez, analiz ve konumsal optimizasyon odaklı anlık karar destek sistemi ihtiyacını doğurur. Havacılık uygulamalarında sık kullanılan CBS teknikleri bu ihtiyacı karşılama sürecinde hem uçuş yönetim sistemleri çalışanlarına hem de aktif görevdeki pilotlara yardımcı olan konumsal dinamik değişkenli görsellik sunmaktadır.

4. UÇUŞ EMNİYETİNE YÖNELİK ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ SİSTEMLER ENTEGRASYONU

4.1. İHA Sistemleri

Sadece uçuşları gösteren bir öngörü platformu olarak değerlendirilen İHA kavramı, başlangıçta "İHA Platformları" olarak isimlendirilmiş, daha sonra ilgili tüm sistemleri kapsamaya gözönünde tutularak, "İHA Sistemleri" ifadesi ile terminolojiye alınmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 2 gram ile 15 ton aralığında değişen ağırlık ölçeğine sahip İHA Sistemleri, bir çok farklı kategoride çözüm odaklı uygulamalar içeren hava araçları, görev sistemleri, yer sistemleri ve hava/yer tümleşik sistemler olarak 4 bileşenden oluşur (Şekil 8). İHA sistemlerinin kullanım süreçlerinde bileşenlerin sistem içeriği veya boyutlarında değişiklik görülebilir (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012).



Şekil 8. İHA Sistemlerinin bileşenleri

İHA sistemlerini, insanlı uçak sistemlerine göre daha avantajlı ve ekonomik yapan en önemli özelliği, "kirli, sıkıcı ve tehlikeli" şeklinde adlandırılan 3 kritik durumla ilgili olarak "etkin, verimli, ekonomik ve emniyetli" çözümler sunmasıdır. Binlerce km uzunluğu bulunan bir petrol boru hattının kontrolünün sağlanması veya terör unsurlarının bulunduğu öngörülen bir mekanda günlerce devam eden gözetleme, "Sıkıcı (dull)" görevlere örnek olarak verilebilir (Harrington, 2007).

İHA sistemlerinin en önemli ortak özellikleri şunlardır:

- Füze, kamera, bomba ve benzeri faydalı yükün üzerinde taşınabilmesi,
- İHA sistemleri arasında ve harici unsurlar ile iletişim sağlayan muharebe sistemlerinin entegre edilebilmesi,
- Görevlerin planlanmasında, icra edilmesinde ve koordinasyonunda kullanılan "komuta-kontrol" unsuru içermesi,
- Destek unsurları niteliğinde yer sistemlerine ve teçhizatlara sahip olması,
- İHA pilotlarından bakım personellerine kadar sistemlerin işlenmesinde görev alan nitelikli insan içermesi, (Karaağaç, 2014).

İHA sistemleri, savaş potansiyeline sahip tüm bileşenleri ile askeri hedeflere ulaşabilme yeteneği sayesinde, muharebe unsurlarına etkin bir şekilde destek sağlar. İnsan faktörü açısından yüksek risk içeren tehlikeli gö-

revlerin uygulanmasında öncelikli tercih edilen bir destek platformu oluşturur. Planlama, uzaktan erişimli interaktif yönlendirme, yönetim ve uygulama aşamalarının yakın temas insan faktörü içermemesi nedeni ile, insan sağlığına ve varlığına yönelik yüksek risk içermez. İHA sistemleri; istihbarat, gözetleme, keşif, hedef belirleme, lazer işaretleme, hasar belirleme, mayın tespiti, bomba atma ve benzeri askeri ve fen ve mühendislik projeleri odaklı bir çok sivil amaç için de tercih edilmekte ve etkin şekilde kullanımı artmaktadır (AF/ST, 2010).

4.2. İHA Sistemlerini Etkileyen Kısıtlar

İletişim süreçlerinde kesintilerin olması, olumsuz atmosfer koşulları, İHA özeline tahsisli frekanslarda bandların olmaması, haberleşme bağlantılarına gereksinim duyulması, sivil hava sahası entegrasyonu eksikliği, pilotların durum farkındalıklarının yetersizliği, gör ve kaçın uygulanmasında gecikme yaşanması gibi etkenler, İHA sistemlerinin etkin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu ve benzeri problemlerin çözümüne yönelik yapılan küresel ölçekteki çalışmalar, gelişen teknolojiye paralel olarak hızlanırken, İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonuna dair yerel ve uluslararası araştırmalar 2010'lu yılların başında artan yoğunlukta önem kazanmıştır. Sivil ve askeri İHA'ların ortak hava sahası kapsamında eş zamanlı görev yaptıkları platformların küresel ölçekte oluşturulması ve paylaşılmasına yönelik, sürekli optimize edilmekte olan kalıcı niteliğe sahip olacak usuller geliştirilmektedir.

Ulusal Güvenlik çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekli olan ani askeri İHA uçuşları, sivil hava sahasında geçici optimizasyon, yeni düzenleme ve geçici yasak bölge yapılandırma müdahalelerini zorunlu kılmaktadır. Tüm yaşanmakta olan ve aciliyet gerektiren müdahaleler ve problemler gözönünde bulundurularak 2030 yılına kadar askeri ve sivil hava sahası entegrasyonu ve eş zamanlı İHA uçuş platformu optimizasyonunun tamamlanması öngörülmektedir.

ABD Ulusal Havacılık Otoritesi (FAA), İHA odaklı yasal düzenlemelere yönelik talimatlar geliştirmiştir. Azami kalkış kütlesi 150 Kg'dan ve azami hızları saatte 50 knot'dan çok olan, aynı azami irtifada 100 feet'i geçen İHA'lar için bu talimatlar geçerlidir. Fakat, kapalı model uçaklar ve kapalı mekanlarda kullanım izni olan oyuncak uçaklar veya araçlar bu talimat kapsamı dışında tutulur.

Benzer şekilde Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, İHA'larla ilgili yasal düzeltmelere yönelik 30 Ekim 2012 yılında bir talimat yayınlamıştır.

Azami kalkış kütlesi 4 Kg'dan ve azami hızlarıysa saatte 50 km'den çok olan, aynı zamanda azami irtifaları da yer yüzeyinden 100 metreyi geçen İHA'ların bu talimata tabi olması öngörülmüştür. Model uçakların ve kapalı mekanlarda kullanımı üzerine üretilen uçan oyuncak araçlar da bu talimatlar kapsamı dışında tutulmaktadır.

Etkin kullanımlardaki kolaylık ve uygulamalardaki verim ve anlık problemlere acil çözüm üretme başarısı, İHA sistemlerini, sivil ve ticari uygulamaların vazgeçilmez ve öncelikli gereklilik listesinin başına taşımıştır. Gelecekte kullanım alanlarının farklı boyutlarda gelişmesini desteklemek amacı ile İHA sistemlerinin gereklilik içeren alanlara emniyetli bir şekilde entegrasyonunun

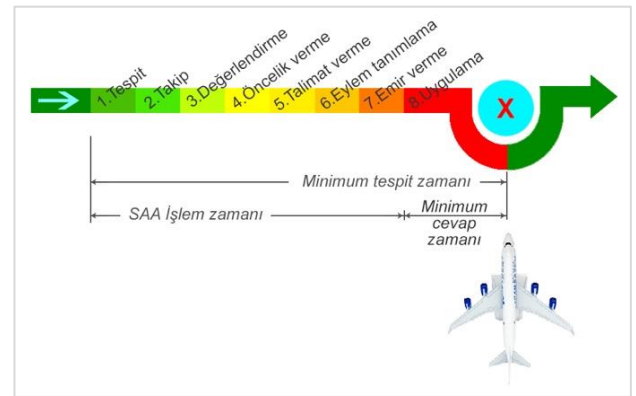
yapılması gereklidir. Bu süreçte teknolojik ilerlemelere paralel bazı uygulamalar için zemin hazırlanmalıdır. İHA uygulaması için gerekli kuralların belirlenmesi ve düzenlenmesi için uygulanması öngörülen alanlara yönelik hukuksal yaklaşımlar değerlendirilmelidir.

4.3. İHA'larda Uçuş Emniyeti

Küresel ölçekte kullanılmakta olan İHA sistemlerine yönelik önkoşul niteliğindeki gereklilik, uçuşlara elverişli ve sertifikasyon standartlarında olma zorunluluğudur. NATO'nun yayımlamış olduğu STANAG 4672, bu kapsamda değerlendirilen en önemli dokümanlardan birisidir (Acar, 2013). NATO, EASA gibi küresel ölçekli organizasyonlar, bu kapsamda bir çok ülkede çalışmalarını sürdürmekte olduğundan, yakın gelecekte İHA sistemleri için de benzer standardizasyon yönergelerinin hazırlanması beklenmektedir.

Uçuş emniyeti açısından, İHA sistemlerinin kullanımı operatör/pilot kontrolü çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Gelecekteki kullanımları için ise, İHA sistemlerinin hareket ortamında belli seviyede otonom görev yapma yeteneğine sahip olmaları öngörülmektedir. Araştırmaların yoğunlaştığı bu kapsamda, ABD'de yapılandırılan DARPA, belirlenen hedefler odağında İHA'ların takım halinde görev yapmasına yönelik CODE (Collaborative Operations in Denied Environments) Ar-Ge çalışmaları 2014 yılında uygulanmaya başlanmıştır.

Yer Kontrol İstasyonu içerisinde görev yapmakta olan veya yerden kumanda ile kontrolü sağlayan İHA pilotlarının görsel algılama imkanı ve dolayısı ile durumsal farkındalığı son derecede düşüktür. Otonom sistem uygulamalarında, bu durum çok daha karmaşık bir hal alacaktır. İHA üstünde bulunan kameralar ile çevre kontrolü kasıtlı olarak yapılabilir. Bu sebeple, muhtemel bir hava çarpışması durumunda, pilotun müdahalesi olmadan otomatik bir biçimde yapılacak olan TCAS trafik uyarısı ve çarpışmadan kaçınma sistemine benzeyen gör ve kaçın sistemine ihtiyaç duyulur (Şekil 9).



Şekil 9. Örnek Algı ve Sakın Sistemi Çalışması

4.4. Çarpışma Önleyici Sistemler

Gelişen teknolojiye paralel güncellenen ve küresel ölçekte bir çok alandaki kullanımları yaygınlaşan İHA sistemleri, günümüzde fen ve mühendislik uygulama alanlarının vazgeçilemez bileşeni oldu. Gerek askeri ve gerekse sivil hava sahalarında risk potansiyeli yüksek uçuşlar için emniyet odaklı ve anlık çarpışma önleyici sistemlere du-

yulan gereksinimin yerel ölçekteki boyutları her uygulama alanı için farklı olsa da, kullanım tercihleri giderek artmaktadır. Bu kapsamda;

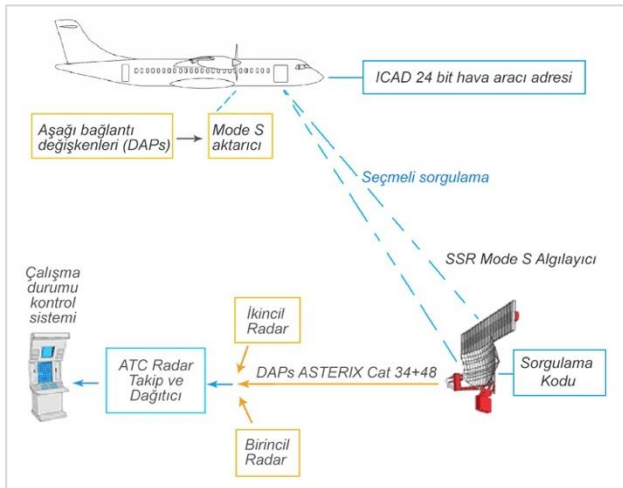
- Mode-S Aktarıcı
- TCAS
- ADS-B (Otomatik-Bağımlı-Gözetleme ve Yayın Sistemi) sistemleri ön plana çıkmıştır.

4.4.1. Mode-S Aktarıcı

Mode-S aktarıcı, özgün biçimde hava sahasındaki uçakların konumsal sorgusunu yapan ikincil gözetim radarının bir türüdür. Mode-S aktarıcı olan uçaklara, ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından 24 bitlik kimlik bilgisi verilir. İkincil radarlar tarafından yapılan genel sorgunun ardından, uçaklardan alınan ID bilgisi kullanarak, sadece ilgili uçakların sorgulaması yapılabilir. Böylece hava sahasında olan uçakların trafik kontrolörü tarafından birbirlerinden ayrı bir şekilde izlenebilmesi ve yönlendirilebilmesi sağlanır.

FAA'den (ABD Ulusal Havacılık Otoritesi) ilk uçuşa elverşi sertifikaları bulunan yüksek irtifada uzun bir süre havada kalabilen Global Hawk İHA FAA Order 7610.4'e göre, ulusal hava uçak kimlik bilgilerinin desteği ile, hava sahasındaki tek uçuş için bile sorgu yapılabilme imkanı olan Mode-S aktarıcıların İHA'lara entegre edilmesi ile yapılmış olan takip sistemleri kullanılarak izlenmesi sağlanmaktadır.

ABD Silahlı Kuvvetleri, operasyonda eskort uçak olarak kullanılan Global Hawk'ların yer radar sistemlerindeki uçuş emniyetlerini arttırmıştır. Bu çerçevede, takip sürecindeki İHA pilotlarının arasındaki anlık haberleşmenin sağlanması için, İHA'da telsiz röle özelliğinin olması gerekmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Mode-S Aktarıcı Haberleşme Diyagramı (Billingsley, 2006)

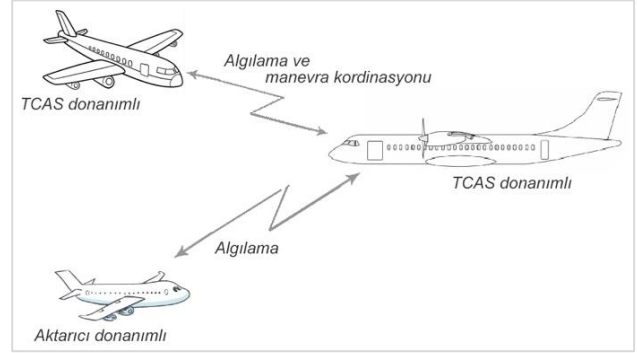
4.4.2. TAS (Trafik Uyarı ve Kaçınma Sistemi)

TCAS, herhangi bir uçağın seyir halindeyken etrafından olan uçakların Transponderlant sorgulaması yapılarak, aynı hava sahasını kullanmış olan diğer uçakların yüksekliği, uzaklığı ve rotasındaki bilgilerin tespitini yapan sistemler olarak tanımlanır. TCAS, bir saniyelik periyotlarla sorgulama yaparken, pilotlara anlık olarak hava

sahası durumu ile ilgili değerlendirme sunar. TCAS, yaptığı hesaplamalara göre, hava sahasına giren uçakların tehlike oluşturduğu 2 tür alarm üretir (Meyer vd., 2014).

Bunlar:

- TA; hava sahasına bir uçağın girdiğini gösterir ve ekrandan takip edilmesini sağlar.
- RA; tehlike oluşturan uçağı izlemenin yanı sıra, iki uçak arasındaki yüksekliği arttırmaya yönelik manevra önerileri üretir (Şekil 11).



Şekil 11. TCAS Haberleşme Şeması (Meyer vd., 2014).

İHA prensipleri kapsamında tasarlanan Hava araçlarının anlık kontrolünün sağlanmasına yönelik geliştirilen sistem yazılımına, otonom uçuş sürecine destek niteliğinde, TCAS verilerini işleme kabiliyeti eklenmektedir. İHA kontrolünün pilotta olduğu durumda, verilerin TCAS ara yüzü üzerinden pilot tarafından değerlendirilerek Çözüm Danışmanı'na (Resolution Advisors) göre önlem alınması gereklidir (Meyer vd., 2014).

Mode-S aktarıcıda görüldüğü gibi, yerden trafik kontrolüne ihtiyaç duyulması nedeniyle, TCAS çok geniş bir alanda kullanım sağlar. TCAS destekli insanlı uçaklar baz alınarak İHA'lara TCAS entegrasyonu yapıldığında, uçuş anında devamlı dışarı bakarak gözlem yapan bir pilotun olması, durumsal farkındalığı artırır. İHA'lar içinde etrafi anlık gözetleyen pilot bulunmadığı için, durumsal farkındalık zayıflar. Uzaktan kumanda ile müdahalelerdeki anlık güncelleme gecikmeleri de eklendiğinde, güvenlik açısından anlık karar verme sürecindeki endişe düzeyi artar. Bu olumsuz durumun önemini vurgulamak için havacılık otoritesi, sadece TCAS ekran verisinin yeterli güven sağlamadığını ifade etmektedir. Uçaklarda kontrolün pilotlarda olduğu, görüş dışında olunması durumunda haberleşmenin uydularla sağlandığı süreçte yaşanabilecek gecikmenin göz önünde bulundurulması gerekir.

ADS-B; uçakların GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) üzerinden kendi pozisyon bilgisini alarak, hız, yön, irtifa, uçuş numarası ve benzeri bilgilerin de eklenmesi ile derlenen bilgilerin verici anten yardımıyla diğer uçaklara ve yer istasyonlarına aktarılmasını sağlayan bir sistem olarak geliştirilmiştir (Meyer vd., 2014).

4.4.3. ADS-B

TCAS sistemine sahip İHA'larda olduğu gibi, ADS-B sistemi ile donatılmış İHA'larda da durumsal farkındalık zafiyeti söz konusudur. Havada çarpışma önleyici sistemlerin teknolojik açıdan geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar, İHA sistemlerindeki uçuş emniyetinin artırıl-

ması odak noktasında yoğunlaşmaktadır. İhtiyaçların belirlenmesi, sınıflandırılması, anlık gelişen problemlere kalıcı çözüm önerilerinin zenginleştirilmesi gibi gereklilikler gündemi ile ortak paydada buluşan, küresel ölçekteki teknolojik çözüm ortaklıkları yaygınlaşmaktadır. Örneğin, Sagatech şirketi ve Kansas Devlet Üniversitesi paydaşlığında, İHA'larda kullanılması hedefli, kredi kartı büyüklüğünde Mode-S aktarıcı ve ADS-B Out özelliklerine sahip bir kart tasarlanmıştır. Çoklu fonksiyon döstergesi veya uçuş ADS-B entegrasyonu yapılarak kullanım şekliyle aktarıcı, bir anten ile uçak üzerine sabitlenmiş. Pilotsuz ADS-B sistemleri ile donatılmış İHA'larda da anlık durumsal algı ve analiz hakimiyeti zayıftır. Ayrıca, TCAS sisteminde olduğu gibi ADS-B sisteminde de hacim ağırlığı, güç tüketimi ve ücret etkinlikleri gibi nedenlerden dolayı bütün platformlara bu sistemlerin takılması tercih edilmemektedir (Meyer vd., 2014).

5. SONUÇ

Güvenlik ve kısa zaman öncelikli ulaşım gereksiniminin giderek arttığı günümüzde, gerek sivil gerekse askeri uygulamalarda ortak hava sahası kullanımı zorunlu hale gelmiş, dolayısıyla anlık trafik yoğunluğu artmıştır. Bu aşamada maliyet, güvenlik, zaman, kolaylık, rahatlık gibi unsurlar, amaç ve hedeflere yönelik havacılık uygulamalarının niteliğine göre önem ve öncelik kazanır. Pilotların görev tanımları kapsamında eş zamanlı aldıkları HTK hizmetlerinin yönetsel ve çözüm odaklı yönlendirme başarısı ile, bu unsurların niteliği ve kalitesi artar. Teknolojik eklentiler ve güncellemeler desteği ile beslenen ve paralel olarak uygulama alanları ve işlevsellikleri artan İHA'ların bu çerçeveye girmesi ile, özellikle bahsi geçen güvenlik odaklı uygulamalara çok farklı bir boyut kazandırmıştır. Güncel teknoloji destekli İHA'ların askeri uygulamalarının yanısıra, keşif, savunma, zirai, kargo, gözetleme içerikli fen ve mühendislik projelerinin bir çok aşamasında da etkin olarak kullanımı artmıştır. Günümüz koşullarında hem yerel ve hem de küresel ölçekte, ileri düzey risk potansiyeli nedeni ile, içinde aktif pilotun görev aldığı uçakların kullanımının azaltılması öngörülmektedir. Bu süreçteki kayıpların telafisine yönelik, İHA kullanımının artırılması hedeflenmiştir. Tam, yarı ve manuel otonom modlar, alçak, yüksek ve orta irtifada düşük ve yüksek süratte görev yapan İHA sistemine TCAS entegrasyonu, hava sahalarının güvenliği açısından zorunluluk haline gelmiştir. Geleceğe yönelik küresel ölçekteki havacılık uygulamaları içerikli tüm planlamalarda, özellikle ön planda tutulan güvenlik unsuruna yatırım ekseninde, havada çarpışma önleyici sistem geliştirme çalışmaları bulunmaktadır. Yazılım ve donanım odaklı teknolojik gelişmelerin desteği ile kullanım ve uygulama alanları artışında ivmeli bir süreç yaşayan TCAS Sistemi, ülkemizin sivil ve askeri havacılık uygulamalarının vazgeçilemeyen ve sürekli gelişim ve güncelleme sürecinde olan bileşeni konumunda yer almaktadır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Kullanılan verilerin gizliliği ve güvenliği açısından getirilen kısıtlamalar nedeni ile, hazırlık sürecinde yapılan deneyimleme, saha ve uygulama aşamalarının ayrıntılarına makalede yer verilememiştir.

Yazarların Katkısı

Yazar1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Görselleştirme, Analiz ve Modelleme.

Yazar2: İnceleme, Düzenleme, Doğrulama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Acar Ö B (2013). İnsansız Hava Araçları ve Sertifikasyon Çalışmaları STANAG 4671 & STANAG 4702, 29-54.
- Barnhart R K (2012). Introduction to Unmanned Aircraft Systems. *CRC Press*, ISBN: 978-1-4398-3521-0.
- Billingsley T B (2006). Safety analysis of TCAS on Global Hawk using airspace encounter models. *Doctoral dissertation*, Massachusetts Institute of Technology, 66p.
- DeGarmo M T & Nelson G (2004). Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System. *AIAA 4th Aviation Technology, Integration and Operations (ATIO) Forum*. Chiago, USA.
- DeGarmo M T (2004). Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. Center for Advanced Aviation System Development. *Virginia*, 9-25.
- EUROCONTROL (2012). "Airborne Collision Avoidance System II (incorporating version 7.1) GUIDE, [Erişim Tarihi: 01.01.2023], <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-03/eurocontrol-safety-acas-guide-4-1.pdf>
- Frost & Sullivan (2001). ATC: Problems to be solved. *The Journal Of Global Airspace Avionics*, 34-36.
- Harrington C (2007). USAF contemplates unmanned jet option, [Erişim Tarihi 01.01.2023], http://www.janes.com/news/defence/air/jdw/jdw07_1024_2_n.shtml <https://www.sasad.org.tr/etiket/savunma-sanayi-mustesarligi>
- Karaağaç C (2014). Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri. *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı*, İstanbul, Türkiye.
- Kuchar J E & Drumm A C (2007). The traffic alert and collision avoidance system. *Lincoln Laboratory Journal* 16(2), 277.
- Meyer J, Göttken M, Vernaleken C & Schärer S (2014). Automatic traffic alert and collision avoidance system (TCAS) onboard UAS. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, ISBN : 978-90-481-9706-4.
- Savunma Sanayii Müsteşarlığı (2012). İHA Sistemleri Yol Haritası (2011-2030), [Erişim Tarihi: 01.01.2023],

Szabolcsi, R. (2014). A new approach of certification of the airworthiness of the UAV automatic flight control systems. *Land Forces Academy Review*, 19(4), 423-431.

USAFCS (2010). United States Air Force Chief Scientist (USAFCS) AF/ST-TR-10-01-PR Technology Horizons: A Vision for Air Force Science &

Technology During 2010-2030, [Erişim Tarihi: 01.01.2023],
https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0126_TECHNOLOGYHORIZONS.pdf

Valavanis K P & Vachtsevanos G J (2014) Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. *Springer*, ISBN: 978-9048197064.



© Author(s) 2023.

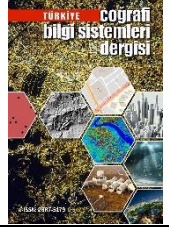
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Arazi kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişikliklerinin Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemi ile İzlenmesi: Mersin, Türkiye Örneği

Mehmet Özgür Çelik*¹, Murat Yakar¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

ÖZ

Arazi kullanımı (AK) / arazi örtüsü (AÖ) değişikliğinin izlenmesini amaçlayan bu vaka çalışmasında, Türkiye'nin güneyinde yer alan ve kentleşme baskısı altında olan Mersin'de uygulama gerçekleştirilmiştir. 2000, 2006, 2012, 2018 ve 2022 yıllarına ait AK / AÖ veri seti kullanılarak arazi kullanımı 5 farklı sınıfa ("kırık arazi", "yerleşim yeri", "bitki örtüsü", "tarım alanı" ve "su kütlesi") ayrılmış ve haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalardan ikili karşılaştırma haritaları türetilmiş ve alansal değişimler grafikler ile sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre, 2000 yılından 2022 yılına gelindiğinde yerleşim yerinin (%69.26) önemli ölçüde arttığı, bitki örtüsünün (%22.90) artış gösterdiği, tarım alanının (-%65.45), kırık arazinin (-%42.11) ve su kütlesinin (-%20.99) ise azaldığı tespit edilmiştir. Uygulama, çalışma alanındaki değişimleri, gelişme yön ve büyüklüğünü gözler önüne sermektedir. Sonuç olarak, kentleşme baskısı altında olan bölgede AK / AÖ değişikliğinin izlenmesi sürdürülebilir kent yönetimi için önemlidir.

Anahtar Kelimeler:

AK / AÖ
Uzaktan algılama
CBS
Sürdürülebilir kent yönetimi

Monitoring Land Use and Land Cover Change Using Remote Sensing and GIS: A Case Study in Mersin, Türkiye

ABSTRACT

The application was carried out in Mersin, which is located in the south of Turkey and is under the pressure of urbanization, in this case study, which intends to monitor land use (LU) / land cover (LC) change. Land use was classified into five categories using the LU / LC data set for the years 2000, 2006, 2012, 2018, and 2022 ("barren land", "built-up area", "vegetation", "agriculture", and "water body"). After that, the maps were generated. These maps were used to generate pairwise comparison maps, and graphs were used to depict areal changes. According to the findings, the built-up area (69.26%) increased significantly from 2000 to 2022, vegetation (22.90%) showed an increase, while the agricultural area (-65.45%), barren land (-42.11), water body (-20.99) decreased. The application indicates changes in the field of study, as well as the direction and scale of the development. As a result, monitoring the LU / LC change in the region under urbanization pressure is critical for sustainable urban management.

Keywords:

LU / LC
Remote sensing
GIS
Sustainable urban management

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster

*(mozgurcelik@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4569-888X
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251

Çelik M Ö & Yakar M (2023). Arazi kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişikliklerinin Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemi ile İzlenmesi: Mersin, Türkiye Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 43-51.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfusa bağlı olarak hızlı ve sürekli kentleşme, arazi kullanımını (AK) / arazi örtüsünü (AÖ) değiştirmektedir (Mishra vd., 2022). Bu değişim çevreyi ve toplumların yaşam kalitesini etkilemektedir. Tarımsal faaliyetler, yapılaşma, altyapı geliştirme ve doğal alanların korunması gibi birçok farklı arazi kullanımı türü bulunmaktadır (Shah vd., 2022). Bunlar da arazi örtüsünde değişime sebep olmaktadır (Hussain & Karuppanan, 2023). Değişim genel olarak doğal ve kırsal alanları azaltma, kentsel alanları ise artırma eğilimindedir (Shafiq & Mahmood, 2022). Kentsel alanların yükselme trendinde olmasının başlıca nedeni nüfusun artması olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2022). Kentleşme dünya çapında arazi üzerinde büyük baskı oluşturmakta ve arazi kullanımının dolayısıyla arazi örtüsünün değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Küresel anlamda, nüfusun yaklaşık %56'sının kentlerde yaşaması baskıyı gözler önüne sermektedir (The World Bank, 2023). Ayrıca, 2050'de bu oranın %68'e çıkacağı dikkate alındığında, baskının daha da artacağı tahmin edilmektedir (BM, 2018). Türkiye ölçeğinde bakıldığında ise, kentlerde yaşayan nüfus 2022 yılının sonu itibarıyla %67.9'dur (TÜİK, 2023a).

Kentleşmenin hızla artması hava ve gürültü kirliliği, sel, yangın, taşkın gibi doğal afetlerle birlikte sosyoekonomik yapının bozulması, yaşam standartlarının düşmesi sorunlarına ve temiz su, altyapı, kanalizasyon gibi kamu hizmetlerinin aksamasına sebebiyet verebilmektedir (Tong vd., 2022; Cheng & Hu, 2023). Özellikle, bu olumsuz durumlar az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için önemli sorun teşkil etmektedir (Cheng vd., 2022; Gull & Mahmood, 2022).

Kentleşme baskısı altında olan bölgelerin planlı, ihtiyaçları karşılayacak şekilde ve çevreye uyumlu olarak

büyümesi sürdürülebilir kent yönetimi açısından son derece önemlidir (Çoruhlu & Çelik, 2022; Unel & Yalpir, 2023). Bunun gerçekleştirilebilmesi için de kentleşmenin sebep olduğu AK / AÖ değişikliğinin izlenmesi gerekmektedir. Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bu değişikliğin tespit edilmesi ve izlenmesinde kullanılan güvenilir yöntemler arasında yer almaktadır (Kucukali & Kuşak, 2018; Ayazlı vd., 2020; Iban & Sahin, 2022; Bozkurt vd., 2023; Seyam vd., 2023; Türk & Balçık, 2023). UA ve CBS'nin entegrasyonu mekânsal ve görsel çıkarımlar yapılmasına imkân tanıyan uygun maliyetli bir araçtır (Doğan & Yakar, 218; Kusak vd., 2021; Coruhlu vd., 2022; Das Barnali & Dhorde, 2022; Erdem, 2022; Fidan & Ulvi, 2022; Oğuz vd., 2022; Tona vd., 2022; Ünel vd., 2023). UA ve CBS ile AK / AÖ'nün sık izlenmesi meydana gelen değişikliğin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Singh vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, Landsat 5 ve 8 verileri ile Hindistan'ın Manipur eyaletinin AK / AÖ değişimi CBS tabanlı UA yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Seyam vd. (2023)'ün yapmış olduğu çalışmada, sürdürülebilir arazi yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için Bangladeş'in Mymensingh Bhaluka bölgesinin Landsat 7 ve 8 uydu görüntüleri kullanılarak AK / AÖ değişimi UA ve CBS yöntemi ile belirlenmiştir. Alshari & Gawali (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise UA ve CBS kullanılarak AK / AÖ için farklı sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiş olup bunun için literatürde yer alan 220 çalışmadan yararlanılmıştır.

Literatürde AK / AÖ değişimini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda UA ve CBS yöntemi içerisinde yer alan birçok farklı yöntem ve veriler kullanılmaktadır. Literatürde yer alan bu çalışmaların bazıları tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. AK / AÖ ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalarda kullanılan yöntem ve veriler

Referans	Yöntem	Veri				
		Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8	CLC	DEM
Iban & Sahin, (2022)	Random Forest (RF)			●		
Seyam vd. (2023)	Maximum Likelihood (ML)		●	●		
Darem vd. (2023)	Maximum Likelihood (ML)	●			●	
Kumar & Agrawal (2023)	Markov Chain (MC)	●	●	●		
Das vd. (2021)	Supervised Classification (SC)			●		●
Kaya & Demir (2022)	UA & CBS				●	
Natarajan vd. (2016)	ISO Cluster & Maximum Likelihood (ML)			●		
Twisa & Buchroithner (2019)	Maximum Likelihood (ML) & Hybrid Classification	●	●	●		

Son yıllarda nüfusu artan Mersin, kentleşme baskısı altında bulunmaktadır. 2022 yılı sonu itibarıyla kentte yaşayan nüfus %86.34'tür (TÜİK, 2023b) ve giderek kentleşme baskısı artmaktadır. Bu kapsamda, Mersin'in zaman içerisinde meydana gelen AK / AÖ değişikliğinin izlenmesi, kentin büyüme yön ve niteliğinin belirlenmesi ve de sürdürülebilir kent yönetimi için önemlidir.

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde yer alan Mersin'de uygulama gerçekleştirilmiştir. 2000 ile 2022 yılları arasında Mersin'in AK / AÖ tespit edilmiş, meydana gelen değişiklikler izlenmiştir. Bunun için çalışma alanına ait AK / AÖ verileri temin edilmiştir. Veriler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve

Mersin'in çevre ile uyumlu sürdürülebilir kent yönetimine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

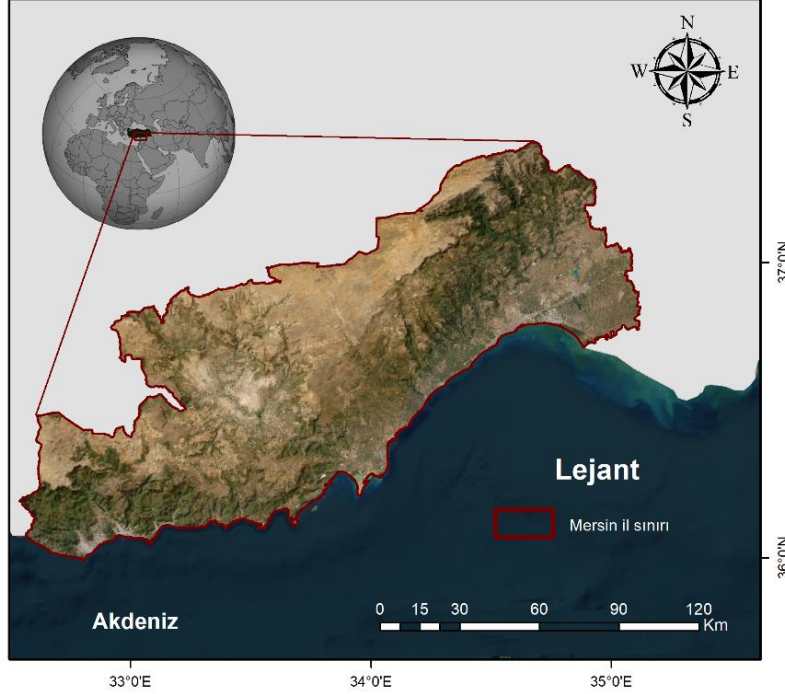
2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Türkiye'nin güney bölgesinde 36–37° Kuzey enlemleri ile 33–35° Doğu boylamları arasında yer alan Mersin ilidir (Şekil 1). Yüzölçümü 15853 km² olup, nüfusu 1,916,432'dir (TÜİK, 2023b).

Mersin şehir merkezinde ve denize kıyı ilçelerde rakım 0 ile 10 m arasında değişkenlik gösterirken, Mersin'inin en yüksek noktası olan Toros Dağları'nda rakım 3500 m'ye kadar ulaşmaktadır (Bekçi, 2022; Bekçi

& Kuşak, 2022). Topoğrafik özellikleri dikkate alındığında, yapılaşmanın ve nüfus yoğunluğunun sahil kesiminde bulunduğu söylemek mümkündür. Yüksek kesimlerde yapılaşma az olmakla birlikte orman alanları fazlalık göstermektedir. Dağlık olan bu yüksek kesimlerde birincil geçim kaynağı hayvancılıktır. Eğimin az olduğu bölgeler ve ovalarda ise ağırlıklı olarak arazi

kullanım şekli tarımdır. Nüfusun özellikle son 15 yıl içerisinde hızla yükselmesi Mersin'de kentleşmeyi artırmıştır. Giderek artan nüfus arazi üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bu kentleşme baskısının belirlenmesi adına AK / AÖ değişikliğinin izlenmesi için çalışma alanı olarak Mersin seçilmiştir.



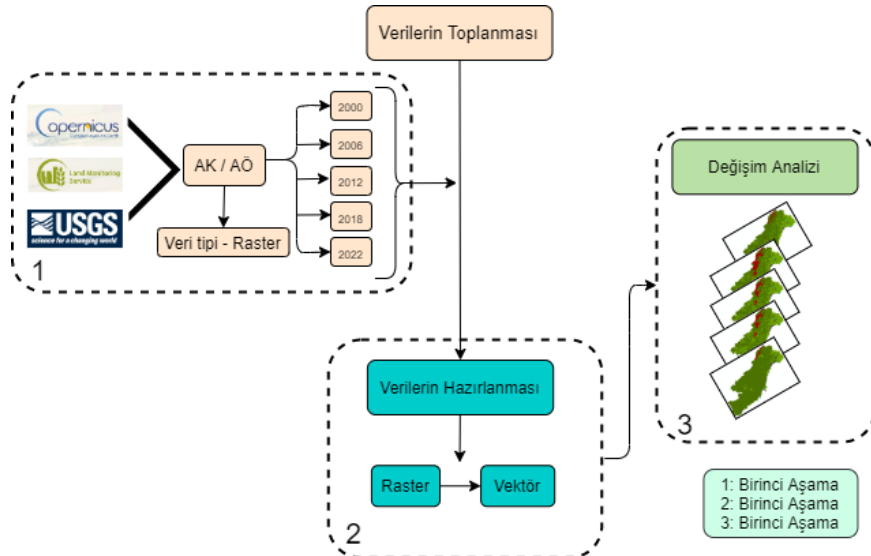
Şekil 1. Çalışma alanı

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada Mersin ilinde zaman içerisinde meydana gelen AK / AÖ değişiklikleri tespit edilmesi için 3 ana aşamadan oluşan bir metot uygulanmıştır (Şekil 2). İlk aşamada, AK / AÖ verileri temin edilmiştir. 2000-2018 yılları arasında 6 yıllık periyotlar halinde olmak üzere Copernicus Land Monitoring Service'de yer alan Corine Land Cover (CLC) veri setinden 4 adet AK / AÖ verisi elde edilmiştir (Copernicus, 2023a). 2022 yılına ait

AK / AÖ verisi ise USGS EarthExplorer'dan MODIS Land Cover veri setinden elde edilmiştir (USGS, 2023). İkinci aşamada, analizlerin yapılabilmesi için toplamda 5 adet raster formatta AK / AÖ verisi vektör formata dönüştürülmüştür. Son aşamada ise, AK / AÖ tespit edilmiş ve meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

Verilerin analizi ve sınıflandırılması için ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır. Yıllara göre AK / AÖ haritalarının oluşturulması ve tanımlanan sınıflarda alan hesapları bu yazılımda gerçekleştirilmiştir. Değişimlerin grafiksel sunumu için Microsoft Excel kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışma metodunun akış şeması

3.1. Verilerin Hazırlanması

Çalışma alanına ait AK / AÖ değişikliğinin tespit edilebilmesi için 2000, 2006, 2012, 2018 ve 2022 yıllarına ait raster AK / AÖ verisi temin edilmiştir. İlk dört veri seti, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin görsel olarak yorumlanmasıyla elde edilen 100 m mekânsal çözünürlüğe sahip CLC veri setinden temin edilmiştir (Copernicus, 2023b). 2022 yılına ait CLC verisi olmaması nedeniyle bu yıla ait veri, CLC'ye göre daha düşük çözünürlükte veri seti sunan orta çözünürlüklü MODIS'ten temin edilmiştir (MODIS, 2023). Bu veriler çalışma alanı sınırlarına göre kesilmiş ve analiz için vektör formata dönüştürülmüştür.

3.2. Verilerin Analizi

Vektör formattaki AK / AÖ'nün analizi için öncelikle ArcGIS programında veriler sınıflandırılmıştır. "Kıraç arazi", "yerleşim yeri", "bitki örtüsü", "tarım alanı" ve "su kütlesi" olmak üzere toplamda 5 sınıfta veriler kategorize edilmiştir (Tablo 2). Sınıflar içerisinde bulunan yerlerin alan hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırmaya göre farklı yıllara ait AK / AÖ haritaları yine bu programda oluşturulmuştur. Yıllar arasında (2000-2006, 2006-2012, 2012-2018 ve 2018-2022) meydana gelen AK / AÖ değişikliklerine ait haritalar üretilmiştir. Farklı sınıflara ait AK / AÖ değişiklikleri, Microsoft Excel aracılığıyla oluşturulan grafikler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan AK / AÖ verilerinin sınıflandırılması

AK / AÖ sınıfı	Veri	
	CLC sınıfı	MODIS sınıfı
Kıraç arazi	Çıplak kayalar, kumlar, yanmış alanlar	Kıraç alanlar
Yerleşim yeri	Havaalanı, inşaat siteleri, kesintisiz ve kesintili kentsel doku, ticari alanlar, maden çıkarma alanları, spor ve eğlence tesisleri	Kentsel alanlar ve yerleşim alanları
Bitki örtüsü	Ormanlar, yeşil kentsel alanlar, doğal otlaklar, meralar, bitki örtüsü, çalılar	Ormanlar, çalılıklar, savanlar, otlaklar
Tarım alanı	Ekim alanları, meyve tarlaları, tarım alanları, sulanan ve sulanmayan ekilebilir alanlar,	Ekinler, tarım arazileri
Su kütlesi	Su kütlesi, akarsular, bataklıklar	Su kütleleri

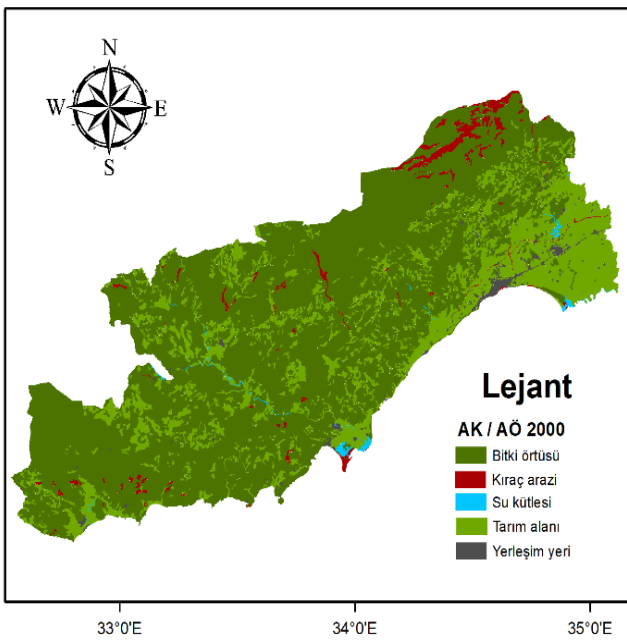
4. BULGULAR

4.1. AK / AÖ 2000

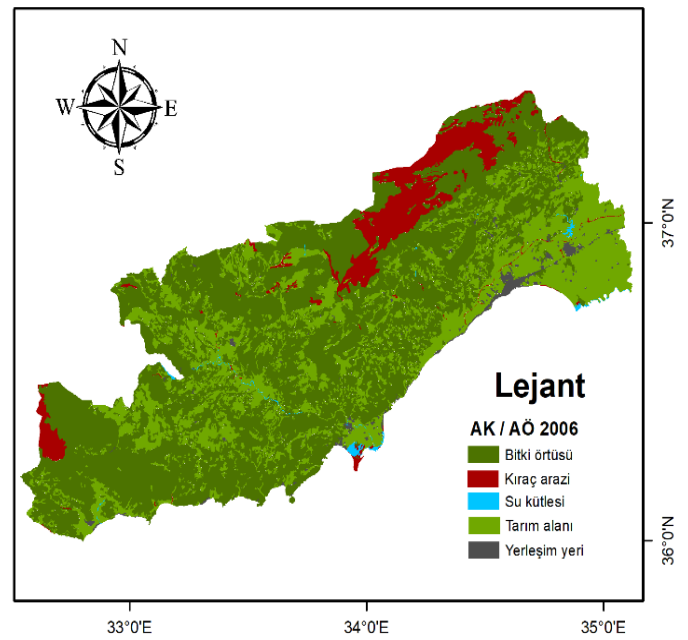
Mersin'in 2000 yılına ait AK / AÖ haritası incelendiğinde bitki örtüsünün diğer sınıflara göre daha fazla yer kapladığı görülmektedir (Şekil 3). Bitki örtüsü çalışma alanının %71.57'sini (11501.10 km^2), yerleşim yeri %1.13'ünü (181.52 km^2), kıraç arazi %2.16'sını (347.16 km^2), tarım alanı %24.68'ini (3965.35 km^2), ve su kütlesi %0.46'sını (74.22 km^2) oluşturmaktadır.

4.2. AK / AÖ 2006

2006 yılına ait AK / AÖ haritasında kıraç arazinin ve yerleşim yerinin artmaya başladığı tespit edilmektedir (Şekil 4). Kıraç arazi çalışma alanının %7.50'sini (120.472 km^2) oluştururken yerleşim yeri %1.35'ini (216.90 km^2) oluşturmaktadır. Diğer sınıfların kaplamış olduğu alanlar ise bitki örtüsü %59.58 (9574.88 km^2), tarım alanı %31.19 (5011.17 km^2) ve su kütlesi ise %0.38'tir (61.67 km^2).



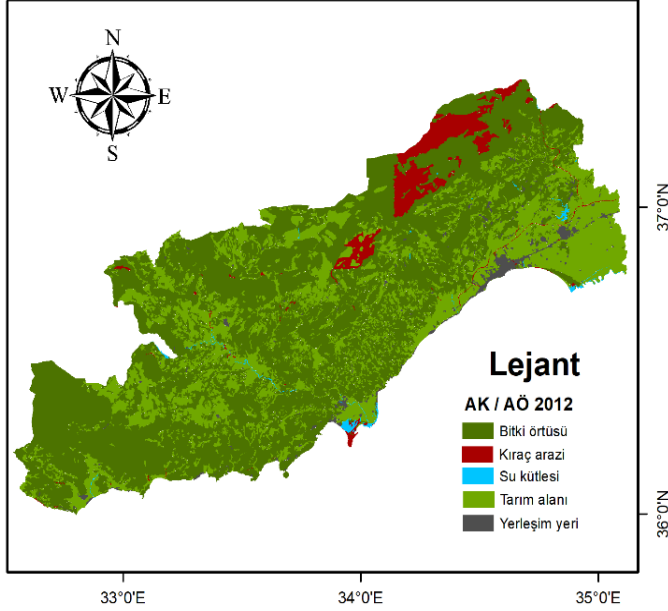
Şekil 3. AK / AÖ 2000 haritası



Şekil 4. AK / AÖ 2006 haritası

4.3. AK / AÖ 2012

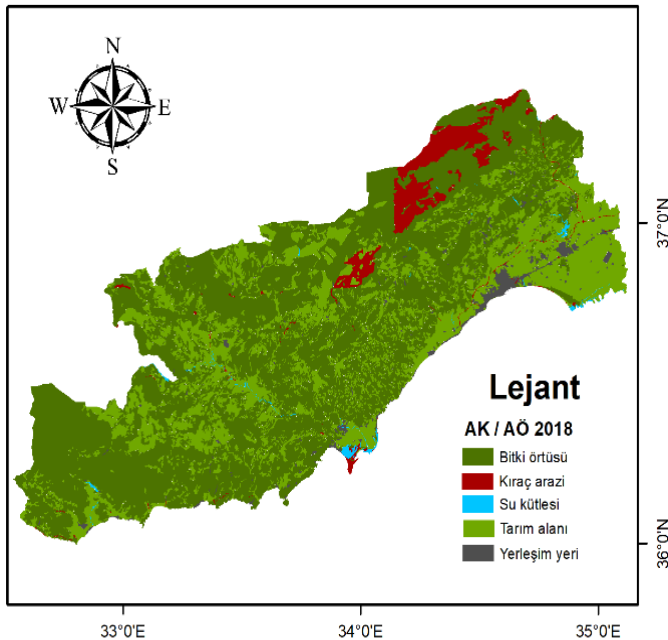
2012 yılına ait AK / AÖ haritası şekil 5'te sunulmuştur. Önceki iki veri setine benzer şekilde yerleşim yerinin artış trendinde olduğu görülmektedir. Buna göre çalışma alanının %4.35'i (699.49 km^2) kıraç arazi, %1.60'ı (256.18 km^2) yerleşim yeri, %62.12'si (9982.89 km^2) bitki örtüsü, %31.49'i (5060.37 km^2) tarım alanı ve %0.44'i (70.37 km^2) su kütlesidir.



Şekil 5. AK / AÖ 2012 haritası

4.4. AK / AÖ 2018

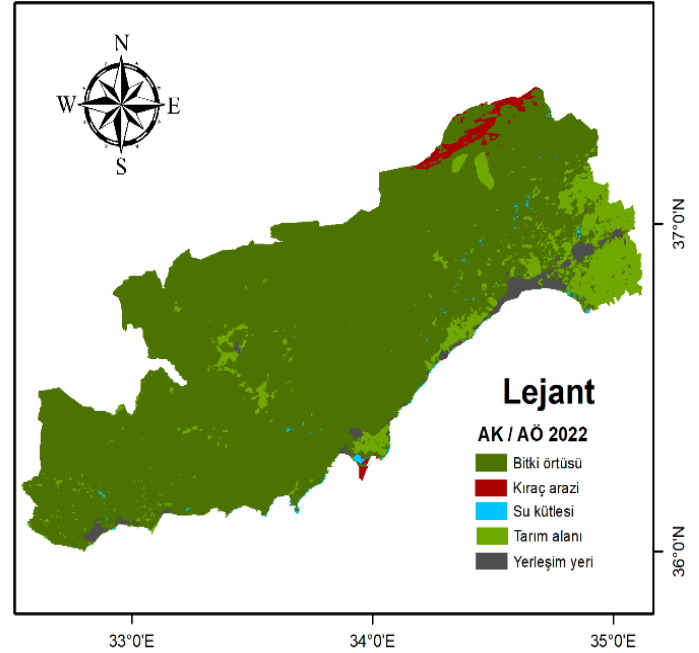
AK / AÖ 2018 verisi 2000, 2006 ve 2012 yıllarına ait verileri gibi CLC'den temin edilmiştir. Bu veride en fazla alanı %62.03 (9968.29 km^2) ile bitki örtüsü oluşturmaktadır. Daha sonra ise sırasıyla %31.34 (5034.33 km^2) tarım alanı, %4.37 (702.74 km^2) kıraç arazi, %1.80 (289.33 km^2) yerleşim yeri ve %0.46 (74.45 km^2) su kütlesidir (Şekil 6).



Şekil 6. AK / AÖ 2018 haritası

4.5. AK / AÖ 2022

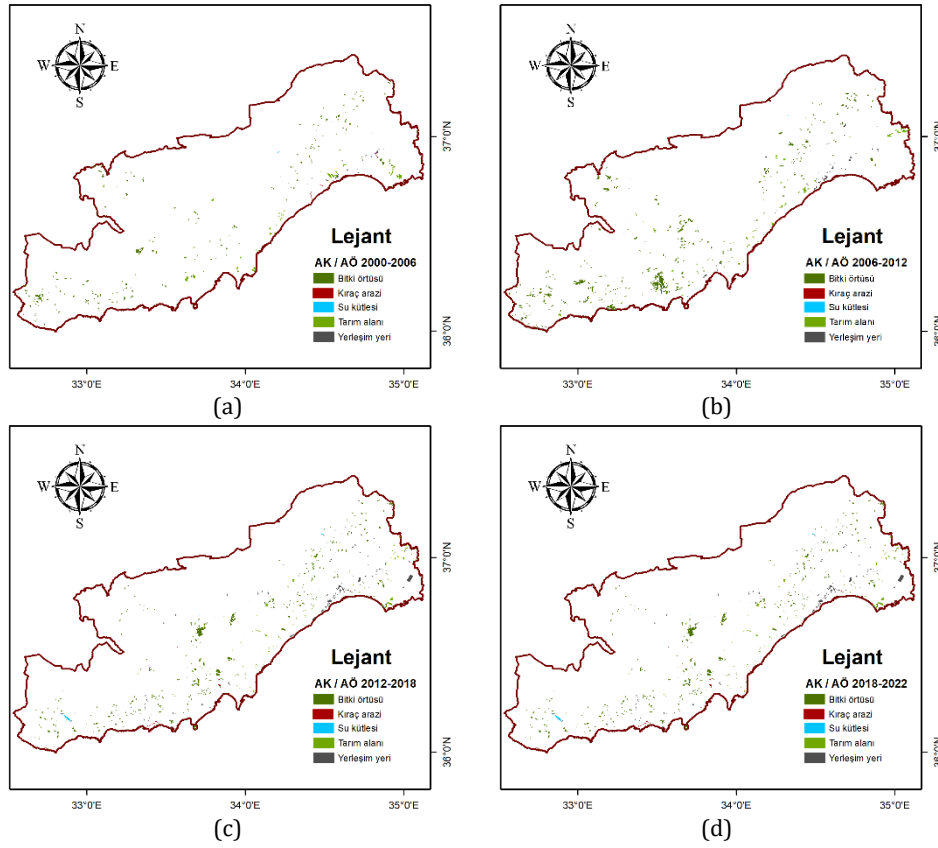
Son veri seti olan AK / AÖ 2022 diğerlerinden farklı olarak MODIS'ten elde edilmiştir. Belirtilen yıllar içerisinde (2000-2022) nüfusun sürekli ve düzenli şekilde artması sonucunda arazi üzerinde oluşan kentleşme baskısı bu veri setinde büyük oranda görülmektedir (Şekil 7). Beş sınıftan oluşan veride en yüksek yer kaplayan sınıf %87.95 (14135.17 km^2) ile bitki örtüsü iken, en az alana sahip sınıf %0.36 (58.64 km^2) ile su kütlesi olmuştur.



Şekil 7. AK / AÖ 2022 haritası

4.6. AK / AÖ'de Zaman İçerisinde Meydana Gelen Değişiklikler

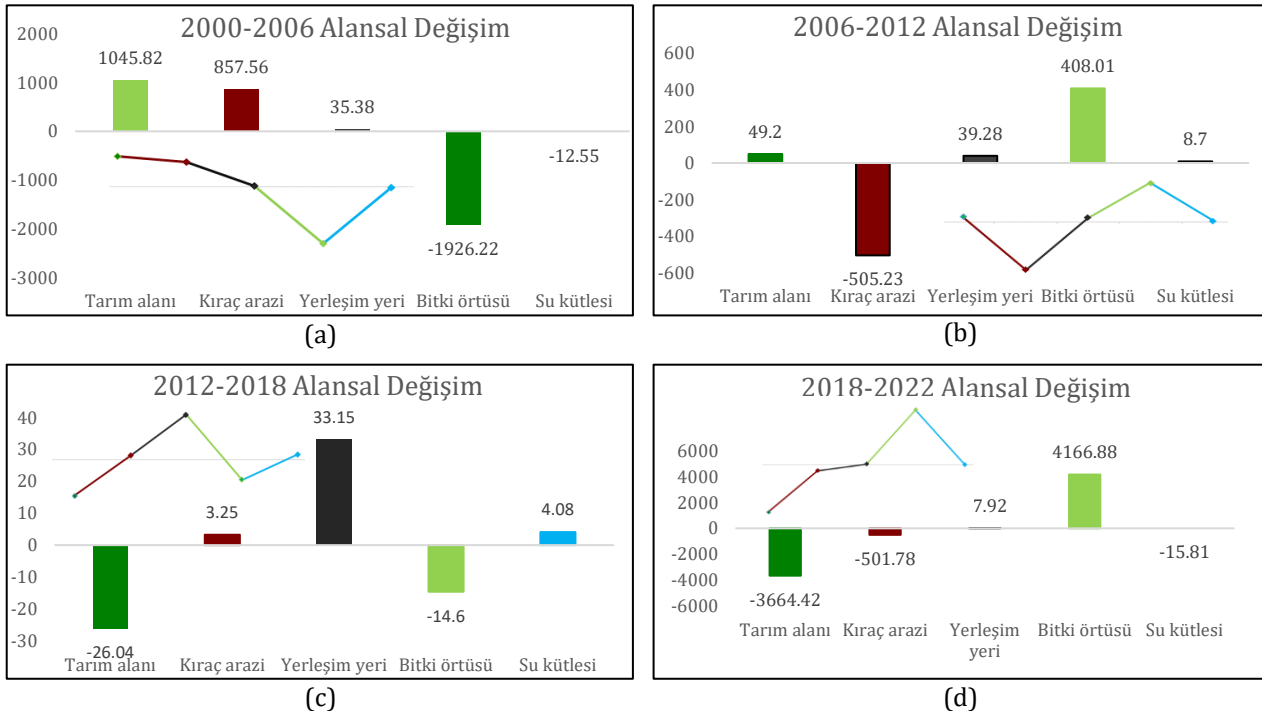
2000 yılından 2022 yılına kadar AK / AÖ'deki değişiklikler oluşturulan ikili karşılaştırma haritalarıyla görselleştirilmiştir. "2000-2006" ile ilk 6 yıllık periyottaki değişikliklere, "2006-2012" ile ikinci 6 yıllık zaman dilimi içerisinde sınıflarda meydana gelen değişikliklere, "2012-2018" ile son 6 yıllık dilim içerisinde oluşan değişikliklere ve "2018-2022" ile de 4 yıllık zaman içerisindeki değişikliklere ulaşılabilmektedir. İkili yıllara ait olmak üzere toplamda 4 adet harita oluşturulmuştur. Bu haritalar Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. (a) 2000-2006 yılları arasındaki değişim haritası, (b) 2006-2012 yılları arasındaki değişim haritası, (c) 2012-2018 yılları arasındaki değişim haritası, (d) 2018-2022 yılları arasındaki değişim haritası

Meydana gelen değişiklikler yapılan analizler ile ortaya konmuştur (Şekil 9). İlk 6 yıllık değişim sonucunda bitki örtüsü ve su kütlesi sırasıyla 1926.22 km^2 ve 12.55 km^2 azalmışken, yerleşim yeri 35.38 km^2 artmıştır (Şekil 9a). İkinci 6 yıllık periyotta tek azalan sınıf kırıç arazi (505.23 km^2) iken, yerleşim yeri 39.28 km^2 artış göstermiştir (Şekil 9b). 2012-2018 yılları

arasında tarım alanı ve bitki örtüsü azalırken (26.04 km^2 , 14.60 km^2), kırıç arazi, yerleşim yeri ve su kütlesi (3.25 km^2 , 33.15 km^2 , 4.08 km^2) artış göstermiştir (Şekil 9c). Son 6 yıllık zaman diliminde ise yerleşim yeri 17.92 km^2 artarken, tarım alanında 3664.42 km^2 azalma meydana gelmiştir. 2018-2022 yılları arasında meydana tarım alanı ve bitki örtüsündeki değişiklikler diğer dönemlere göre daha fazla olmuştur (Şekil 9d).



Şekil 9. (a) 2000-2006, (b) 2006-2012, (c) 2012-2018 yılları, (d) 2018-2022 yılları arasındaki alansal değişim grafikleri

5. TARTIŞMA

Çalışma alanında, nüfusun sürekli olarak yükselmesi kentleşmenin artmasını tetiklemektedir. Bu durum da AK / AÖ'nün hızlı bir şekilde değişim göstermesine sebebiyet vermektedir. Yıllar içerisinde meydana gelen AK / AÖ'deki değişiklikler irdelendiğinde, 2000 yılında 3965.35 km^2 olan tarım alanı, 2022 yılında 1369.91 km^2 'ye gerilemiştir. Mersin'nin coğrafi konumu ve arazi kullanım şekli dikkate alındığında, tarım alanları ve tarım ürünlerinin önemli yer tuttuğunu ifade etmek mümkündür. Bu kapsamda, Seyam et al. (2023)'ün de vurguladığı üzere tarım alanının azalması sürdürülebilir gıda arzı ve gıda güvenliği için son derece önemlidir.

Her ne kadar bu çalışmada tarım alanının azalmasına neden olan etkenler araştırılmamış olsa da bu durumu incelemek dikkate değerdir. Chen et al. (2021) ve Islam et al. (2021)'in ifade ettiği üzere tarım alanının azalmasının başlıca nedenleri tarım ürünlerinin ekonomik değerinin azalması, toplumlara ve karar vericilerin tutumu, farklı alanlara yönelim ve de küresel iklim değişikliği sonucunda verimin düşmesi olarak sıralanabilir. Buna göre çalışma alanı özelinde, AK / AÖ veri setleri göz önüne alındığında, tarım alanının azalmasının başlıca nedenleri arasında kentleşmeyle birlikte bu alanların yerleşime açılması olarak ifade edilebilir. 2000-2022 yılları arasında tarım alanındaki azalma ile yerleşim yerindeki artma miktarı bu ihtimali destekler niteliktedir.

AK / AÖ'deki veri setleri içerisinde yıllar içerisinde sürekli olarak artışın meydana geldiği sınıf yerleşim yeri olmuştur. 2000 yılında 181.52 km^2 iken, 2022 yılında 307.25 km^2 'ye yükselmiştir. Bu durumun oluşmasında çalışma alanının hızla gelişmesi, coğrafi konumu, ulaşım ağının özellikle son 5 yılda iyileşmesi ve yenilenmesi, farklı yerlerden göç alması gibi etkenlerin etkili olduğunu söylemek mümkündür. Tüm bu nedenler çalışma alanında kentleşme baskısını giderek artırmaktadır.

22 yıllık süreçte AK / AÖ veri setinde en az değişim olan sınıf su kütlesi olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, 2000 yılına göre 15.58 km^2 azalış göstermiştir. Alam et al. (2017)'nin de çalışmasında vurguladığı üzere nüfus ve kentleşmenin artması su kullanımının yükselmesini tetiklemektedir. Akdeniz bölgesinde bulunması itibarıyla, küresel iklim değişikliği tehdit altında olan çalışma alanı su stresi altında bulunmaktadır (Yıldırım vd., 2021). İlerleyen dönemlerde bu olumsuz durumun devam etmesi halinde kuraklaşacağı tahmin edilen bölgede AK / AÖ son derece önem arz etmektedir (Çelik & Gülersoy, 2018). Arazi kullanımının yerleşim yeri şeklinde tercih edilmesi arazi örtüsünün değişmesine ve su kaynaklarının azalmasına neden olabilmektedir (Kaya & Demir (2022). Bu yüzden, çevreye uyumlu sürdürülebilir kent yönetimi anlayışının Orhan (2021)'nin de ifade ettiği üzere benimsenmesi gerekmektedir.

6. SONUÇLAR

Çalışmada yoğun kentleşme baskısı altından bulunan, arazi kullanım türü olarak yerleşim yeri sınıfının ağırlık kazanmaya başladığı ve buna bağlı olarak

araz örtüsünde değişimlerin meydana geldiği Mersin'de uygulama gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan 5 farklı AK / AÖ haritaları bu veri setlerinde yer alan sınıfların yıllara göre dağılımını göstermektedir. Buna ek olarak, yıllar içerisinde sınıflarda meydana gelen değişiklikler ikili karşılaştırma haritalarında ortaya konmuş ve alansal değişimler grafikler ile sunulmuştur.

2000-2022 yılları arasında izlenen AK / AÖ değişikliği sonucunda çalışma alanının büyüme yön ve niteliğinin tespit edilmesi, karar vericiler için değerli bir altlık görevi üstlenmektedir. Yerel ve merkezi yönetimlerin sürdürülebilir kent yönetimini gerçekleştirilmesine katkı sağlayacağı umut edilmektedir.

Bununla birlikte, çalışmanın sınırlı noktalarının olduğunu ifade etmek mümkündür. Bölge veya il gibi büyük alanlar için küçük ölçekli araştırmalarda kullanılan verilerin mekânsal çözünürlüğü genellikle çok yüksek (30, 10, 5m vb.) tercih edilmektedir. Bu kapsamda değerlendirilecek çalışmada da orta çözünürlükte veriler kullanılmıştır. Çalışma alanının büyük ve verilerin yüksek çözünürlüklü olması veri boyutunu yükselteceği için analiz ve depolama problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, ifade edilen alanlarda ağırlıklı olarak daha düşük boyutlu orta çözünürlüklü veriler kullanılmaktadır. Ancak, daha detaylı analizler için kullanılan verilerin mekânsal çözünürlüğü yeterli değildir. Küçük alanlarda büyük ölçekli yapılacak çalışmalarda mekânsal çözünürlüğü yüksek olan veriler kullanmak, daha sağlıklı ve doğru analizlerin gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

Yazarların Katkısı

Yazar1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, taslak hazırlama, uygulama.

Yazar2: Görselleştirme, İnceleme, Düzenleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Alam M Z, Carpenter-Boggs L, Rahman A, Haque M M, Miah M R U, Moniruzzaman M, Qayum M A & Abdullah H M (2017). Water quality and resident perceptions of declining ecosystem services at Shitalakka wetland in Narayanganj city. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2017.03.002>
- Alshari E A, & Gawali B W (2021). Development of classification system for LULC using remote sensing and GIS. *Global transitions proceedings*, 2(1), 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.01.002>

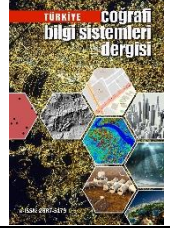
- Ayazlı İ E, Boyraz S, Başçı M A & Ulusu E (2020). Kentleşmenin karmaşıklık düzeyinin belirlenmesi ve coğrafi dağılımının araştırılması. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 2(2), 57-63.
- Bekçi R N & Kuşak L (2022). Mekânsal Çözünürlüğün Güneşlenme Potansiyeline Etkisi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 4(1), 46-51. <https://doi.org/10.51534/tiha.1142117>
- Bekçi R N (2022). Güneş Potansiyeli Analizi Ve İnternet Tabanlı CBS Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s.
- BM (2018). BM Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi, [Erişim Tarihi: 15.05.2023], <https://www.un.org/sw/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un>
- Bozkurt S G, Kuşak L & Akkemik Ü (2023). Correction to: Investigation of land cover (LC)/land use (LU) change affecting forest and seminatural ecosystems in Istanbul (Turkey) metropolitan area between 1990 and 2018. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195:196, 399. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10785-3>
- Çelik M A & Gülersoy A E (2018). Climate classification and drought analysis of Mersin. *Manisa Celal Bayar University Journal of Social Sciences*, 16(1), 1-26. <https://doi.org/10.18026/cbayarsos.411475>
- Chen M, Atiqul Haq S M, Ahmed K J, Hussain A B & Ahmed M N Q (2021). The link between climate change, food security and fertility: The case of Bangladesh. *PLoS One*, 16(10), e0258196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258196>
- Cheng L, Mi Z, Sudmant A & Coffman D M (2022). Bigger cities better climate? Results from an analysis of urban areas in China. *Energy Economics*, 107, 105872. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105872>
- Cheng Z & Hu X (2023). The effects of urbanization and urban sprawl on CO2 emissions in China. *Environment, Development and Sustainability*, 25(2), 1792-1808. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02123-x>
- Copernicus (2023a). Copernicus Land Monitoring Service, [Erişim Tarihi: 27.04.2023], <https://land.copernicus.eu/>
- Copernicus (2023b). Copernicus Land Monitoring Service [Erişim Tarihi: 27.04.2023], <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Coruhlu Y E, Solgun N, Baser V, & Terzi F (2022). Revealing the solar energy potential by integration of GIS and AHP in order to compare decisions of the land use on the environmental plans. *Land Use Policy*, 113, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105899>
- Çoruhlu Y E & Çelik M Ö (2022). Protected area geographical management model from design to implementation for specially protected environment area. *Land Use Policy*, 122, 106357. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106357>
- Darem A A, Alhashmi A A, Almadani A M, Alanazi A K & Sutantra G A (2023). Development of a map for land use and land cover classification of the Northern Border Region using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(2), 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.04.005>
- Das B, Singh S, Jain S K & Thakur P K (2021). Prioritization of sub-basins of Gomti river for soil and water conservation through morphometric and LULC analysis using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49, 2503-2522. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01410-w>
- Das Barnali & Dhorde A (2022). Assessment of shoreline change and its relation with Mangrove vegetation: A case study over North Konkan region of Raigad, Maharashtra, India. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 101-111. <https://doi.org/10.26833/ijeg.912657>
- Doğan Y & Yakar M (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. <https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>
- Erdem F (2022). Risk assessment with the fuzzy logic method for Ankara OIZ environmental waste water treatment plant. *Turkish Journal of Engineering*, 6(4), 268-275. <https://doi.org/10.31127/tuje.975623>
- Fidan D & Ulvi A (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Alternatif Havalimanı Konumlarının Belirlenmesi; Ankara Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 87-96. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1203136>
- Gull A & Mahmood, S. (2022). Spatio-Temporal Analysis and Trend Prediction of Land Cover Changes using Markov Chain Model in Islamabad, Pakistan. *Advanced GIS*, 2(2), 52-61.
- Hussain S & Karuppattan S (2023). Land use/land cover changes and their impact on land surface temperature using remote sensing technique in district Khanewal, Punjab Pakistan. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 7(1), 46-58. <https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923272>
- Iban M C & Sahin E (2022). Monitoring land use and land cover change near a nuclear power plant construction site: Akkuyu case, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 724. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10437-6>
- Kaya H E & Demir V (2022). Estimation of land use and land cover changes in Konya Closed Basin. *Intercontinental Geoinformation Days (IGD)*, Tabriz, Iran, 180-183.
- Kucukali U F & Kuşak L (2018). Environmental, Social, and Economic Indicators of Urban Land Use Conflicts: Evidence from Istanbul Metropolitan Area. In *E-Planning and Collaboration: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications IGI Global*, 1014-1037, <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5646-6.ch048>
- Kumar V & Agrawal S (2023). A multi-layer perceptron-Markov chain based LULC change analysis and prediction using remote sensing data in Prayagraj district, India. *Environmental Monitoring and*

- Assessment, 195(5), 619. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11205-w>
- Kusak L, Unel F B, Alptekin A, Celik M O & Yakar M (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0299>
- Mishra M, Santos C A G, do Nascimento T V M, Dash M K, da Silva R M, Kar D & Acharyya T (2022). Mining impacts on forest cover change in a tropical forest using remote sensing and spatial information from 2001–2019: A case study of Odisha (India). *Journal of Environmental Management*, 302, 114067. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114067>
- MODIS (2023). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), [Erişim Tarihi: 27.04.2023], <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php>
- Natarajan K, Latva-Käyrä P, Zyadin A & Pelkonen P (2016). New methodological approach for biomass resource assessment in India using GIS application and land use/land cover (LULC) maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.070>
- Oğuz E Oğuz K & Öztürk K (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234. <https://doi.org/10.29128/geomatik.972343>
- Orhan O (2021). Monitoring of land subsidence due to excessive groundwater extraction using small baseline subset technique in Konya, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 174 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08962-x>
- Seyam M M H, Haque M R & Rahman M M (2023). Identifying the land use land cover (LULC) changes using remote sensing and GIS approach: A case study at Bhaluka in Mymensingh, Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100293>
- Shafiq M & Mahmood S (2022). Spatial assessment of forest cover change in Azad Kashmir, Pakistan. *Advanced GIS*, 2(2), 62–69.
- Shah A, Ali K & Nizami S M (2022). Spatio-temporal analysis of urban sprawl in Islamabad, Pakistan during 1979–2019, using remote sensing. *GeoJournal*, 87(4), 2935-2948. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10413-6>
- Singh K T, Singh N M, Devi T T (2022). A Remote Sensing, GIS Based Study on LULC Change Detection by Different Methods of Classifiers on Landsat Data. *In Innovative Trends in Hydrological and Environmental Systems: Select Proceedings of ITHES 2021*, Singapore, (107-117). https://doi.org/10.1007/978-981-19-0304-5_9
- The World Bank (2023). Urban Development overview, [Erişim Tarihi: 15.05.2023], <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Today%2C%20some%2056%25%20of%20the,people%20will%20live%20in%20cities.>
- Tona A U, Demir V, Kuşak L & Yakar M (2022). Su Kaynakları Mühendisliğinde CBS'nin Kullanımı. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 23-33. <https://doi.org/10.56130/tucbis.993807>
- Tong X, Wang P, Wu S & Luo M (2022). Urbanization effects on high-frequency temperature variability over South China. *Urban Climate*, 42, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101092>
- TÜİK (2023a). TÜİK İstatistik Veri Portalı Nüfus ve Demografi, [Erişim Tarihi: 17.05.2023], <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1>
- TÜİK (2023b). TÜİK İstatistik Veri Portalı Kent-Kır Nüfus İstatistikleri, [Erişim Tarihi: 17.05.2023] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kent-Kir-Nufus-Istatistikleri-2022-49755>
- Türk S T & Balçık F B (2023). Rastgele orman algoritması ve Sentinel-2 MSI ile fındık ekili alanların belirlenmesi: Piraziz Örneği. *Geomatik*, 8(2), 91-98. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1127925>
- Twisa S & Buchroithner M F (2019). Land-use and land-cover (LULC) change detection in Wami River Basin, Tanzania. *Land*, 8(9), 136. <https://doi.org/10.3390/land8090136>
- Unel F B & Yalpir S (2023). Sustainable tax system design for use of mass real estate appraisal in land management. *Land Use Policy*, 131, 106734. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106734>
- Ünel F B, Kuşak L, Yakar M & Doğan H. Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi. *Geomatik*, 8(2), 107-123. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1136951>
- USGS (2023). USGS EarthExplorer, [Erişim Tarihi: 27.04.2023], <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Yıldırım Ü, Güler C, Önel B, Rode M & Jomaa S (2021). Modelling of the discharge response to climate change under RCP8.5 scenario in the Alata River Basin (Mersin, SE Turkey). *Water*, 13(4), 483. <https://doi.org/10.3390/w13040483>
- Zhang Y, Li Y, Chen Y, Liu S & Yang Q (2022). Spatiotemporal heterogeneity of urban land expansion and urban population growth under new urbanization: A case study of Chongqing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7792. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137792>



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Decoding Nature's Patterns: An Innovative Approach to Tree Detection Using Deep Learning and High-Resolution Aerial Imagery

Halil İbrahim Şenol*¹, Abdurahman Yasin Yiğit²

¹Harran University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, Türkiye

²Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Mersin, Türkiye

Keywords

GIS
Spatial Analysis
Aerial Imagery
Deep Learning
Photogrammetry

ABSTRACT

This study investigates the application of deep learning algorithms and high-resolution aerial imagery for individual tree detection in urban areas, using a neighborhood in Mersin, Turkey, as a case study. Employing the DeepForest Python package, we utilize high-resolution (7cm) aerial imagery to detect and map the city's tree population accurately. The results showcase an impressive accuracy rate of 80.87%, demonstrating the potential of deep learning in urban forestry applications and contributing to effective urban planning. The information generated from this study is crucial for conserving urban green spaces, enhancing resilience to climate change, and supporting urban biodiversity. While this research is focused on Mersin, the methods employed are globally adaptable, laying a foundation for further refinement and potential identification of different tree species in future work. This investigation highlights the transformative role of advanced technology in fostering sustainable urban environments.

1. INTRODUCTION

The identification of land characteristics and assets is essential for planning purposes. Land's natural and cultural resources are a compass for decision-making during the planning process (Selim et al., 2019). The most crucial data source for land management is determining ecological infrastructure, such as forests, streams, lakes, meadows and pastures, agricultural texture, etc. The management of lands will be facilitated by the rapid and precise detection of ecosystem assets and the ability to make future planning decisions (Peña-Barragán et al., 2011). In addition, exposing agricultural components such as crop pattern determination, present and potential product quantity, tree numbers, and crown diameters is beneficial because they are the essential data sources for directing the food policies of nations and regions. Consequently, studies on identifying flora have always been a top priority for nations. With the development of remote sensing and geographic information systems, these auto-detection and automatic extraction studies are expanding significantly (Lin et al., 2015).

Satellites are the most significant and frequently used data source in remote sensing. However, unmanned aerial vehicles (UAVs), or drones, are rapidly increasing with technological advances. Utilizing UAVs in remote sensing research is primarily motivated by their low cost and practicality (Díaz-Varela et al., 2015). In addition, this system's advantages include the availability of up-to-date, high-resolution data in a reduced amount of time and its high manoeuvrability. UAV images can be obtained at a lower cost than airborne LiDAR images. A low-cost camera can acquire color images when integrated into controllable UAV imaging systems. (Lim et al., 2015) These images are evaluated using a classification process based on their intended use. Unmanned aerial vehicles (UAVs) are a form of near-surface remote sensing that could significantly advance forest and tree monitoring. Images captured by unmanned aerial vehicles (UAVs) can cover areas ranging from hectares to square kilometers, thus encompassing enough trees to provide large sample sizes for numerous species. Since UAV images view crowns directly from above and can be georeferenced, data on species identity, stem diameter, growth rate,

*Corresponding Author

(halilisenola@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0235-5764
(abdurahmanyasinyigit@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9407-8022

Cite this article

Şenol H İ & Yiğit A Y (2023). Decoding Nature's Patterns: An Innovative Approach to Tree Detection Using Deep Learning and High-Resolution Aerial Imagery, Turkey. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 5(1), 52-59.

physiological measurements, and micro environmental conditions can be associated with each crown in the image.

As with detecting individual trees, this method is insufficient for data processing and information extraction. To cover this vacuum, the Deep Learning (DL) algorithm is used to detect trees in UAV-captured images. The advent of deep learning techniques, coupled with the growing accessibility of high-resolution aerial imagery, has profoundly revolutionized the methodology of individual tree detection (LeCun et al., 2015; Orhan et al., 2021). This convergence of cutting-edge technology with ecological research promises unprecedented precision and efficiency, laying the groundwork for a new era in understanding and managing forest ecosystems (Popkin, 2019). Traditional methods of tree detection, often reliant on manual field surveys or interpretation of satellite images, have been constrained by significant time and resource demands (Wulder et al., 2012). In addition, these methods tend to yield a somewhat rough overview of the forest landscape (Franklin, 2001). They can indicate the presence of trees but often fail to provide detailed information on the tree species, health status, or precise count, especially in denser or more diverse forest landscapes.

In contrast, combining deep learning algorithms with high-resolution aerial imagery heralds a transformation (Ma et al., 2019). Deep learning, a subfield of artificial intelligence, excels in identifying intricate patterns in large, complex datasets (Goodfellow et al., 2016). When trained on high-resolution aerial images, these algorithms can learn to distinguish between different tree species, discern their health status, estimate their age, and even predict their growth. This capability is particularly crucial in areas with high biodiversity, where manual identification can be challenging and prone to errors (Weinstein, 2018). The adoption of this method extends beyond just the speed and accuracy of tree detection. It also holds the potential to revolutionize how forest inventories are conducted (Duncanson et al., 2015). In traditional forestry, managing resources has often been arduous, involving lengthy field surveys to estimate the number and species of trees. However, With this innovative approach, forest managers can gain a precise and detailed overview of the forest resources, making management decisions far more efficient and informed.

From a conservation perspective, this methodology offers significant advantages as well. Conserving biodiversity and maintaining healthy ecosystems require accurate data on the distribution and status of different tree species. Applying deep learning techniques to high-resolution aerial imagery can provide conservationists with this essential information, facilitating the development of targeted and effective conservation strategies.

Urban planners also stand to gain from this advanced tree detection technique (McHale et al., 2009). As urban areas continue to expand, striking a balance between infrastructure development and the preservation of green spaces becomes increasingly challenging. Detailed information on tree distribution and health can guide urban planners in designing cities

that are not only functional but also environmentally sustainable.

The implications for climate science are equally profound. Forests are critical in sequestering carbon, helping mitigate climate change's impacts (Pan et al., 2011). With the ability to detect individual trees and assess their health status, scientists can more accurately model the carbon sequestration potential of different forests, contributing to our understanding of global carbon dynamics.

In comparison to other methods of tree detection, the synergy of deep learning and high-resolution aerial imagery stands as a formidable contender. Conventional remote sensing techniques often struggle to accurately identify individual trees, particularly in dense or diverse forests. Traditional machine learning algorithms, while a step up, are dependent on manually engineered features and might not generalize well across varied landscapes. On the other hand, deep learning methods automatically recognize complex patterns and features, demonstrating superior adaptability and accuracy across a wide range of ecosystems.

In summary, integrating deep learning with high-resolution aerial imagery in tree detection represents a considerable leap forward in forest ecology and management. By improving the speed, accuracy, and level of detail in tree detection, this approach presents exciting opportunities across multiple domains - from forestry and conservation to urban planning and climate science. This advancement underscores the transformative potential of technology in addressing complex environmental challenges and shaping a more sustainable future.

2. METHOD

2.1. Study Area

Our study area encompasses a neighborhood in Mersin, Turkey's rapidly urbanized city (Figure 1). As a prominent port city on the Mediterranean coast, Mersin has experienced rapid urban expansion in recent years. While urbanization provides economic and social benefits, it can also strain local ecosystems and alter natural landscapes. Among these alterations, tree loss is particularly concerning due to trees' critical role in urban environments (Escobedo et al., 2011).



Figure 1. Study Area

Trees provide numerous ecosystem services vital for maintaining the quality of life in urban areas. They act as natural air purifiers, absorbing harmful pollutants and releasing oxygen. They provide shade, thereby reducing the heat island effect often associated with urban areas, and help conserve energy by reducing the demand for air conditioning. Trees also contribute to stormwater management by reducing runoff and erosion (Xiao & McPherson, 2011). Moreover, they enhance the aesthetic appeal of urban areas and provide habitats for various birds and insects, thereby supporting urban biodiversity (Shanahan et al., 2015).

As a coastal city, Mersin is vulnerable to the effects of climate change, such as rising temperatures and changing precipitation patterns. A healthy urban tree population can help mitigate these effects, making the city more resilient to climate change (Livesley et al., 2016). This approach can inform tree planting, maintenance, and protection policies by accurately mapping and monitoring the city's tree population. It can guide urban planners in creating a cityscape that balances development with green spaces, enhancing the livability and sustainability of Mersin.

2.2. Data

The foundation of this study lies in the utilization of very high-resolution aerial imagery with a precision of up to 7cm. Such high-resolution imagery is a rich source

of detailed and accurate spatial information, which is instrumental in detecting individual trees in the study area. The importance of using high-resolution data in this context cannot be overstated.

The high degree of detail captured in these images allows for precise delineation of tree crowns, differentiation between tree species based on their unique spectral signatures, and identification of tree health indicators such as color, texture, and shape. This granularity of data significantly enhances the accuracy of the tree detection process, enabling the deep learning model to make nuanced distinctions between different trees and other vegetation or structures in the urban landscape.

The use of very high-resolution aerial imagery in this study is pivotal. It enables the collection of detailed and accurate spatial information, enhancing the precision of the tree detection process and, consequently, the overall quality of the research outcomes. The contribution of such data to the study is instrumental in advancing our understanding of urban tree populations and informing sustainable urban planning practices (Díaz et al., 2018).

2.3. Method

The general workflow for the tree extraction implemented in this study is given in Figure 2.

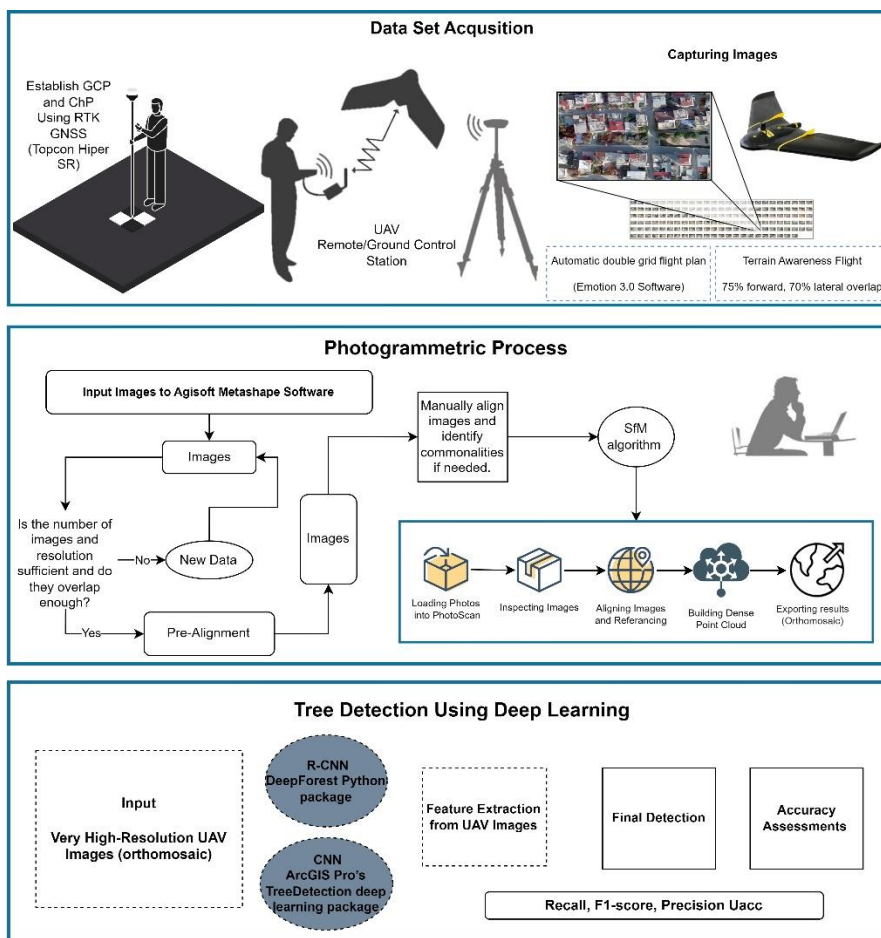


Figure 2. The general workflow for the tree extraction from UAV photogrammetry orthomosaic data using the DL algorithm.

2.3.1. Image Processing

The UAV images were captured in March 2022 using a fixed-wing Sensefly Ebee Plus UAV equipped with a 20-megapixel RGB camera and a 10.5-millimetre autofocus lens (See Table 1 for detailed information.) The axis is parallel to the terrain and vertical for a nadir view of the images. With a cruising pace of 43ms, the UAV flew 305 m above the study area. A total of 523 images with a front of 85% and a side of 70% overlap were captured for two flights separated by approximately sixty-five minutes and conducted between 10:00 and 12:00 am. Before the missions, eight triangular ground control points (GCPs) were established along the study area's perimeter. A dual-frequency GNSS receiver was installed at each GCP to acquire GPS and GLONASS data for two minutes. Following post-processing, the average horizontal and vertical precision of the GCPs were 1.4 cm and 3 cm, respectively. Finally, the Agisoft Metashape software's Structure from Motion (SfM) algorithm was used to generate an orthomosaic of the study area with a ground sampling distance (GSD) of 7 cm.

Table 1. Sensefly Ebee Plus UAV and S.O.D.A Camera's basic technical features

Specialty	Value
Weight/ Size	1100 g /1100 mm
Cruising speed	40-110 m/s
Max of flight time	About 50 minutes
PPK/RTK	+
Radiolink distance	3 km
Sensor type/ Sensor size	R-G-B (20 mp)/ 1-inch
Image Width/Height	5280 X 3956 px
Sensor Width/Height	12.75 X 8.5 mm
Focal Length	10.5 mm

A dense point cloud is a collection of millions of points positioned in three dimensions (x,y,z) by GNSS (Global Navigation and Satellite System). It is utilized to produce the DSM and ortho mosaics (Şasi & Yakar, 2017). A DSM contains the altitude of each pixel relative to the earth datum and serves as a validation tool for nDSM in our investigation. Orthomosaic images comprise all unprocessed images from each flight and are geographically corrected to their true position, thereby reducing camera, lens, and topographic distortion (Mesas-Carrascosa et al., 2016; Kabadayı, 2022). An orthomosaic facilitates the labelling of trees to develop DL's training and assessment patches. After aligning the raw RGB images of each flight using Agisoft Metashape, dense point clouds and orthomosaics were produced for this study. The dense point cloud and orthomosaics for each flight's entire dataset were generated in Metashape using the bulk procedure (Lucieer et al., 2013; Hamal & Ulvi, 2022). First, each set of RGB images were aligned without using ground control points (GCP) with an accuracy limit of 40,000 key points and zero bind points. The "optimize alignment" phase was then reset to its default value. Next, the "dense point cloud" (high quality, aggressive filtration), "mesh", and "texture" were constructed. DSM (interpolation enable) and orthomosaics (surface = DSM, blending mode = mosaic, hole infill = yes) were used to complete the procedure. All

dense point clouds, digital surface models, and orthomosaics were exported to the International Terrestrial Reference Frame96 3 degrees 33N Zone. The exact pixel size and extent were specified for each flight's orthomosaic to overlay and process in Python. This is the initial step, followed by the detection of treetops, classification of treetops, and, ultimately result in validation.

The SfM procedure begins by acquiring photographs of the object of interest from multiple positions and angles with sufficient overlap (e.g., 85% front and 70% side in this study). Based on advancements in image feature recognition, such as the scale-invariant feature transform (SIFT) (Lowe, 2004; Hamal, 2022), it is possible to autonomously detect, describe, and match characteristic image objects between photographs (Yakar & Doğan, 2019). Then, a bundle block adjustment is performed on the matched features to determine the 3D position and orientation of the cameras, as well as the XYZ location of each feature in the photographs, resulting in a sparse 3D point cloud (Snively et al., 2008; Yüksel et al., 2022). Using multi-view stereopsis (MVS) or depth mapping techniques (Campbell et al., 2008; Kabadayı & Uysal, 2020; Tükenmez & Yakar, 2023), a subsequent densification technique can be used to derive highly dense 3D models. Georeferencing of the 3D model in a real-world coordinate system is possible through GCPs and the incorporation of camera GPS locations. Last, the model can be exported to a grid-based DEM, and orthophoto mosaics (orthomosaics) can be derived from projected and blended photographs. The SfM workflow was utilized in this investigation, as implemented by the commercial software Agisoft Metashape.

Initially, SfM techniques extract individual features from each image of the photogrammetric block, which is then matched with their corresponding feature in the other images of the photogrammetric block (Guerra-Hernández et al., 2018). These characteristics are used to ascertain the sensor's relative position during flight, allowing the position and orientation of each sensor to be calculated. At this juncture, the results' spatial quality depends on the geolocation sensor, GNSS sensor, and IMU sensor (Cruzan et al., 2016). Generally, the geolocational precision of images captured by commercial UAVs is moderate to low. Therefore, this investigation determined geolocation using aerial triangulation (Ebrahimikia & Hosseininaveh, 2022). A group of GCPs was dispersed throughout the study area to enhance the spatial quality of the results. These GCPs were measured with greater spatial precision than GSD on a field. After aerial triangulation was computed, a DSM was produced in three steps: feature extraction, multi-image matching, and error detection. Using DSM and external orientation, each image was orthorectified. Finally, individual orthorectified images were mosaicked to produce a UAV orthomosaic of the entire study area. Each orthomosaic was created with the same GSD as the corresponding UAV flight.

2.3.2. Deep Learning

The methodology adopted for individual tree detection using deep learning techniques and high-resolution aerial imagery comprises several stages. These include data acquisition and preprocessing, model training and validation, and finally, model testing and evaluation (Wäldchen & Mäder, 2018). The DeepForest Python package, which forms the core of this process, is built upon deep learning libraries like PyTorch and utilizes a pre-trained neural network model for tree crown detection (Weiss et al., 2014).

At the heart of this methodology is the DeepForest Python package, which utilizes a variant of the Region Convolutional Neural Networks (R-CNN), a state-of-the-art object detection algorithm. R-CNNs are adept at identifying and localizing objects within an image, making them suitable for detecting individual tree crowns (Zou et al., 2018).

The DeepForest model is pre-trained on a large dataset of RGB aerial images, where individual trees have been manually annotated. In the training phase, the model learns to recognize patterns and features that distinguish tree crowns from the rest of the forest canopy. The model adjusts its parameters through backpropagation to minimize discrepancies between its predictions and annotations.

The DeepForest package leverages the computational efficiency and flexibility of the PyTorch library, a popular choice for deep learning applications (Paszke et al., 2019). PyTorch provides a dynamic computational graph, which allows for more flexibility in building and modifying models, a feature that is particularly useful when dealing with complex tasks like tree detection. Additionally, PyTorch's compatibility with GPU acceleration enables faster model training, which is essential when working with large image datasets.

Following the training phase, the model undergoes testing to evaluate its performance in detecting trees in new, unseen aerial images (Huang et al., 2017). Metrics such as precision, recall, and F1 score are computed to assess the model's accuracy and reliability. These metrics provide a comprehensive overview of how well the model identifies and localizes individual tree crowns (Gu et al., 2018).

Incorporating deep learning into tree detection methodology via the DeepForest package significantly advances accuracy, efficiency, and scalability. This approach empowers researchers and practitioners alike to glean valuable insights from high-resolution aerial images, advancing our understanding and management of forest ecosystems.

Moreover, we also use ArcGIS Pro's TreeDetection deep learning package. Although specific details about the architecture used in the Tree Detection package are proprietary information and not publicly available, it likely uses a form of Convolutional Neural Network (CNN), commonly used for image classification tasks.

In tree detection, CNNs can be trained to identify features and patterns unique to trees in imagery. The first step in this process is training the model on a large dataset of labelled images, where the presence or absence of trees has been manually annotated. The trained model can then be used to predict the presence of trees in new, unlabeled images. The model scans the new image in the inference phase, applying the learned filters and weights to identify tree-like features. If the aggregate of these features surpasses a certain threshold, the model classifies that section of the image as containing a tree.

3. RESULTS

A tree detection algorithm based on the R-CNN architecture was applied to Very High-Resolution Aerial Imagery and successfully detected trees. The algorithm used a combination of convolutional neural networks and region recommendation networks to identify trees in the images. The identified trees were then extracted and displayed on a map showing their location and distribution. Figure 3 shows the map with the extracted trees using DeepForest. Moreover, Figure 4 shows the map with extracted trees using ArcGIS Pro's TreeDetection deep learning package.

The map shows that the detected trees are distributed in various areas of the image and indicates the presence of trees in these locations. The proposed algorithm was able to detect small trees as well as large trees with high accuracy. The false positive rate is also low, indicating that the algorithm does not misidentify other image features as trees.

The proposed tree detection algorithms (DeepForest and ArcGIS Pro) achieved an overall accuracy of 80.87% and 48.95% on the test dataset of Very High-Resolution Aerial images. The DeepForest algorithm successfully detected trees of different sizes and shapes. The precision and recall values are 82.15% and 94.59%, respectively, indicating a good balance between false positive and false negative errors (Table 2).

Table 2. Accuracy Analysis

	Total	TP	FP	FN	Recall	F1 Score	Precision (UAcc)
Deep Forest	213	175	38	10	0.9459	0.8794	0.8215
ArcGIS Pro	70	32	38	35	0.48	0.47	0.46

Overall, the proposed tree detection algorithm based on R-CNN architecture using Very High-Resolution Aerial images data has shown promising results and proved its effectiveness in Very High-Resolution Aerial images. The proposed algorithm can be applied to real-time tree detection and monitoring systems.



Figure 3. Detected trees in the study area with DeepForest



Figure 4. Detected trees in the study area with ArcGIS Pro

4. CONCLUSION

This study demonstrates the immense potential of employing deep learning techniques in combination with high-resolution aerial imagery to detect individual trees in urban environments. Achieving an impressive accuracy of 80.87% in our case study of Mersin, Turkey, this methodology underscores the feasibility and effectiveness of using advanced machine learning models to analyze and understand urban green spaces.

Detecting and analysing individual trees in urban landscapes is critical, given trees' various ecosystem services. From enhancing air quality and reducing urban heat islands to supporting biodiversity and aesthetic appeal, trees are an indispensable component of sustainable and resilient cities. Accurate tree detection,

thus, lays the groundwork for informed urban planning and management strategies, enabling the design of cities that harmoniously blend development with nature.

We use the DeepForest model and high-resolution aerial imagery to create detailed and dynamic maps of urban tree populations. The application of this methodology extends beyond Mersin, as it can be adapted for different urban contexts worldwide, contributing to the global goals of urban sustainability and resilience.

However, despite the promising results, the field of tree detection using deep learning and aerial imagery is still relatively nascent. As we move forward, there are several avenues for further research. One potential direction is to enhance the model's precision and recall, perhaps by refining the training process or integrating other data sources like LiDAR. Another intriguing

prospect is to extend the model to identify individual trees and different tree species, which would add another dimension to our understanding of urban green spaces.

In conclusion, this study represents a significant stride in using deep learning for environmental applications. It illuminates the path towards a more nuanced understanding of our urban ecosystems and underlines the pivotal role of technology in fostering sustainable urban futures.

Author Contributions

Halil İbrahim Şenol: Conceptualization, Methodology, Software, Visualization, Writing-Reviewing and Editing
Abdurahman Yasin Yiğit: Data curation, Writing-Original draft preparation, Writing-Reviewing and Editing

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

REFERENCES

Campbell N D, Vogiatzis G, Hernández C & Cipolla R (2008). Using multiple hypotheses to improve depth-maps for multi-view stereo. *In Computer Vision–ECCV 2008: 10th European Conference on Computer Vision*, Marseille, France, 766-779.

Cruzan M B, Weinstein B G, Grasty M R, Kohn B F, Hendrickson E C, Arredond, T M & Thompson P G (2016). Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Applications in plant sciences*, 4(9), 1600041. <https://doi.org/10.3732/apps.1600041>

Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson R T, Molnár Z, Hill R, Chan K M A, Bate I A, Brauman K A, Polasky S Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley P W, Oudenhoven A P E V, Plat F V D, Schröter M, Lavorel S, Thomas-Aumeeruddy Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra C A, Hewitt C H, Keune H, Lindley S & Shirayama Y (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

Díaz-Varela R A, De la Rosa R, León L & Zarco-Tejad, P J (2015). High-resolution airborne UAV imagery to assess olive tree crown parameters using 3D photo reconstruction: application in breeding trials. *Remote Sensing*, 7(4), 4213-4232. <https://doi.org/10.3390/rs70404213>

Duncanson L, Rourk, O & Dubayah R (2015). Small sample sizes yield biased allometric equations in temperate forests. *Scientific reports*, 5(1), 17153. <https://doi.org/10.1038/srep17153>

Ebrahimikia M & Hosseininaveh A (2022). True orthophoto generation based on unmanned aerial vehicle images using reconstructed edge points. *The*

Photogrammetric Record, 37(178), 161-184. <https://doi.org/10.1111/phor.12409>

Escobedo F J, Kroeger T & Wagner J E (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2078-2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>

Franklin S E (2001). Remote sensing for sustainable forest management. *CRC press*, ISBN: 978-1-4200-3285-7.

Goodfellow I, Bengio Y & Courville A (2016). Deep learning. *MIT press*, ISBN: 978-026-2035-61-3.

Gu J, Wang Z, Kuen J, Ma L, Shahroudy A, Shuai B, Liu T, Wang X, Wang G, Cai J & Chen T (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern recognition*, 77, 354-377. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.0>

Guerra-Hernández J, Cosenza D N, Rodriguez L C E, Silva, M, Tomé M, Díaz-Varela R A & González-Ferreiro E (2018). Comparison of ALS-and UAV (SfM)-derived high-density point clouds for individual tree detection in Eucalyptus plantations. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15-16), 5211-5235. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1486519>

Hamal S N G & Ulvi A (2022). 3B UAV Photogrammetry and GIS Integration for 3D City Model: a Case Study of Mersin University Çiftlikköy Campus. *Turkish Journal of Geographic Information Systems*, 4(2), 97-105. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1208096>

Hamal S N G (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.

Huang G, Liu Z, Van Der Maaten L & Weinberger K Q (2017). Densely connected convolutional networks. *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, Honolulu, USA, 4700-4708.

Kabadayı A & Uysal M (2020). Building detection from high resolution UAV data. *Turkey Unmanned Aerial Vehicle Journal*, 2(2), 43-48.

Kabadayı A (2022). Maden Mapping of the Mine Site by Photogrammetric Method with the Help of Unmanned Aerial Vehicle. *Turkey Unmanned Aerial Vehicle Journal*, 4(1), 19-23. <https://doi.org/10.51534/tiha.1130929>

LeCun Y, Bengio Y & Hinton G (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Lim Y S, La P H, Park J S, Lee M H, Pyeon M W & Kim J I. (2015). Calculation of tree height and canopy crown from drone images using segmentation. *한국측량학회지*, 33(6), 605-613.

Lin Y, Jiang M, Yao Y, Zhang L & Lin J (2015). Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. *Urban forestry & urban greening*, 14(2), 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.03.003>

Livesley S J, McPherson E G & Calfapietra C (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of environmental quality*, 45(1), 119-124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>

- Lowe G (2004). Sift-the scale invariant feature transform. *Int. J.*, 2(2), 91-110.
- Lucieer A, Jong S M D & Turner D (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116. <https://doi.org/10.1177/0309133313515293>
- Ma L, Liu Y, Zhang X, Ye Y, Yin G, & Johnson B A (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 152, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- McHale M R, Burk, I C, Lefsky M A, Peper P J & McPherson E G (2009). Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12, 95-113. <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- Mesas-Carrascosa F J, Notario García M D, Meroño de Larriva J E & García-Ferrer A (2016). An analysis of the influence of flight parameters in the generation of unmanned aerial vehicle (UAV) orthomosaics to survey archaeological areas. *Sensors*, 16(11), 1838. <https://doi.org/10.3390/s16111838>
- Orhan O, Oliver-Cabrer T, Wdowinski S, Yalvac S & Yakar, M. (2021). Land subsidence and its relations with sinkhole activity in Karapınar region, Turkey: a multi-sensor InSAR time series study. *Sensors*, 21(3), 774. <https://doi.org/10.3390/s21030774>
- Pan Y, Birdse, R A, Fang J, Houghton R, Kauppi P E, Kurz W A, Phillips O L, Shvidenko A, Lewis S L, Canadell J G, Ciais P, Jackson R B, Pacala S W, McGuire A D, Piao S, Rautiainen A, Sitch S & Hayes D (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Paszke A, Gross S, Massa F, Lerer A, Bradbury J, Chanan G, Killeen T, Lin Z, Gimelshein N, Antiga L, Desmaison A, Kopf A, Yang E, DeVito Z, Raison M, Tejani A, Chilamkurthy S, Steiner B, Fang L, Bai J & Chintala S (2019). Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. *Advances in neural information processing systems*, Vancouver, Canada, 32.
- Peña-Barragán J M, Ngugi M K, Plant R E & Six J (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sensing of Environment*, 115(6), 1301-1316. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.01.009>
- Popkin G (2019). The forest question. *Nature*, 565(7739), 280-282. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00122-z>
- Şasi A & Yakar M (2017). Photogrammetric modelling of sakahane masjid using an unmanned aerial vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87. <https://doi.org/10.31127/tuje.316675>
- Selim S, Sonmez N K, Coslu M & Onur I (2019). Semi-automatic tree detection from images of unmanned aerial vehicle using object-based image analysis method. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47, 193-200. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0900-1>
- Shanahan D F, Lin B B, Bush R, Gaston K J, Dean J H, Barber E & Fuller R A (2015). Toward improved public health outcomes from urban nature. *American journal of public health*, 105(3), 470-477.
- Snavely N, Seitz S M & Szeliski R (2008). Modeling the world from internet photo collections. *International journal of computer vision*, 80, 189-210. <https://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>
- Tükenmez F & Yakar M (2023). Production of road maps in highway projects by unmanned aerial vehicle (UAV). *Advanced Engineering Days (AED)*, Mersin, Türkiye, 6, 94-96.
- Wäldchen J & Mäder P (2018). Machine learning for image based species identification. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11), 2216-2225. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13075>
- Weinstein B G (2018). A computer vision for animal ecology. *Journal of Animal Ecology*, 87(3), 533-545. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12780>
- Weiss M, Baret F, Block T, Koetz B, Burini A, Scholze B, Lecharpentier P, Brockmann C, Fernandes R, Plummer S, Myneni R, Gobron N, Nightingale J, Strub-Schaepman G, Camacho F & Sanchez-Azofeifa A (2014). On Line Validation Exercise (OLIVE): A web based service for the validation of medium resolution land products. Application to FAPAR products. *Remote Sensing*, 6(5), 4190-4216. <https://doi.org/10.3390/rs6054190>
- Wulder M A, White J C, Nelson R F, Næsset E, Ørka H O, Coops N C, Hilker T, Bater C W & Gobakken T (2012). Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. *Remote sensing of environment*, 121, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.001>
- Xiao Q & McPherson E G (2011). Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale. *Urban Water Journal*, 8(4), 241-253. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.596213>
- Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018* (pp. 73-75). Springer International Publishing.
- Yüksel G, Ulvi A & Yakar M (2022). Usage of unmanned aerial vehicles in open mine sites. *Intercontinental Geoinformation Days*, 4, 13-16.
- Zou Q, Zhang Z, L, Q, Qi X, Wang Q & Wang S (2018). Deepcrack: Learning hierarchical convolutional features for crack detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(3), 1498-1512. <https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2878966>



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>