

**ORMAN YANGINLARINDA UZAKTAN  
ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE ERKEN  
UYARI, TESPİT, İZLEME VE MÜDAHALE  
STRATEJİLERİ**

**EARLY WARNING, DETECTION, MONITORING AND  
RESPONSE STRATEGIES FOR FOREST FIRES  
USING REMOTE SENSING TECHNOLOGIES**

**Prof. Dr. Umut Güneş Sefercik**  
**Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu**  
*TÜBA Asosye Üyesi / TÜBA Associate Member*

**Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK / Gebze Teknik Üniversitesi /  
sefercik[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-2403-5956**

Umut Güneş Sefercik Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev yapmaktadır. Harita Mühendisliği lisans eğitimini Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde (ZBEÜ) 2003 yılında tamamlamıştır. Yüksek lisansını 2006 yılında SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 'den elde edilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk analizleri konusunda ZBEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE) ve Leibniz Hannover Üniversitesi (Almanya) Fotogrametri ve Geoinformasyon Enstitüsü (IPI) ortaklığında tamamlamıştır. Doktorasını 2010 yılında, TerraSAR-X Radar Uydusunun İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) görüntülerinden sayısal yükseklik modellerinin üretimi ve değerlendirilmesi konusunda yine ZBEÜ FBE ve Leibniz Hannover Üniversitesi IPI'de yürüttüğü çalışmalar ile tamamlamıştır. Post-doktorasını 2014 yılında, Houston Üniversitesi (ABD) Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Ulusal Merkezi'nde yapmıştır. Ulusal ve uluslararası dergilerde ve bilimsel etkinliklerde sunulmuş çok sayıda basılı eseri, editör kurulu üyelikleri ve hakemlikleri bulunmaktadır. Uzmanlık alanları, uzaktan algılama verileri ile harita üretimi temelinde hava kaynaklı lazer tarama, optik ve lazer insansız hava aracı, InSAR, radargrametri, dijital fotogrametri ve harita ürünlerine sanal gerçeklik entegrasyonudur. 2015- 2020 yılları arasında Üniversite Senatörlüğü, Teknopark Genel Müdürlüğü, Sivil Havacılık Yüksekokul Müdürlüğü ve Üniversite-Sanayi İşbirliği Araştırma ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü görevlerini yürütmüştür.

**Prof. Dr. Umut Gunes Sefercik / Gebze Technical University /  
sefercik[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-2403-5956**

Umut Güneş Sefercik is a Professor at Gebze Technical University, Department of Geomatics Engineering. He completed his undergraduate education in Geomatics Engineering at Zonguldak Bülent Ecevit University (ZBEÜ) in 2003. He completed his MSc in 2006 on the accuracy analysis of digital elevation models (DEM) derived from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) in partnership with ZBEÜ Graduate School of Natural and Applied Sciences (FBE) and Leibniz Hannover University (Germany) Photogrammetry and Geoinformation Institute (IPI). He completed his PhD in 2010 with his studies at ZBEÜ FBE and Leibniz Hannover University IPI on the generation and evaluation of DEMs from Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) images of TerraSAR-X Radar Satellite. He completed his post-doctoral in 2014 at University of Houston (USA) National Center for Airborne Laser Mapping. He has many published works presented in national and international journals and scientific events, member of editorial board and refereeing. His areas of expertise are airborne laser scanning, optical and laser unmanned aerial vehicle, InSAR, radargrammetry, digital photogrammetry based on map generation with remote sensing data and virtual reality integration into map products. Between 2015-2020, he served as University Senator, Teknopark CEO, Civil Aviation School Director and University-Industry Cooperation Research and Development Center Director.

**Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU / Gebze Teknik Üniversitesi /  
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taşkın Kavzoğlu, uzaktan algılama alanında 20 yılı aşkın araştırma deneyimine sahip bir araştırmacıdır. Lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden sınıf birincisi olarak, Yüksek Lisans derecesini Nottingham Üniversitesi'nde onur öğrencisi olarak ve doktoraşını aynı üniversitede uzaktan algılama alanında başarıyla tamamlamıştır. Doktora tez çalışması İngiltere Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği tarafından 2001 yılının en iyi doktora tezi olarak seçilmiş ve ödüllendirilmiştir. 1998'deki ilk yayınından bu yana, hakemli dergilerde ve konferans bildirilerinde 100'den fazla yayını bulunmaktadır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi Dekanı olarak görev yapmakta olup Türk, Hindistan ve Malezya üniversitelerinde lisansüstü tezler için sınav jürisi olarak görevler yapmaktadır. Başlıca araştırma alanları; doğal kaynakların uzaktan algılama ile izlenmesi, derin öğrenme, makine öğrenimi, zamansal değişim analizleri, nesne tabanlı görüntü analizi ve heyelan duyarlılık haritalamasıdır. Birçok ulusal ve uluslararası oturumunda başkan olarak görev yapan Prof. Kavzoğlu, 6 dergide editörler kurulunda yer almakta ve 130'dan fazla dergi için aktif hakemlik görevi yürütmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi, Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği (İngiltere), Amerika Jeofizik Birliği, Amerika Coğrafyacılar Birliği, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği ve IEEE Yerbilimi ve Uzaktan Algılama Birliği üyesidir.

**Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU / Gebze Technical University /  
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taskin Kavzoglu is a senior researcher with more than 20 years of experience in Earth observation and remote sensing. He received his B.Sc. as the first student in his class from Karadeniz Technical University, M.Sc. (with Distinction) and Ph.D. in Remote Sensing from Nottingham University (UK). His dissertation was selected and awarded as the best doctoral dissertation of 2001 by the Remote Sensing and Photogrammetry Society. Since his first publication in 1998, he has now author of more than 100 papers in peer-reviewed journals and conference proceedings. Currently, he is Acting Dean of Engineering Faculty and has been acting as an external examiner for graduate thesis in Turkish, Indian and Malaysian universities. His research interests include remote sensing of natural resources, deep learning, machine learning, change detection, object-based image analysis and landslide susceptibility mapping. Acting as a chairman in many national and international conference sessions, Prof. Kavzoglu is in the editorial board of six journals and acts as a reviewer for more than 130 scientific journals. He is a member of Turkish Academy of Sciences, the Remote Sensing and Photogrammetry Society (UK), American Geophysical Union, American Association of Geographers, Turkish Photogrammetry and Remote Sensing Society and IEEE Geoscience and Remote Sensing.

## ORMAN YANGINLARINDA UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE ERKEN UYARI, TESPİT, İZLEME VE MÜDAHALE STRATEJİLERİ

### Özet

Son yıllarda, dünya genelinde orman yangınlarında hem sıklık hem de büyüklük açısından önemli bir artış gözlenmektedir. Doğal ya da insan kaynaklı nedenlerle oluşan orman yangınları, doğayı ve canlı ekosistemini ciddi şekilde tehdit eden felaketlerdir. Orman yangınlarının doğa ve canlılar üzerindeki etkilerini en aza indirmek için iyi planlanmış erken uyarı, tespit, izleme ve müdahale stratejileri geliştirilmesi çok önemli bir konu haline gelmiştir. Modern dünyada, belirtilen bu stratejilerin uygulanmasında hava ve uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, orman yangınları konusunda dünya genelinde kullanılan modern uzaktan algılama teknolojileri detaylı şekilde incelenmiştir. Uzaktan algılama teknolojileri, orman penetrasyon yetenekli gelişmiş lazer tarayıcılar, yakın-kısa dalga-orta-termal kızılötesi spektral sensör donanımlı yeni nesil küp uydular, takım halinde çalışan çoklu insansız hava araçları (İHA) ve yangınlara doğrudan müdahale edebilen ısı ve duman geçirmez nitelikte savaşçı İHA'lara evrilmiştir. Bu teknolojilerin yapay zeka yöntemleri ile füzyonu ve yer istasyonları ile entegrasyonu sayesinde, erken uyarı sistemlerinin altlıkları olan yangın risk haritalarının periyodik üretimi, yangın başlangıç noktalarının tespiti, yangın yayılım hızının, şiddetinin, yönünün ve yangın sonrası oluşan tahribatın üç boyutlu olarak eş-zamanlı izlenmesi ve yangın söndürme çalışmalarında ekiplere destek sağlanması olası hale gelmekte ve minimum can ve orman alanı kaybı için değerli katkılar sağlanmaktadır.

### Anahtar Kelimeler:

Orman yangını, Uzaktan algılama, Erken uyarı sistemi, Yangın izleme, İHA

## EARLY WARNING, DETECTION, MONITORING AND RESPONSE STRATEGIES FOR FOREST FIRES USING REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

### Abstract

In recent years, there has been a significant increase in wildfires (forest fires) both in frequency and size around the world. Wildfires occurring by natural or anthropogenic reasons are disasters that seriously threaten the nature and its living ecosystem. The development of well-designed early warning, detection, monitoring and response strategies to minimize the effects of forest fires on the ecosystem and all living creatures has become a critical issue. In the modern world, space and airborne remote sensing technologies are intensively used in the implementation of these strategies. In this study, modern remote sensing technologies and their applications in wildfires are thoroughly examined focusing on the above-mentioned four strategies. Remote sensing technologies have been evolved to advanced laser scanners capable of effective forest penetration, new generation cube satellites equipped with near-shortwave-medium-thermal infrared spectral sensors, UAV constellations, and heat and smoke-proof fighter UAVs capable of directly responding to fires. By the fusion of these technologies with artificial intelligence methods and their integration with ground stations, periodical production of fire risk maps that are invaluable for early warning systems, determination of the possible hotspots, simultaneous monitoring of the speed, intensity and direction of the fire, three-dimensional monitoring of the post-fire destruction and providing support to the teams on the field have become possible. These systems also provide valuable contributions to minimize the loses in human life and the forested lands.

### Keywords:

Wildfire, Remote sensing, Early warning system, Fire monitoring, UAV

## GİRİŞ

Orman yangınları her yıl dünya genelinde birkaç yüz milyon hektar bitki örtüsünü yakmakta, hem meydana geldiği bölgede doğaya ve canlı ekosistemine büyük zararlar vermekte hem de yarattığı çevresel, sosyal vb. etkiler nedeniyle insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir (McAlpine & Wotton, 1993; Hirsch & Fuglem, 2006; Martinez-de Dios vd., 2008; Tonbul, Kavzoglu & Kaya 2016). Türkiye’de de 2021 yılı yaz aylarında özellikle Akdeniz havzasında çok sayıda ve ciddi boyutlarda orman yangınları gerçekleşmiştir. Akdeniz, Avrupa Çevre Ajansı 2008 yılı raporuna göre orman yangınlarından büyük ölçüde etkilenen bir havzadır. Havzada her yıl 50.000’den fazla yangın çıkmakta ve 600.000-900.000 hektar yani havzadaki orman alanının yaklaşık %1,3 ile %1,7’lik bölümü yanmaktadır (EEA, 2008). Orman yangınlarının çıkışında ve yayılımında etkili olan ana meteorolojik faktörler, kuraklığında sebepleri olan yüksek hava sıcaklığı, düşük nem, düşük yağış ve şiddetli rüzgarlardır (Peace, McCaw & Mills, 2012). Son yıllarda, özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak hava sıcaklıklarının yükselişi orman yangınlarının sayısında ve büyüklüklerinde ciddi artışlara sebep olmuştur (Gillett vd., 2004; Flannigan vd., 2006; Turco vd., 2014; Bedia vd., 2015; Knorr vd., 2016; Satir, Berberoglu & Cilek, 2016; Calda vd., 2020). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2018 yılında yayınladığı raporunda sanayi öncesi dönemdeki seviyelerin 1,5°C üzerine çıkan küresel ortalama sıcaklığa dikkat çekmiş, sebeplerini ele almış ve alınması gereken tedbirlere değinmiştir. Raporda, insan faaliyetlerinin yaklaşık 1°C küresel ısınmaya neden olduğu ve mevcut hızda devam edilirse küresel sıcaklık artışının 2030 ile 2052 yılları arasında 1,5°C eşiğine ulaşacağı bildirilmiştir. Ayrıca, önümüzdeki 10 yıl içinde dünyadaki sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltarak 0,5°C’lik ek artışın önlenebileceği vurgulanmıştır (URL-1, 2021). Abatzoglou, Williams ve Barbero (2019)’da insan kökenli iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar dünya üzerindeki yanabilir arazinin %33-62’sinde etkili olacağı öne sürülmüştür. Sonuç olarak, yapılan bilimsel çalışmalar, iklim değişikliği ve buna bağlı etmenlerin gelecekte de orman yangınlarının önemli ölçüde tetikleyicisi olacağını işaret etmektedir.

Orman yangınları, yukarıda altı çizilen doğal faktörlerin yanı sıra, insanların sosyo-ekonomik ve politik faaliyetleri nedeniyle de meydana gelebilmektedir. Orman yangınları üzerindeki insan etkisi Biyolojik Çe-

şitlilik Sözleşmesi Sekreterliği (Secretariat of the Convention on Biological Diversity - SCBD) tarafından 2001 yılında yayınlanan raporda detaylı olarak ortaya konmuştur (SCBD, 2001). İnsan kaynaklı orman yangınlarının büyük bir kısmı arazi temizleme ve dönüştürme amacıyla bilinçli olarak çıkarılmaktadır (Tatlı & Türkeş, 2014). Diğer yandan, elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi için ormanlık alanlarda konumlandırılmış enerji nakil hatlarının altında veya yakın çevresinde uzayan ağaçların belli bir süre sonra hatlara temas etmesi veya fırtına etkisi ya da kar yükü ile eğilen ya da devrilen ağaçların hatlara temas etmesi gibi nedenlerle de orman yangınları gerçekleşebilmektedir (Matikainen vd., 2016).

Bu çalışmada, orman yangınlarının önlenmesi ya da gerçekleşmesi durumunda en hızlı şekilde söndürülebilmesi amaçlarıyla dünya genelinde uzaktan algılama teknolojilerine dayalı olarak geliştirilen erken uyarı, tespit, izleme ve müdahale stratejileri detaylı şekilde incelenmiştir. Orman yangınları konusuna uzaktan algılama teknolojilerinin entegrasyon faaliyetleri, 2000'li yılların başında başlamış ve modern teknolojinin getirisi olan gelişmiş algılayıcıların yer gözlem amaçlı uluslararası programlarına dahil edilmesi ile ivme kazanmıştır (Calle & Casanova, 2008; Aspragathos vd., 2019). Orman yangınları için fayda sağlanan uzaktan algılama verilerinin başında uydu görüntüleri, insansız hava araçlarıyla (İHA) toplanan hava fotoğrafları ve video görüntüleri ve hava kaynaklı lazer tarama (Airborne Laser Scanning - ALS) yoğun nokta bulutları gelmektedir. Geniş alanlar kapsayan orman yangınlarının tespit ve izlenmesinde uydu görüntüleri büyük katkı sağlarken, yerel ölçekte tespit, takip ve müdahale konusunda hava sistemlerinden ciddi destekler alınmaktadır. Günümüzde orman yangını uygulamalarında, görünür ve kızılötesi spektral bantlara ek olarak termal algılama kabiliyeti de olan orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi (MODIS), Amerikan Ulusal Oşinografi ve Atmosfer İdaresi/Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometresi (NOAA/AVHRR) ve Landsat en sık tercih edilen uydu teknolojileridir (Li vd., 2001; Domenikiotis vd., 2002; Martin & Delgado, 2002; Giglio vd., 2003; Kustiyo, Dimyati & Lolitasari, 2015; Kavzoglu, Yıldız Erdemir & Tonbul 2016; Hua & Shao, 2017). Ayrıca, termal algılama kabiliyeti olmamasına rağmen Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency - ESA) tarafından işletilen ve verileri ücretsiz olarak servis edilen Sentinel uydu misyonuna ait görüntüler de sundukları kırmızı kenar (red edge), yakın kızılötesi (near infrared),

dar kızılötesi (narrow infrared) ve kısa dalga kızılötesi (shortwave infrared) çoklu bant yetenekleri sayesinde yangın uygulamalarında oldukça sık tercih edilmektedir (Fernández-Manso, Fernández-Manso & Quintano, 2016; Roy vd., 2019; Roteta vd., 2019; García-Llamas vd., 2019; Flipponi, 2019; Tonbul, Colkesen & Kavzoglu, 2019). Uydu teknolojilerinin geniş spektral yeteneklerine rağmen yerel alanda kullanımlarını sınırlayan faktörlerin başında mekânsal çözünürlük gelmektedir. Geniş alanda gerçekleşen orman yangınlarının tespit ve izlemesinde etkin olan uydu görüntüleri genellikle görünür ve kızılötesi algılamada orta (~ 5-30m), termal algılamada ise düşük (~ 60m - 1km) mekânsal çözünürlük sunmaktadır. Hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri ise uydu görüntüleri kadar geniş alanlar kapsayamamalarına rağmen alçak uçuş irtifalarından veri sağlamanın mekânsal çözünürlükte yarattığı önemli avantajla yerel alanlarda oldukça etkilidirler. Hedef alanlarda üç boyutlu konum doğruluğu yüksek yoğun nokta bulutu ve dijital yüzey modelleri (DYM) sağlayan ALS teknolojisi, 30 yılı aşkın süredir ormanlık alanların haritalamasında dünya genelinde yoğun şekilde kullanılmaktadır (Reutebuch, Andersen & Mcgaughey, 2005; Sefercik & Ateşoğlu, 2017; Sefercik vd., 2017). Ancak yüksek maliyeti ve uzunca bir süre kamera entegrasyonu geliştirilememiş olması nedeniyle renksiz olarak elde edilen nokta bulutları tekniğin orman uygulamalarındaki etkinliğini düşüren unsurlar olmuştur (URL-2, 2021). Günümüzde orman yangını uygulamalarında en sık tercih edilen hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojisi İHA'lardır. Uçuş öncesindeki kolay hazırlık süreçleri ve pratik uçuş planlama olanağı, otomatik uçuş rotası takibi ve acil durumlarda kolay yönlendirilebilme, istenilen irtifada uçuş olanağı ve uçuş sonrası veri aktarım ve işlemenin hızlı şekilde yapılabilmesi gibi unsurlar İHA teknolojisinin yangın alanlarında kullanılabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, istenilen sıklıkta periyodik veri almına olanak vermesi, düşük maliyeti ve çok yüksek mekânsal çözünürlük sunması bu teknolojinin en büyük avantajlarıdır. İHA teknolojisinde son yıllarda yaşanan önemli gelişmeler mekânsal veri çözünürlüğüne ek olarak spektral çözünürlüğün de önemli bir seviyeye ulaşmasını sağlamıştır. İlk zamanlar yalnızca görünür bantları kullanan İHA'lar, günümüzde multispektral, hiperspektral ve termal kameralar ile donatılmaktadır. Ayrıca, lazer tarayıcı donanımlı İHA'lar da geliştirilerek literatürdeki yerlerini almıştır (Sefercik, Karakış & Atalay, 2018).

## ERKEN UYARI STRATEJİLERİ

Orman yangınlarının önceden kestirilerek önlenmesi ya da minimum hasarla atlatılabilmesi için küresel erken uyarı stratejileri geliştirilmesinde hava ve uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri vazgeçilmez hale gelmiştir (Goldammer, 1999; Kotroni vd., 2020). Hava ve uzaydan elde edilen gerek hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü gibi raster formatta gerekse yoğun nokta bulutu gibi vektör formatta periyodik veriler sayesinde orman yangınına sebep olabilecek unsurlar ve anomaliler önceden tespit edilmekte ve raporlanmaktadır. De Groot vd. (2010), uzaktan algılama teknolojileri ile gelişmiş sayısal hava modellerine dayalı uzun vadeli tahminler sağlayabilecek ve yangınların emarelerini 1-2 hafta öncesinden bildirebilecek küresel erken uyarı sistemi projesini açıklamışlardır. Bugüne kadar erken uyarı konusunda dünya genelinde gerçekleştirilmiş en geniş çaplı çalışmalardan biri olan bu proje, bünyesinde uluslararası orman yangını, uzaktan algılama ve hava durumu kurumlarından çok sayıda bilim insanının yer aldığı Orman Örtüsü Küresel Gözlemi ve Arazi Örtüsü Dinamiklerinin Küresel Gözlemi (Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics - GOFC/GOLD) Yangın Uygulama Ekibinin bir projesidir. Proje aynı zamanda, 150'den fazla ülke ve 35 uluslararası kuruluşu kapsayan bir girişim olan Küresel Yeryüzü Gözlem Sistemleri (Global Earth Observation System of Systems - GEOSS) çalışma planına da dahil edilmiştir. Projede sunulan erken uyarı sistemi, günlük olarak güncellenecek şekilde yerel, ulusal, bölgesel ve küresel olmak üzere dört işletim seviyesinde planlanmıştır. Bilgiler yerelden küresele hiyerarşik değil bir ağ şeklinde dizayn edilmiş ve herhangi bir teknik aksaklık durumunda ağın her işletim seviyesi bağımsız yangın tehlikesi hesaplayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem, meteorolojik verilere göre periyodik olarak elde edilen yangın tehlike haritalarının MODIS hot spot (sıcak nokta) uydu verileri ile desteklenmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu alanda diğer önemli bir proje Kanada Orman Yangın Bilgi Sistemidir (URL-3, 2021). Bu sistemle özellikle Mayıs ve Eylül ayları arasında, orman yangın mevsimi boyunca (Mayıs-Eylül) günlük yangın risk haritaları üretilir ve mevcut yangınların durumu izlenir. Bu sistemde uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır ve elde edilen bulgular ilgili kurumlarla doğrudan paylaşılmaktadır.



Zhou vd. (2004), çok kaynaklı ve çeşitli çözünürlüklerde görüntüleme spektrometrelerini kullanarak yangın tehlike endekslerinin oluşturulması ve yangın tehlike derecelerinin değerlendirilerek belirli sıklıkta (örneğin 10 gün) yangın tehlike bilgilerinin sunulması konusunu ele almıştır. Çalışmada, MODIS ve NOAA/AVHRR uydu verilerinin coğrafi bilgi sistemlerine (CBS) entegrasyonu ile bir yangın erken uyarı sistemi hedeflenmiştir. Parajuli vd. (2020), MODIS uydu görüntüleri ve Kernel Yoğunluk Tahmini metodunu kullanarak uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile orman yangını risk modelleri geliştirmiştir.

Sunulan referans çalışmalardan da görüleceği üzere, uydu bazlı yangın erken uyarı sistemlerinde en sık tercih edilen veri MODIS görüntüleridir. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından geliştirilmiş olan MODIS misyonu iki uydudan oluşmaktadır. Bu uydular, 1999 ve 2002 yıllarında yörüngelerine oturtulmuş olan Terra ve Aqua uydularıdır. Bu iki uydunun farklı zamanlamalı geçişleri sayesinde, MODIS hedef alanlardan günde iki kez görüntü alma şansını sunmaktadır. Zamansal periyodun sağladığı bu önemli avantaj MODIS görüntülerinin orman yangınlarında en sık kullanılan uydu sistemlerinden olmasının başlıca sebeplerinden biridir. Ek olarak, 0,4-14,4  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığında 36 spektral banda sahip olan MODIS, görünür ve yakın-kısa-orta-termal kızılötesi görüntüler sunabilmektedir. MODIS bantları, 250 m ile 1 km arasında değişen mekânsal çözünürlük değerlerine sahiptir ve sunduğu spektral bant sayısı mekânsal çözünürlüğe göre değişkenlik göstermektedir (Vermote & Wolfe, 2021). MODIS verileri spektral ve zamansal çözünürlük avantajları ile yangın tespiti yanı sıra su, mülaj, bitki vb. nesnelere tematik sınıflandırma haritalarının ve yardımcı indekslerinin üretimlerinde de yoğun şekilde kullanılmaktadır (Vescovi vd., 2003; Alecu, Oancea & Bryant, 2006; Hmimina vd., 2013; Kavzoğlu, Çölkesen & Sefercik, 2021). MODIS ve NOAA/AVHRR uydu verilerinin yanı sıra Sentinel ve Landsat uydu görüntüleri de yangın risk haritalamasına bağlı erken uyarı sistemleri geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Atun, Kalkan ve Gürsoy (2020) Sentinel-2 uydu görüntüleri ve Normalize Yanma Oranı (NBR), Diferansiyel Normalize Yanma Oranı (dNBR), Rölatif Yanma Oranı (RBR) gibi spektral yangın indeksleri kullanarak yangın risk sınıflandırma haritaları üretmişlerdir. Sánchez Sánchez vd. (2018), Sentinel-2 uydu görüntüleri ile ALS verilerini birleştirerek orman yakıt modeli üretmiş ve yüksek doğruluklu bir tutuşma risk haritası elde etmişlerdir. Respati

vd. (2017), Landsat-8 multispektral uydu görüntülerini kullanarak orman yangını risk bölgelerini haritalandırmışlardır. Yankovich, Yankovich ve Baranovskiy (2019), Landsat-8 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) verilerini kullanarak bitki örtüsü tipine ve radyan ısı akışı etkisine bağlı olarak orman yangını tehlikesinin tahmini için bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada, k-ortalama (k-means) sınıflandırma yöntemi ve temel bileşen analizi (PCA) ile tutuşturma kaynağının neden olduğu yangın tehlikesi düzeyine göre orman yangını risk sınıflandırılması yapılmıştır.

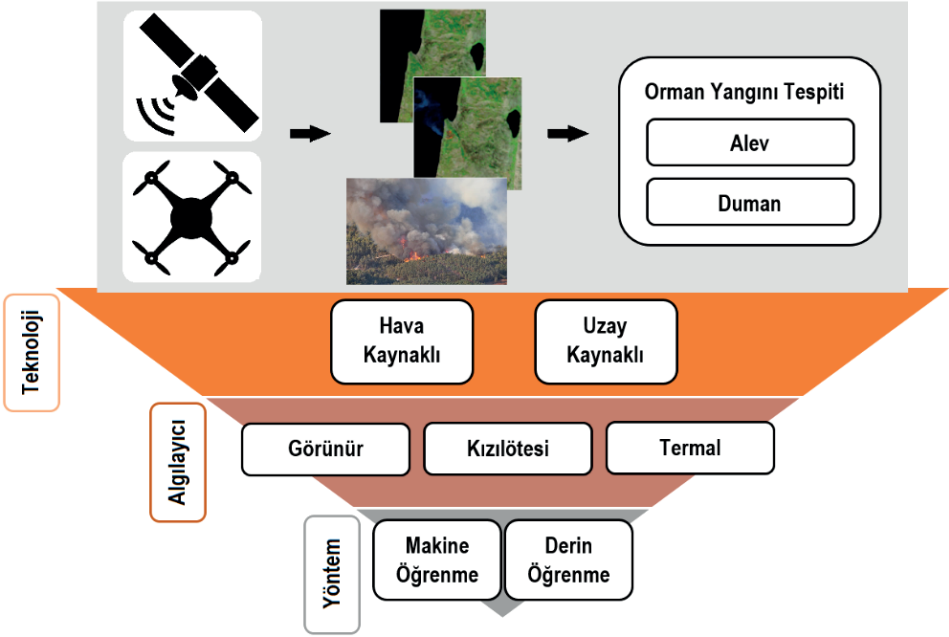
Ormanlık alanlarda bulunan enerji nakil hatlarının yakın çevresinde ve hat altında gelişen ağaçlar belirli bir süre sonra hatlara yaklaşımaya ve tehdit etmeye başlamaktadır. Bu tehditler gereken zamanda tespit edilemediği takdirde ağaçların enerji nakil hatlarına teması ile orman yangınları kaçınılmaz hale gelmektedir. Kilometrelerce uzanan ve çoğu zaman topoğrafya üzerinde dağınık halde bulunan enerji nakil hatları göz önünde bulundurulduğunda bu durumun çözümü de modern dünyada yine uzaktan algılama teknolojileri ile mümkün olmaktadır. Uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımı ile enerji nakil hatları ve yakın çevrelerini kapsayan bölgelerde koridor haritalama yapılmakta, risk haritaları üretilmekte ve erken uyarı sistemlerine entegre edilmektedir. Erken uyarı sistemleri uyarınca enerji nakil hatlarının altında ve yanlarında belirlenen güvenlik mesafelerine yaklaşan ağaçlar tespit edilerek kesme/budama faaliyetleri ile orman yangınlarının önüne geçilmektedir (Butler vd., 2015). Ahmad, Malik ve Xia (2011), enerji nakil hatlarındaki risk tespitinde stereo uydu görüntülerinin kullanımını ele alırken, Mills vd. (2010) hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri ile çözüme değinmişlerdir. Ax vd. (2012), konunun ALS yoğun nokta bulutları ile çözümünü ele alırken, Zhang vd. (2017), İHA hava fotoğraflarının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Konu özelinde hava kaynaklı uzaktan algılama sistemleri uydu görüntülerine kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Günümüzde uydu görüntülerinden elde edilebilen en yüksek mekânsal çözünürlük yaklaşık 30 cm'dir ve bu çözünürlük yeryüzü objelerinin yüksek doğrulukla sınıflandırılmasını ve haritalanmasını sınırlayan en önemli faktörlerin başında gelmektedir (Sefercik vd., 2020). Hava kaynaklı uzaktan algılama sistemleri ise birkaç yüz kilometre yörünge yüksekliklerinden algılama yapan uydular yerine uçak, helikopter ve İHA gibi platformları kullanarak alçak uçuş irtifalarından yüksek çözünürlüklü ve planlanan periyotlarda tekrarlı veri sağlayabilmektedir. Bu doğrultuda, enerji nakil

hatlarının geçtiği bölgelerde kurulan erken uyarı sistemleri, ALS ya da İHA uçuşlarından elde edilen yoğun nokta bulutları, mesh modeller, dijital yüzey modelleri ve ortomozaiklerden faydalanılarak üretilen yangın risk haritaları temelinde çalışmaktadır.

## TESPİT STRATEJİLERİ

Orman yangınları, yeni başlayan, büyüyen, tamamen gelişmiş ve zayıflamış olmak üzere dört ana evrede tanımlanmaktadır (Barmpoutis vd., 2020). Tespit stratejilerinin ana hedefi, uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen hava ve uzay kaynaklı verileri makine öğrenme ve derin öğrenme gibi yapay zekâ yöntemleri ile değerlendirerek yangının ilk evrelerinde belirlenebilmesidir (Kansal vd., 2015; Jiao vd., 2019; Kukuk & Kilimci, 2021). Son yıllarda algılayıcı (sensör) teknolojilerindeki gelişmeler, enerjinin dalga boyu ve frekans değerlerine göre dağılımını gösteren elektromanyetik spektrum ölçütünde uzaktan algılama bantlarının daha çok bölgede konumlanmasını sağlamıştır. Zaman içinde, uzaktan algılama teknolojisi, ışığı tek dalga boyu ile sevk eden monokromatik görüntüleme sistemlerinden 100 spektral bant ve üzerinde görüntülemeye olanak sağlayan hiperspektral sistemlere evrilmiştir. Spektral açıdan güçlü sistemlerin yanı sıra çok küçük ölçekte ve çok amaçlı olarak kullanılabilen nano sistemlerde uzaktan algılama teknolojileri arasındaki yerlerini almışlardır (Kameche vd., 2014; Barschke vd., 2017).

Uzaktan algılama teknolojileri ile yangın tespitinde ana strateji, yangın riskli bölgelerde periyodik algılama sistemleri kurarak hedef çerçevede her yeni görüntünün öncekilerle otomatik eşleştirmesini yaparak yapay zeka temelinde orman dokusunun spektral yapısı (renk), yüzey pürüzlülüğü, sınır pürüzlülüğü, eğrilik, ısı ve gaz bileşenlerinin kontrolünü sağlamak ve kritik değerleri aşan bir farklılık saptanması durumunda ilgili bölgeye yoğunlaşma ve yer kontrol istasyonuna bilgi aktarımı üzerine kuruludur (Kelha vd., 2003; San Miguel Ayanz vd., 2005; Sadeghi-Esfahlani, 2018; Barmpoutis vd., 2020). Bu stratejinin uygulamasında özellikle alev ve duman tespiti ana iki hedef olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1, bu amaçla kullanılan teknolojiler, algılayıcılar ve yöntemler olmak üzere uzaktan algılama ile orman yangını tespit stratejisini özetlemektedir.



Şekil 1. Uzaktan algılama ile orman yangını tespit stratejisi

Bir orman yangını uzaktan algılama platformu tarafından tespit edildiğinde, araç yer kontrol istasyonunu uyarmalı ve yangına yerden ve havadan müdahale için yangının coğrafi konumunu göndermelidir. Literatürde, algılama uyarısı için iki farklı yaklaşım düzeyi incelenmiştir. Bunlardan ilki, ilk temasta yangının konumunun bildirildiği yerel yaklaşımken diğeri yangının tüm çevresini belirleyip konumlandırarak soruna küresel bakan yaklaşımdır (Akhloufi, Couturier & Castro, 2021). Günümüzde yangın tespitinde en sık kullanılan uzaktan algılama platformu İHA'lardır (Ambrosia vd., 2003; Merino vd., 2005; 2006; 2010). Uydu görüntüleri, her ne kadar spektral anlamda güçlü olsalar da özellikle yangının ilk çıkış anında ve henüz ölçüğü oldukça küçükken mekânsal çözünürlük olarak sınırlı oluşları nedeniyle tespit yetenekleri düşük kalmaktadır (Holt vd., 2006). Ayrıca günde iki kez aynı bölgeden görüntü alımı yapabilen MODIS gibi misyonlar olsa dahi bu zamansal çözünürlük yangının ilk çıkış ve yayılış anlarını gerçek zamanlı tespit etmek için çoğu zaman yetersizdir. Bu nedenle uydu görüntüleri genel olarak yangının başlangıç tespiti yerine yayılımının izlenmesinde daha çok tercih edilmektedir.

İHA'ların yangın tespitinde kullanımlarında sabit ve döner kanatlı farklı platform tipleri, yangın kaynak, konum ve mesafe tespit modülü içeren yazılımlar ve metotlar tercih edilmektedir (Zhang vd., 2015; Feng vd., 2018). Tüm metotların ortak amacı, yangının başlangıç anında eş-zamanlı olarak kontrol istasyonuna iletimini sağlamaktır. Dünya genelinde İHA'lar yardımıyla yangın kaynak noktasının tespitinde en sık tercih edilen yöntem Eşzamanlı Konumlandırma ve Haritalama Sistemi (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM)'dir (Sadeghi-Esfahlani, 2018; Fan vd., 2019). Yangın riski yüksek bölgelerde SLAM, yüksek doğruluk ve güven seviyesinde bir çerçeveler arası hareket tahmini sağlamak için robotik işletim sistemi (ROS) ve bilgisayarlı görme algoritmalarını kullanır. Sistem, genellikle İHA'lar ile video görüntü alımı, bu görüntülerin sürekli olarak yangın içerip içermediğine dair eğitilmiş yangın sınıflandırıcıları kullanan yapay sinir ağları algoritmalarıyla denetlenmesi ve otomatik alev ve/veya duman tespiti yapılması prensibi ile çalışmaktadır. Görünür, kızılötesi ve termal kameralar, ısı ve duman algılayıcıları gibi faydalı yükler taşıyan İHA'lar, alev ve/veya dumanı algılaması ile beraber yangın kaynak noktası olarak belirlenen konuma doğru yönelmekte ve itfaiyeye bağlı yer kontrol istasyonuna daha detaylı bilgi sağlamaktadır. Son yıllarda özellikle derin öğrenme yaklaşımları yangın tespitlerinde sıkça kullanılmaktadır (Lee vd., 2017; Zhao vd., 2018; Kyrkou & Theocharides, 2019). İHA'lar ile yangın tespitinde derin evrişimli sinir ağları (CNN) kullanarak çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Luo vd. (2018), dumanın hareket özellikleri ve bir CNN kullanarak duman algılama algoritması geliştirmiştir. Zhang vd. (2016), kademeli bir şekilde orman yangını tespiti için CNN modelleri önermiştir. Muhammad vd. (2018), SqueezeNet modeline dayalı olarak detaylı bir CNN mimarisi önermiş ve yangın segmentasyonu ve arka plan analizi için bir özellik haritası seçim algoritması geliştirmiştir.

Orman yangını tespiti amaçlı İHA'lar farklı irtifalarda işletilmektedir. Geçmişte, daha çok alçak yörüngelerde konumlu uydulara yakın kapsama alanı ve uydulara göre daha yüksek mekânsal çözünürlük elde etmek amacıyla yangın riskli bölgelerin kilometrelerce üzerinde konumlandırılan ve uzun süreli batarya ömürlü gözetim İHA'ları (HALE) kullanılmıştır. Ancak bu İHA'ların işletiminin oldukça yüksek maliyetler

gerektirmesi ve veri işleme sürelerinin uzunluğu nedeniyle elde ettikleri verilerin kontrol istasyonlarına geç ulaşması alternatif çözüm arayışlarına sebep olmuştur. Bu noktadan hareketle, daha düşük irtifalı ve kısa süre havada kalan İHA'lar düşük maliyet, eş-zamanlı veri aktarımı ve çok yüksek mekânsal çözünürlük gibi avantajları nedeniyle orman yangınlarında öncelikli tercih sebebi haline gelmişlerdir (Holt vd. 2006). Günümüzde, ısı ve duman algılayıcılar ile donatılmış bazı İHA'lar tespit yapıp yangın kaynağına odaklanmalarının ardından 20 metre gibi çok alçak irtifalara inebilmekte ve izleme faaliyetine geçebilmektedir.

## İZLEME STRATEJİLERİ

Geçmişte orman yangınlarının gelişimlerinin ve yayılımlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi yangınla mücadele uzmanları tarafından görsel gözlemlere dayalı yapılan tahminlerle gerçekleştirilmiştir. Dünya üzerinde az gelişmiş ya da gelişmekte olan birçok ülkede halen bu yaklaşım geçerlidir. İnsan kaynaklı bu tahminler, genelde alevleri kapatan yoğun duman tabakaları nedeniyle hem yangın kaynağı konumlaması hem de gelişim ve yayılımının izlenmesinde ciddi boyutta hatalara sebep olmaktadır (Merino vd., 2012). Bu nedenle, modern dünyada orman yangını izleme stratejilerinin oluşturulmasında uzaktan algılama teknolojileri vazgeçilmez hale gelmiştir. Uzaktan algılama, orman yangınları sırasında yangının gelişim miktarını, yönünü ve yayılım hızını ortaya koymanın yanı sıra yangın sonrasında bitki örtüsünü etkileyen farklı derecelerdeki hasarı da yüksek kalitede haritalandırmaya olanak vermektedir (Lentile, 2006; Calle & Casanova, 2008; Bilgilioğlu vd., 2019). Üretilen haritaların ana amaçları, yangın sırasında öncelikli müdahale alanlarını belirlemek sonrasında ise kaybedilen orman alanlarının restorasyon çalışmalarını planlamaktır.

Yangının gelişiminin ve yayılım parametrelerinin sık ve ayrıntılı olarak güncellenmesi, yangınla etkili ve güvenli bir şekilde mücadele etmek için esas teşkil etmektedir. Günümüzde orman yangınlarını izleme ve yangın yayılım parametrelerini belirlemede görünür, kızılötesi ve termal algılama kabiliyeti bulunan uydu ve İHA'lara ait görüntülerden önemli destekler sağlanmaktadır. Yüksek yörüngelerden elde edilen uydu görüntüleri geniş alanlara yayılan yangınları birkaç günlük periyotlarda görüntüleme şansı verirken İHA'lar eş-zamanlı izleme olanağı

sunmaktadır. İHA'lar, sağladıkları yüksek çözünürlüklü görüntüler ile itfaiye ekiplerini koordine eden yer istasyonlarına sık sık güncel durum yayınlayabilen etkili bir çözüm aracı olarak ortaya çıkmaktadır (Yuan, Zhang & Liu, 2015). Ancak sürekli güncel ve sık veri sağlama konusunda tekil İHA'lar yetersiz kalmakta ve birçok İHA'dan oluşan ve senkronize çalışan İHA takımları tercih edilmektedir (Casbeer vd., 2005; Holt vd., 2006). Yuan vd. (2015), orman yangınlarının izlemesinde görevli takım İHA'lar için etkili bir yol planlama algoritması geliştirmiştir. Diğer taraftan, Merino vd. (2012), bir merkez istasyon ve verilerini ona aktaran çok sayıda İHA ile gerçek zamanlı orman yangını izleme sistemi önermiştir.

Son dönemde orman yangını izleme stratejilerinde devrim niteliğinde yeni bir uydu gözlem fikri de aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. NASA tarafından ortaya atılan küp geometrisine sahip ve kızılötesi algılayıcılar ile donatılmış nano (minyatür) uydu projesi ile sık yer gözlemi yapabilme şansı doğmuştur (Nagel, Novo & Kampel, 2020). Bu küp uydular (Cubesats), çeşitli ülkelerdeki üniversiteler tarafından geliştirilen geneli 10cm×10cm×10cm genişlik, derinlik ve yükseklik değerine sahip ve ağırlıkları en fazla 1,33kg olan yer gözlem uydularıdır. NASA, bu proje ile üniversite öğretim üyeleri ve öğrencileri hem uydu yapımı ve konumlandırması konularında bilinçlendirmeyi hem de yeryüzünü sürekli gözlemleyen bir uydu yıldız takımı kurmayı hedeflemiştir. Berlin Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen TUBIN adlı küp uydu görünür bölge ve termal kızılötesi kamera donanımı ile orman yangını izlemede çok başarılı sonuçlar sunmuştur (Baumann vd., 2012; Barshke vd., 2017). Bir diğer başarılı örnek ise Afrika ve Asya kıtalarındaki orman yangınlarının izlenmesine yönelik olarak dizayn edilmiş dördü takım olarak çalışan 6U küp uydularıdır (Kameche vd., 2014).

Orman yangını etkilerinin izlendiği bir diğer konu da yangın emisyonlarının atmosferik etkisidir. Yangınlardan kaynaklanan sera gazları ve aerosollerin emisyonları, önemli iklim değişikliği faktörleri olup hem atmosferdeki toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının ortalama olarak %25-35'ine hem de CO, metan ve aerosollere sebep olurlar (Calle & Casanova, 2008; Calle, Salvador & González, 2011). Bu nedenle, yangından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tahminleri, iklimin ve onun kritik bileşeni olan küresel karbon döngüsünün gerçekçi bir şekilde modellenmesi için ge-

reklidir. Orman bitkilerinin yangın emisyonları da günümüzde uydu görüntüleri ile belirlenebilmektedir (Roy vd., 2008).

Yangın sonrası tahrip olmuş alanların belirlenmesinde de sıklıkla uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Günümüzde özellikle ESA tarafından ücretsiz ve beş günlük periyotlarla sağlanıyor olması Sentinel-2 misyonunu bu konuda ön plana çıkarmaktadır. Gelişmiş kızılötesi bantları sayesinde uygulanabilen vejetasyon indisleri Sentinel-2 ile tahrip olmuş geniş orman alanlarının sınıflandırarak çıkarımında çok önemli bulgular sunmaktadır (Verhegghen vd., 2016; Filipponi, 2019; Roteta vd., 2019; De Simone vd., 2020; Seydi vd., 2021; Sali vd., 2021). Özellikle yanmış ağaç ve diğer bitki türlerinin ayırt edilebilmesi için gereken yüksek mekânsal çözünürlük ise yine İHA teknolojileri ile sağlanmaktadır (Bilgilioglu vd., 2019; Shin vd., 2019). İHA verileri aynı zamanda uydu görüntüleri ile elde edilen yanma şiddeti indekslerinin kalibrasyonunda da kullanılmaktadır (Fraser, van der Sluijs & Hall, 2017). Gerek uydu gerekse İHA verileri ile gerçekleştirilen yanmış bölge analizleri neticesinde ormanlık alanlar en uygun şekilde geri kazanılabilmektedir.

## MÜDAHALE STRATEJİLERİ

Yangına genellikle kara araçları tarafından erişilemediğinden, itfaiyeciler yürüyerek yangın bölgesine ulaşır ve hayatlarını riske atarlar. Bu nedenle yangın bölgelerinde yangına en sağlıklı ve düşük riskle hangi noktalardan müdahale edilebileceği konusunda gelişmiş ülkeler özellikle gerçek zamanlı veri sağlayan düşük ağırlıklardaki İHA'ları gözlemci ve ekiplere yol gösterici niteliğinde kullanmaktadır. Diğer yandan, taşıma kapasitesi yüksek olan genellikle İHA2 (25kg-150 kg) ve İHA3 (150 kg üstü) sınıfındaki İHA'lar yangınlarda söndürme faaliyetlerine destek vermektedir (Sujatha vd., 2020; Abhishek vd., 2021). Bu tip İHA'lar gövdelerine monteli yangın tüpleri ve gövdelerinden dışarı doğru uzayan tazyikli fıskırtma aparatları ya da gövdelerindeki yangın söndürme topları ile yangınlara müdahale etmektedir (Beltran, Carolina & Moribe 2013; Vimalkumar, 2020).

Yangın müdahale İHA'larında günümüze dek ulaşılan son teknoloji Çin tarafından geliştirilen, 16 pervaneli, çok sayıda yangın söndür-



me bombası fırlatma ve köpük fışkırtma yeteneklerine sahip EHang EH216F'dir. Isı ve duman geçirmez nitelikteki yangın müdahale İHA'sı, uçuş kontrol fonksiyonları, havada asılı kalma ve geri dönüş doğruluğu, yüksek/alçak irtifa uçuşları, elektromanyetik uyumluluk, rüzgâr direnci, yüksek/düşük sıcaklık şartlarına uygunluk, titreşim direnci, radyan ısı direnci ve duman performansı gibi alanlarda 52 farklı testten başarı ile geçmiştir (URL-4, 2021).

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, orman yangınlarında erken uyarı, tespit, izleme ve müdahale stratejilerinde faydalanılan hava ve uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojilerine yer verilmiştir. Sunulan stratejilerin her birinde uzaktan algılamanın hayati önem taşıdığı ve vazgeçilmez destekler sağladığı görülmektedir. Uzaktan algılama teknolojilerinin orman yangınlarında doğru işletilmesi ile hem insan hem de tüm orman canlılarının can kayıplarının önemli ölçüde önüne geçilebileceği ve tahrip olan orman alanlarında ciddi oranda azalma olabileceği açıktır. Ayrıca kaybedilen orman alanlarının geri kazanımı için de yine uzaktan algılama verileri çok önemli bir yol gösterici durumdadır.

Gelecekte orman yangınlarında özellikle İHA'ların kullanım potansiyelinin giderek artacağı son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerden açıkça görülmektedir. Özellikle yangın söndürme noktasında İHA teknolojisinde devrim niteliğinde gelişmeler yaşanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen İHA teknolojileri lisanslandırılıp kullanıma başlanmıştır. Ülkemiz, özellikle milli savunma alanında üretmiş olduğu silahlı İHA'lar (SİHA) ile dünya genelinde adından söz ettirmektedir. İHA üretiminde kazanılan tecrübenin ve kullanılan teknolojinin gelecekte orman yangınları özeline de aktarılması ile bu alanda da dünyada öncü bir ülke konuma gelmemiz mümkündür. İklim değişikliği nedeniyle her geçen gün daha çok risk altında olan ve ekosistemin temel taşı olan ormanlarımızın korunması için uzaktan algılama tekniklerini kullanan yeni teknolojilere ihtiyaç olduğu açıktır. İHA ve minyatür uydu sistemleri alanlarında hızlı teknolojik gelişmelerin yanında uzaya fırlatılacak yeni uydularda erken uyarı ve izleme amaçlarına hizmet edecek spektral bantların yer alması ülkemizde orman yangınları ile mücadelede önemli kazanımlar sağlayacaktır.

**KAYNAKÇA / REFERENCES**

- Abatzoglou, J.T., Williams, A.P., & Barbero, R. (2019). Global emergence of anthropogenic climate change in weather indices. *Geophysical Research Letters*, 46, 326–336. doi:10.1029/2018GL080959
- Abhishek, V., Utsav, B., Maulik, C., & Meet, S. (2021). *Fire Extinguisher Drone*. www.researchgate.net/publication/350089829. doi:10.13140/RG.2.2.36533.19682
- Ahmad, J., Malik, A.S., & Xia, L. (2011). Vegetation monitoring for high-voltage transmission line corridors using satellite stereo images. *2011 National Postgraduate Conference (NPC)*, 19–20 Eylül, Kuala Lumpur, Malaysia. doi:10.1109/NatPC.2011.6136337
- Akhloufi, M., Couturier, A., & Castro, N. (2021). Unmanned aerial vehicles for wildland fires: sensing, perception, cooperation and assistance. *Drones*, 5(1), 15. doi:10.3390/drones5010015
- Alecu, C., Oancea, S., & Bryant, E. (2006). Multi-resolution analysis of MODIS and ASTER satellite data for water classification. *Proceedings SPIE Remote Sensing – The International Society for Optical Engineering*. 31 Ekim 2005, Bruges, Belgium.
- Ambrosia, V., Wegener, S., Sullivan, D., Buechel, S., Brass, S. D. J., Stoneburner, J., & Schoenung, S. (2003). Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(4), 391–402. doi:10.14358/PERS.69.4.391
- Aspragathos, N., Dogkas, E., Konstantinidis, P., Koutmos, P., Lamprinou, N., Moulianitis, V., ... & Xofis, P. (2019). From pillars to AI technology-based forest fire protection systems. *Intelligent System and Computing*, IntechOpen, London, UK.
- Atun, R., Kalkan, K., & Gürsoy, Ö. (2020). Determining the forest fire risk with Sentinel 2 images. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 22–26.
- Ax, M., Thamke, S., Kuhnert, L., & Kuhnert, K. (2012). UAV based laser measurement for vegetation control at high-voltage transmission lines. *Advanced Materials Research*, 614–615, 1147–1152. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.614–615.1147
- Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N.A. (2020). Review on early forest fire detection systems using optical remote sensing. *Sensors*, 20(22), 6442. doi:10.3390/s20226442
- Barschke, M.F., Bartholomäus, J., Gordon, K., Lehmann, M., & Brie, K. (2017). The TUBIN nanosatellite mission for wildfire detection in thermal infrared. *CEAS Space Journal*, 9(2), 183–194. doi:10.1007/s12567-016-0140-6
- Baumann, F., Ballheimer, W., Gordon, K., & Brieß, K. (2012). TUBIN – A nanosatellite mission with infrared imager payload. *4S Symposium - Small Satellite Systems and Services*, 4-8 Haziran, Portoroz, Slovenya.
- Bedia, J., Herrera, S., Gutiérrez, J. M., Benali, A., Brands, S., Mota, B., & Moreno, J.M. (2015). Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: Implications for climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 369–379. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.09.002
- Beltran, C., Carolina, M., & Moribe, F.A. (2013). *Unmanned Aerial Vehicle with Fire Extinguishing Grenade Release and Inspection System*, Florida International University, EML 4905 Senior Design Project.

- Bilgilioğlu, B., Öztürk, O., Sariturk, B., & Seker, D. (2019). Object based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for forest fires monitoring. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28, 1005-1010.
- Butler, B.W., Webb, J., Hogge, J., & Wallace, T. (2015). Vegetation clearance distances to prevent wildland fire caused damage to telecommunication and power transmission infrastructure. *Large Wildland Fires Conference*, ss. 35-40, Mays 19-23, 2014, Missoula, MT.
- Calda, B., An, N., Turp, M., & Kurnaz, L. (2020). İklim değişikliğinin Akdeniz havzasındaki orman yangınlarına etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32, 15-32. doi:10.7240/jeps.571001
- Calle, A. & Casanova, J.L. (2008). Forest Fires and Remote Sensing. *Integration of Information for Environmental Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-1-4020-6575-0\_19
- Calle, A., Salvador, P., & González, F. (2011). Study of the impact of wildfires emissions, through MOPITT CO total column at different spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (9-10), 3397-3415. doi: 10.1080/01431161.2012.716534
- Casbeer, D.W., Beard, R., McLain, T., Li, S., & Mehra, R. (2005). Forest fire monitoring with multiple small UAVs. *2005 American Control Conference*. ss.3530-3535. doi:10.1109/ACC.2005.1470520
- De Groot, W.J., Goldammer, J.G., Justice, C.O., Lynham, T.J., Csiszar, I.A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2010). Implementing a global early warning system for wildland fire. VI. *International Conference on Forest Fire Research*, 13-18 November, ADAI/CEIF University of Coimbra, Portugal.
- De Simone, W., Di Musciano, M., Di Cecco, V., Ferella, G., & Frattaroli, A. (2020). The potentiality of Sentinel-2 to assess the effect of fire events on Mediterranean mountain vegetation. *Plant Sociology*, 57(1), 11-22. doi:10.3897/pls2020571/02
- Domenikiotis, C., Dalezios, N., Loukas, A., & Karteris, M. (2002). Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), 4235-4246. doi:10.1080/01431160110107707
- EEA (2008). European forests - ecosystem conditions and sustainable use. *European Environment Agency (EEA) Report No 3/2008*, European Environment Agency (EEA): Copenhagen. (www.eea.europa.eu/publications/eea\_report\_2008\_3)
- Fan, X., Xin, Z., Li, J., Li, Y., Wan, J., Sun, H., ...& Cheng, L. (2019). A fire protection robot system based on slam localization and fire source identification. *IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)* ss.555-560. doi:10.1109/ICEIEC.2019.8784563
- Feng, W., Hu, C., Zhang, J., & Yan, H. (2018). A forest fire identification method for unmanned aerial vehicle monitoring video images. *IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*. doi:10.1109/GNCC42960.2018.9019073
- Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O., & Quintano, C. (2016). Sentinel-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 170-175. doi:10.1016/j.jag.2016.03.005

- Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A., Stocks, B.J., & Wotton, B.M. (2006). Forest fires and climate change in the 21<sup>st</sup> century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(4), 847–859. doi:10.1007/s11027-005-9020-7
- Filippini, F. (2019). Exploitation of Sentinel-2 time series to map burned areas at the national level: A case study on the 2017 Italy wildfires. *Remote Sensing*, 11(6), 622. doi: 10.3390/rs11060622
- Fraser, R., van der Sluijs, J., & Hall, R.J. (2017). Calibrating satellite-based indices of burn severity from UAV-derived metrics of a burned boreal forest in NWT, Canada. *Remote Sensing*, 9(3), 279. doi:10.3390/rs9030279
- García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., Fernández-Guisuraga, J.M., Fernández-García, V., Fernández-Manso, A., Quintano, C., ... & Calvo, L. (2019). Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 137–144. doi:10.1016/j.jag.2019.04.006
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. & Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2–3), 273–282. doi:10.1016/S0034-4257(03)00184-6
- Gillett, N.P., Weaver, A.J., Zwiers, F.W., & Flannigan, M.D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters*, 31(18), L18211. doi:10.1029/2004GL020876
- Goldammer, J.G. (1999). Early warning systems for the prediction of and appropriate response to wildfires and related environmental hazards. *Health Guidelines for Vegetation Fire Events*, ss. 9–70. Singapore, Namic Printers.
- Hmimina, G., Dufrene, E., Pontailleur, J.Y., Delpierre, N., Aubinet, M., Caquet, B., ... & Soudani, K. (2013). Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment*, 132, 145–158, doi:10.1016/j.rse.2013.01.010
- Hirsch, K.G., & Fuglem, P. (2006). *Canadian Wildland Fire Strategy: Background Syntheses, Analyses, and Perspectives*. Canadian Council of Forest Ministers, Edmonton, AB
- Holt, R., Egbert, J., Bradley, J., Beard, R., Taylor, C., & McLain, T. (2006). Forest fire monitoring using multiple unmanned air vehicles, 11. *Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference*, 24–28 April, Salt Lake City.
- Hua, L., & Shao, G. (2017). The progress of operational forest fire monitoring with infrared remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 28, 215–229. doi:10.1007/s11676-016-0361-8
- Jiao, Z., Zhang, Y., Jing, X., Mu, L., Yi, Y., Liu, H., & Liu, D. (2019). A deep learning based forest fire detection approach using UAV and YOLOv3. *1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)*, ss. 1–5. doi:10.1109/ICIAI.2019.8850815
- Kameche, M., Benzeniar, H., Benbouzid, A.B., Amri, R., & Bouanani, N. (2014). Disaster monitoring constellation using nanosatellites. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 6, 93–100. doi:10.5028/jatm.v6i1.281

- Kansal, A., Singh, Y., Kumar, N., & Mohindru, V. (2015). Detection of forest fires using machine learning technique: A perspective, *2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, ss. 241–245, doi:10.1109/ICIIP.2015.7414773
- Kavzoglu, T., Yildiz Erdemir, M., & Tonbul, H. (2016). Evaluating performances of spectral indices for burned area mapping using object-based image analysis. *Spatial Accuracy Congress*, ss.162–168, 5-8 Temmuz, Montpellier, France.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., & Sefercik, U.G. (2021). Marmara Denizindeki Müsilaj Olayının Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Tespiti ve İzlenmesi, *Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri* (ss. 203–224). Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). doi:10.53478/TUBA.2021.001
- Kelha, V., Rauste, Y., Häme, T., Sephton, T., Buongiorno, A., Frauenberger, O., ...& Vainio, T. (2003). Combining AVHRR and ATSR satellite sensor data for operational boreal forest fire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 24(8), 1691–1708. doi:10.1080/01431160210144705
- Knorr, W., Dentener, F., Hantson, S., Jiang, L., Klimont, Z., & Arneth, A. (2016). Air quality impacts of European wildfire emissions in a changing climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 5685–5703. doi:10.5194/acp-16-5685-2016
- Kotroni, V., Cartalis, C., Michaelides, S., Stoyanova, J., Tymvios, F., Bezes, A., ...& Giannaros, T.M. (2020). DISARM early warning system for wildfires in the eastern Mediterranean. *Sustainability*, 12, 6670. doi:10.3390/su12166670
- Kukuk, S.B. & Kilimci, Z.H. (2021). Comprehensive analysis of forest fire detection using deep learning models and conventional machine learning algorithms. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 7(2), 84–94. doi: 10.22399/ijcesen.950045
- Kustiyo, K., Dimiyati, R., & Lolitasari, I. (2015). Detection of forest fire, smoke source locationsin kalimantan during the dry season for the year 2015 using Landsat 8 from the threshold of brightness temperature algorithm. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 12(2), 151–160. doi:10.31622/ijreses/article/view/2692
- Kyrkou, C., & Theocharides, T. (2019). Deep-learning-based aerial image classification for emergency response applications using unmanned aerial vehicles. *ArXiv 2019*, arXiv:1906.08716
- Lee, W., Kim, S., Lee, Y., Lee, H., & Choi, M. (2017). Deep neural networks for wildfire detection with unmanned aerial vehicle. *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, ss. 252–253, 8–10 Ocak, Las Vegas, NV.
- Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., ...& Benson, N.C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15, 319–345. doi: 10.1071/WF05097
- Li, Z., Kaufman, Y.J., Ichoku, C., Fraser, R., Trishchenko, A., Giglio, L., Jin, J., & Yu, X. (2001). A review of AVHRR-Based active fire detection algorithms: principles, limitations and recommendations, *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning A Coordinated International Effort* (ss. 199–225). SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands.

- Luo, Y., Zhao, L., Liu, P., & Huang, D. (2018). Fire smoke detection algorithm based on motion characteristic and convolutional neural networks. *Multimedia Tools and Applications*, 77, 15075-15092. doi:10.1007/s11042-017-5090-2
- Martin, M.P., & Delgado, R.D. (2002). *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress, Rotterdam.
- Martinez-de Dios, J.R., Arrue, B.C., Ollero, A., Merino, L., & Gómez-Rodríguez, F. (2008). Computer vision techniques for forest fire perception. *Image and Vision Computing*, 26(4), 550-562. doi:10.1016/j.imavis.2007.07.002
- Matikainen, L., Lehtomaki, M., Ahokas, E., Hyyppa, J., Karjalainen, M., Jaakkola, A., Kukko, A., & Heinonen, T. (2016). Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 10-31. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.04.011
- McAlpine, R.S., & Wotton, B.M. (1993). The use of fractal dimension to improve wildland fire perimeter predictions. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(6), 1073-1077. doi: 10.1139/x93-137.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez de Dios, J., Ferruz, J., & Ollero, A. (2006). A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires. *Journal of Field Robotics*, 23(3-4), 165-184. doi:10.1002/rob.20108
- Merino, L., Caballero, F., Martínez de Dios, J., & Ollero, A. (2005). Cooperative fire detection using unmanned aerial vehicles. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, ss. 1896-1901, Barcelona, Spain.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez de Dios, J.R., Maza, I., & Ollero, A. (2010). Automatic forest fire monitoring and measurement using unmanned aerial vehicles, *VI International Conference on Forest Fire Research*, ss.1-15, 15 - 18 Kasım, Coimbra, Portugal.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de-Dios, J.R., Maza, I., & Ollero, A. (2012). An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 65, 533-548. doi:10.1007/s10846-011-9560-x
- Mills, S.J., Castro, M.P.G., Li, Z., Cai, J., Hayward, R., Mejias, L., & Walker, R.A. (2010). Evaluation of aerial remote sensing techniques for vegetation management in power-line corridors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(9), 3379-3390. doi:10.1109/TGRS.2010.2046905
- Muhammad, K., Ahmad, J., Lv, Z., Bellavista, P., Yang, P., & Baik, S.W. (2018). Efficient deep CNN-based fire detection and localization in video surveillance applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49, 1419-1434. doi:10.1109/TSMC.2018.2830099
- Nagel, G., Novo, E., & Kampel, M. (2020). Nanosatellites applied to optical Earth observation: A review. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(3), 1. doi: 10.4136/ambi-agua.2513
- Parajuli, A., Gautam, A.P., Sharma, S.P., Bhujel, K.B., Sharma, G., Thapa, P.B., Bist, B.S., & Poudel, S. (2020). Forest fire risk mapping using GIS and remote sensing in two major landscapes of Nepal, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2569-2586, doi:10.1080/19475705.2020.1853251

- Peace, M., McCaw, L., & Mills, G. (2012). Meteorological dynamics in a fire environment: A case study of the Layman prescribed burn in Western Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 62(3), 127.
- Respati, D., Salsabila, M.A., Fitriana, S., Septiana, M.E., Setiaji, N.H., & Saifi, A. (2017). Forest Fire Risk Zone Mapping using Landsat-8 Multispectral Satellite Imagery in Merbabu National Park, Indonesia, *Creative Innovation Without Boundaries*, MNNF Publisher: Malaysia. Chapter 40, ss.182-187.
- Reutebuch, S.A., Andersen, H.E., & Mcgaughey, R. (2005). Light Detection and Ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. *Journal of Forestry*, 103, 286-292.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., & Chuvieco, E. (2019). Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*, 222, 1-17. doi:10.1016/j.rse.2018.12.011
- Roy, D., Pouliot, G., Mobley, D., Thompson, G., Pierce, T.E., Soja, A.J., Szykman, J.J., & Al-Saadi, J. (2008). Development of Fire Emissions Inventory Using Satellite Data. *Air Pollution Modeling and its Application*, ss.217-225. Springer, New York, NY. doi:10.1007/978-1-4020-8453-924
- Roy, D.P., Huang, H., Boschetti, L., Giglio, L., Yan, L., Zhang, H.H., & Li, Z. (2019). Landsat-8 and Sentinel-2 burned area mapping - A combined sensor multi-temporal change detection approach. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111254. doi:10.1016/j.rse.2019.111254
- Sadeghi-Esfahlani, S. (2018). Mixed reality and remote sensing application of unmanned aerial vehicle in fire and smoke detection. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, 42-49. doi:10.1016/j.jii.2019.04.006
- Sali, M., Piaser, E., Boschetti, M., Brivio, P.A., Sona, G., Bordogna, G., & Stroppiana, D.A. (2021). Burned area mapping algorithm for Sentinel-2 data based on approximate reasoning and region growing. *Remote Sensing*, 13, 2214. doi:10.3390/rs13112214
- San Miguel Ayanz, J., Ravail, N., Kelha, V., & Ollero, A. (2005). Active fire detection for fire emergency management: Potential and limitations for the operational use of remote sensing. *Natural Hazards*, 35(3), 361-376. doi:10.1007/s11069-004-1797-2
- Sánchez Sánchez, Y., Martínez-Graña, A., Santos Francés, F., & Mateos Picado, M. (2018). Mapping wildfire ignition probability using Sentinel 2 and LiDAR (Jerte Valley, Cáceres, Spain). *Sensors*, 18(3), 826. doi:10.3390/s18030826
- Satir, O., Berberoglu, S., & Cilek, A. (2016). Modelling long-term forest fire risk using fire weather index under climate change in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(4), 537-551. doi:10.15666/aeer/1404\_537551
- SCBD (2001). Impacts of Human-Caused Fires on Biodiversity and Ecosystem Functioning, and Their Causes in Tropical, Temperate and Boreal Forest Biomes, CBD Technical Series No. 5. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD), Montreal.
- Sefercik, U.G., Alkan, M., Jacobsen, K., Buyuksalih, G., Atalay, C., & Karakis, S. (2020). Optimizing the achievable information content extraction from WorldView-4 stereo imagery. *PFG - Journal of Photogrammetry Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88, 449-461. doi:10.1007/s41064-020-00127-8

- Sefercik, U.G., Karakış, S., & Atalay, C. (2018). Production of airborne laser scanner skilled advanced unmanned air vehicle and the potential of preliminary data, *26th IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 2-5 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- Sefercik, U.G. & Atesoglu, A. (2017). Three-dimensional forest stand height map production utilizing airborne laser scanning dense point clouds and precise quality evaluation. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 10, 491–497. doi:10.3832/ifor2039-010
- Sefercik U.G., Buyuksalih, G., Jacobsen, K., & Alkan, M. (2017). Point-based and model-based geolocation analysis of airborne laser scanning data. *Optical Engineering*, 56(1), 13101. doi:10.1117/1.OE.56.1.013101
- Seydi, S.T., Akhoondzadeh, M., Amani, M., & Mahdavi, S. (2021). Wildfire damage assessment over Australia using Sentinel-2 imagery and MODIS land cover product within the google earth engine cloud platform. *Remote Sensing*, 13(2), 220. doi:10.3390/rs13020220.
- Shin, J.-i., Seo, W.-w., Kim, T., Park, J., & Woo, C.-s. (2019). Using UAV multispectral images for classification of forest burn severity - A case study of the 2019 Gangneung forest fire. *Forests*, 10, 1025. doi:10.1025.10.3390/f10111025
- Sujatha, C. N., Sri Lakshmi, P., Reddy S.Y., & Mrudula Sai, I. (2020). Application of fire fighting drone in containment of small-scale fires, *Journal of Critical Reviews*, 7(19), 7533–7539. doi:10.31838/jcr.07.19.859
- Tatlı, H., & Türkes, M. (2014). Climatological evaluation of Haines forest fire weather index over the Mediterranean Basin. *Meteorological Applications*, 21, 545–552. doi:10.1002/met.1367
- Tonbul, H., Colkesen, I., & Kavzoglu, T. (2019). Forest fire and burn severity analysis in Cefalu region of Italy using Sentinel-2 imagery. *International Symposium on Applied Geoinformatics*, ss.208–211, Istanbul, Turkey.
- Tonbul, H., Kavzoglu, T., & Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal Landsat imagery: A case study in Mersin, Turkey. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ss.763–769. doi:10.5194/isprsarchives-xli-b8-763-2016
- Turco, M., Llasat, M.-C., von Hardenberg, J., & Provenzale, A. (2014). Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climatic Change*, 125, 369–380. doi:10.1007/s10584-014-1183-3
- URL-1: IPCC Web Sitesi, Global Warming of 1.5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/> (01.09.2021).
- URL-2: Ormanların yönetimi için insansız hava sistemleri. <https://phys.org/news/2021-07-unmanned-aerial-forest.html> (24.09.2021).
- URL-3: Kanada Orman Yangın Bilgi Sistemi. <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca> (15.09.2021).
- URL-4: EHang Yangınlara Müdahale İHA'sı. EHang Announced Completion of EH216F's Technical Examination by NFFE. <https://www.ehang.com/news/798.html> (13.07.2021).
- Verhegghen, A., Eva, H., Ceccherini, G., Achard, F., Gond, V., Gourlet-Fleury, S., & Cerutti, P.O. (2016). The potential of Sentinel satellites for burnt area mapping and monitoring in the congo basin forests. *Remote Sensing*, 8(12), 986. doi:10.3390/rs8120986



- Vermote, E., & Wolfe, R. (2021). MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi:10.5067/MODIS/MOD09GA.061
- Vescovi, F.D., Merletto, V., & Montanari, G. (2003). Monitoraggio MODIS di mucillagini nel Mare Adriatico. *Atti della VII Conferenza nazionale ASITA*, ss.1847-1852, 28 -31 October, Verona.
- Vimalkumar, R. (2020). Design and development of heavy drone for fire fighting operation. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(6), 572-576. doi:10.17577/IJERTV9IS060433
- Yankovich, K.S., Yankovich, E.P., & Baranovskiy, N.V. (2019). Classification of vegetation to estimate forest fire danger using Landsat 8 images: Case study. *Mathematical Problems in Engineering*, 6296417. doi:10.1155/2019/6296417
- Yuan, C., Zhang, Y., & Liu, Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection and fighting using UAVs and remote sensing techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7), 783-792. doi:10.1139/cjfr-2014-0347
- Zhang, L., Wang, B., Pengi W., Li, C., Zepingi L., & Guo, Y. (2015). A method for forest fire detection using UAV. *Advanced Science and Technology Letters*, 81, 69-74. doi:10.14257/astl.2015.81.15
- Zhang, Y., Yuan, X., Li, W., & Chen, S. (2017). Automatic power line inspection using UAV images. *Remote Sensing*, 9, 824. doi:10.3390/rs9080824
- Zhang, Q., Xu, J., Xu, L., & Guo, H. (2016). Deep convolutional neural networks for forest fire detection. *2016 International Forum on Management, Education and Information Technology Application*, Atlantis Press, Paris, France.
- Zhao, Y., Ma, J., Li, X., & Zhang, J. (2018). Saliency detection and deep learning-based wildfire identification in UAV imagery. *Sensors*, 18, 712. doi:10.3390/s18030712
- Zhou, Y., Chen, S., Zhou W., & Wang, L. (2004). Early warning and monitoring system for forest and grassland fires by remote sensing data, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, ss.4799-4802, doi:10.1109/IGARSS.2004.1370234