

**ORMAN YANGINLARI SONRASI YANAN
ALANLARIN AĞAÇLANDIRILMASI, İZLEME
VE DEĞERLENDİRME**

**REFORESTING OF BURNED FORESTLAND AFTER
WILDFIRE AND MONITORING**

Prof. Dr. Halil Barış Özel
Prof. Dr. Ayhan Ateşođlu
Prof. Dr. Erol Kırdar

**Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL / Bartın Üniversitesi /
halilbaris[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9518-3281**

Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL, 1977 yılında Kastamonu’da doğdu. 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesinden Bölüm ve Fakülte Birincisi olarak mezun oldu. Yine Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünde 2002 yılında Yüksek Lisans öğrenimini ve 2007 yılında da Doktora öğrenimini başarıyla tamamladı. 2008-2009 yıllarında Yedek Subay olarak askerlik görevini tamamladıktan sonra, 2009 yılında “Yardımcı Doçent”, 2013 yılında “Doçent” ve 2018 yılında da “Profesör” unvanlarını aldı. Silvikültür Anabilim Dalı Başkanlığı, Bölüm Başkan Yardımcılığı ve Bölüm Başkanlığı görevlerinde bulundu. Almanya, Avusturya, İtalya, Çek Cumhuriyeti, Macaristan ve Hırvatistan’da bulunan çeşitli üniversitelerin Orman Fakültelerinde ve IUFRO’ya bağlı farklı Ormancılık Araştırma Kurumlarında burslu olarak çeşitli araştırma, eğitim alma ve eğitim verme faaliyetlerinde bulundu. Silvikültür, Ağaçlandırma, Fidanlık Tekniği, Orman Genetiği, Bitki Fizyolojisi, İklim Değişikliği ve Biyolojik Çeşitlilik konularında çalışmaları bulunan Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL, COST, TÜBİTAK ve Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen projelerde yürütücülük ve araştırmacılık görevlerinde bulundu.

**Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL / Bartın University /
halilbaris[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9518-3281**

Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL was born in Kastamonu in 1977. He graduated from Zonguldak Karaelmas University, Bartın Faculty of Forestry in 1999 as the first of the department and faculty. He successfully completed his master’s degree in 2002 and his doctorate in 2007 at Institute of Science and Technology in Zonguldak Karaelmas University. After completing his military service as a Reserve Officer in 2008-2009, he received the titles of “Assistant Professor” in 2009, “Associate Professor” in 2013 and “Professor” in 2018. He served as the Head of the Department of Silviculture, the Head Vice of the Forest Engineering Division and the Head of the Forest Engineering Division. He carried out various research, training and education activities with scholarship in the Forestry Faculties of various universities in Germany, Austria, Italy, Czech Republic, Hungary and Croatia and in different Forestry Research Institutions affiliated to IUFRO. Having special studies on Silviculture, Afforestation, Nursery Techniques, Forest Genetics, Plant Physiology, Climate Change and Biological Diversity, Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL worked as an executive and researcher in projects supported by COST, TÜBİTAK and University Scientific Research Projects Coordinatorship.

**Prof. Dr. Ayhan Ateşoğlu / Bartın Üniversitesi /
aatesoglu[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0002-4030-7782**

Ayhan Ateşoğlu 1976 Mart ayında Denizli ili Çivril İlçesinde doğdu. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği bölümünden başarıyla mezun oldu. 2000 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek lisans eğitimini Zonguldak Karaelmas Üniversitesine bağlı Orman Fakültesinde, Doktora eğitimini Bartın Üniversitesine bağlı aynı Orman Fakültesinde başarıyla tamamlayarak mezun olmuştur. Yüksek lisans çalışma başlığı "Bartın Yöresi Arazi Kullanımındaki Değişimin Uzaktan Algılama Verileriyle Belirlenmesi", Doktora çalışma başlığı "Farklı Uydu Görüntü Verileri ile Meşcere Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması (Bartın-Mugada Örneđi)". Orman mühendisliği alanında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri entegre ormancılık çalışmaları, arazi kullanım/örtüsü sınıflandırma ve değişimi konularında güçlü bir alt yapısı bulunmaktadır. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım örgütü), TÜBİTAK ve T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı ile ortak birçok araştırma ve projelerde görev almıştır. Bu konularda ulusal ve uluslararası birçok bilimsel makale, bildiri ve bilimsel not sahibidir.

**Prof. Dr. Ayhan Ateşoğlu / Bartın University /
aatesoglu[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0002-4030-7782**

Ayhan Ateşoğlu was born in Denizli/Çivril, in March 1976. Ayhan Ateşoğlu graduated from Faculty of Forestry at Karadeniz Technical University in 1999. In 2000, he went to the Bartın and started to work as a research assistant at Zonguldak Karaelmas University. He took his MSc at Zonguldak Karaelmas University and PhD degree at the University of Bartın. MSc Dissertation titled: "Detection of Land Use Changes in Bartın Province Using Remotely Sensed Images" and PhD dissertation title: "Studying the Relations between Different Satellite Image Data and Stand Parameters (Bartın-Mugada Case Study)". Strong background Forest Engineering, in Remote Sensing & Geographic Information Systems Applications, and Land use/cover classification & Change detection. Carried out joint research and projects with FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), TÜBİTAK (The scientific and Technological Research Council of Turkey) and Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry. Has been published several research articles and review articles, which appeared in National, International journals and proceedings.

**Prof. Dr. Erol Kırdar / Bartın Üniversitesi /
ekirdar[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9136-4314**

Prof. Dr. Erol Kırdar 14.12.1967 tarihinde Zonguldak'ta doğdu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünde üniversite eğitime başladığı lisans eğitimini, 1990 yılında başarıyla tamamladı. Aynı yıl aynı üniversitede Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü Silvikültür Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı ve 1993 yılında mezun olup yüksek mühendis ünvanı aldı. 1993 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak akademik çalışma hayatına başladı. Sırasıyla Bülent Ecevit Üniversitesi'nde 1998 yılında Dr. ve Yrd. Doçent, 2004 yılında Doçent ünvanı aldı. Bartın Üniversitesi'nde 2009 yılında profesör ünvanı aldı.

**Prof. Dr. Erol Kırdar / Bartın University /
ekirdar[at]bartin.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9136-4314**

Prof. Dr. Erol Kırdar was born in Zonguldak in 1967. He graduated from Department of Forestry Engineering, Faculty of Forestry in Karadeniz Technical University in 1990. In the same year, he started his master's degree in Silviculture, Department of Forestry Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, and successfully graduated in 1993 with master's degree. In 1993, he started his academic career as a research assistant at Zonguldak Department of Forestry Engineering at Bülent Ecevit University. He received the title of Doctorate and Assistant Professor in 1998, then Associate Professor in 2004 at Bülent Ecevit University, respectively. He received the title of Professor at Bartın University in 2009.

ORMAN YANGINLARI SONRASI YANAN ALANLARIN AALANDIRILMASI, İZLEME VE DEğERLENDİRME

Özet

Ormanların ve sahip olduğu özel ekosistemin yangın sonrası mümkün olan en yüksek başarıyla yeniden imarında, yanan alanlarda gerçekleştirilecek ekolojik, teknik ve ekonomik analizlerin olabildiğince detaylı ve doğal süreçleri en iyi yansıtacak şekilde gerçekleştirilmesi önemlidir. Bu kapsamda yanan alanlarda ekolojik ve ekonomik hasar tespiti sonrası restorasyon çalışmalarının planlaması, işleme amaçlarının tespiti, öncül tür analizleri, yetiştirme ortamı koşullarının (klimatik, edafik ve fizyografik faktörler) etüdü, doğal tohum kullanma imkanlarının belirlenmesi ve bu analizler sonucunda arazi hazırlığı, ekim ve dikim materyalinin ıslah edilmiş kaynaklardan temini, doğru ağaçlandırma ve restorasyon tekniklerinin kullanımı, bakım ve diğer yetiştirme teknikleri bu alanların yeniden verimli hale getirilmesi süreçlerini doğrudan etkileyen önemli unsurlardır. Uzaktan algılama orman yangınlarının önlenmesi ve izlenmesi noktasında en etkili araç olarak tanımlanmaktadır. Orman yangınlarının haritalanması, yangın şiddeti ve uzun vadede yanan alanlardaki ekosistemin tekrar oluşturulması maksatlı izleme ve değerlendirme çalışmalarında, coğrafi bilgi sistemleri ile birlikte kullanılan uzaktan algılama verileri araştırmacılara önemli bilgiler sağlamaktadır. Orman yangınlarının karmaşıklığı, sonrasındaki ekosistemin tekrar oluşumunu tam kavrayabilmek amaçlı farklı teknik, yöntem ve modeller için farklı türdeki uzaktan algılama verilerinin kullanımı gereklidir. Bu bağlamda yangın öncesi ve sonrası bitki örtüsü ve değişimi, topografik ve diğer çevresel koşullar bölgedeki yangının etkilerini anlamak ve modelleyebilmek adına dikkate alınması gereken faktörlerdir.

Anahtar Kelimeler:

Orman yangınları, Alan analizleri, Ağaçlandırma, İzleme ve değerlendirme, Uydu görüntü verileri, Uzaktan algılama

REFORESTING OF BURNED FORESTLAND AFTER WILDFIRE AND MONITORING

Abstract

To create reproductive of forests and their special ecosystems with the highest possible success after a fire, it is important that the ecological, technical and economic analyzes to be carried out in the burned areas are carried out as detailed as possible and in a way that best reflects the natural processes. In this context, the planning of restoration works after the determination of ecological and economic damage in the burned areas, determination of operational purposes, pioneer species analysis, study of habitat and site conditions (climatic, edaphic and physiographic factors), determination of the possibilities of using natural seeds, and as a result of these analyzes, site preparation, the supply of seed material from improved seed sources for sowing and planting applications, the use of correct afforestation and restoration techniques, maintenance and other cultivation techniques are important factors that directly affect the processes of reproduction of these areas. Remote sensing is defined as the most effective tool for the prevention and monitoring of forest fires. Remote sensing data used together with geographic information systems provide important information to researchers in monitoring and assessment studies for the mapping of forest fires, fire severity and re-establishing the ecosystem in burned areas in the long term. Different types of remote sensing data are required for different techniques, methods and models in order to fully understand the complexity of forest fires and the subsequent regeneration of the ecosystem. In this context, vegetation cover and change before and after the fire, topographical and other environmental conditions are factors that should be considered to understand and model the effects of the fire in the region.

Keywords:

Burned areas, Big fire, Site analyses, Afforestation, Monitoring, Satellite image data, Remote sensing

GİRİŞ

Ekolojik koşulların etkisi ile uzun yıllar devam eden doğal süreçler sonucunda ortaya çıkan doğal kaynaklar her zaman insanlığın hizmetinde olmuştur. Gerek ilkel düzeyde gerekse günümüz modern toplum koşullarında insanlığa sağladığı ürün ve fonksiyonel hizmetler ile çok önemli katkı sağlayan ve faydaları bulunan doğal kaynakların başında ormanlar gelmektedir. Ormanlar günümüzde sadece ağaçlardan meydana gelen bir doğal kaynaklar şeklinde nitelendirilen ilkel ormancılık anlayışından daha ziyade sağladıkları koruyucu fonksiyonel hizmetler ve sağladıkları tam ve yarı mamul hammadde kaynağı olmaları ile modern ormancılık anlayışı çerçevesinde dünyanın kendisini doğal olarak yenileyebilen en önemli ekosistem olarak değerlendirilmektedir (Çepel, 1995). Son yıllarda tüm dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler, yoğun endüstrileşme ve hızla artan nüfusa bağlı olarak ortaya çıkan ve etkileri her geçen gün artarak hissedilen küresel ısınma insanlığın karşılaştığı en önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Bu kapsamda yaşanan buzulların erimesi ve yüksek ani yağışlar nedeniyle yaşanan sel ve taşkınlar, fırtınalar, aşırı sıcaklıklara bağlı olarak ortaya çıkan yangınlar ve çölleşme tüm toplum yaşamını, tarım ve yerleşim alanlarını, içme ve kullanma su kaynaklarını tehdit eden düzeye ulaşmıştır. Bu durum milyonlarca insanın göç etmesine, bazı bitki ve hayvan türlerinin neslinin tükenmesine, tarım ürünlerinde ihtiyacın karşılanamamasına, yerleşim alanlarının kısıtlanmasına hammadde ve enerji açıklarının yaşanmasına yol açmaktadır (Hardy, 2003). Küresel ısınma sorununun diğer tüm ekosistemlerde olduğu gibi çok sayıda faktörün komplike etkisi sonucunda ortaya çıkan orman ekosistemi üzerinde de olumsuz etkileri her yıl artarak devam etmektedir (Dixon vd., 1994; Guariguata vd., 2008). Bu itibarla orman ekosistemlerinin ev sahipliği yaptığı bitkisel ve hayvansal biyolojik çeşitlilik oranı her geçen yıl azalmakta, ormanların yapısında çok önemli tahribatlar meydana gelmekte, sahip oldukları ekolojik denge bozulmakta ve buna bağlı olarak sağladıkları ürün ve koruyucu fonksiyonel hizmetler ormanlar tarafından gerektiği gibi yerine getirilememektedir. Nitekim dünyanın akciğerleri olarak bilinen tropikal orman kuşağında yer alan Amazon Ormanlarında özellikle küresel ısınmaya bağlı olarak çıkan yangınlar ve aşırı faydalanmalar so-

nucunda son yıllarda kimi kısımlarında çölleşme belirtilerinin kendisini göstermeye başladığı ve bu durumun tamiri çok güç olan zararlara yakın gelecekte yol açacağı bildirilmiştir (Malhi vd., 2008). Günümüzde hem küresel ısınmanın etkileri hem de insan kaynaklı olarak ortaya çıkan yangınlar ormanların kitleler halinde zarar görmesine yol açan en önemli faktördür (Johnson & Miyanishi, 2001). Orman kaynaklarının yangınlarla kitleler halinde zarar görmesinde küresel ısınma, gerek yangınların şiddetini artırması, gerekse büyük yangınların meydana geldiği periyodun uzanmasına yol açması nedeniyle oldukça etkili olmaktadır. Dünyanın değişik coğrafyalarında, ABD ve Kanada gibi büyük yangınlarla yıllarca mücadele etmek zorunda kalan ülkeler tarafından kullanılan yangın indeksleri kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda özellikle büyük yangınların meydana gelme olasılığının arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda, büyük yangınların meydana gelme sezonunun uzadığı ve yangınların özellikle yerleşim yerlerini ve tarım alanlarını önemli ölçüde tehdit edecek düzeylere ulaştığı belirlenmiştir (Ertuğrul vd., 2021). Bu kapsamda yangınlar ile ilgili çok sayıdaki kaynaktan büyük yangınlar olarak tanımlanan ve 2021 yılında ülkemizin Akdeniz ve Ege Bölgelerinde birçok lokasyonda meydana gelen yangınlar neden oldukları, biyolojik, ekolojik, ekonomik ve sosyal etkileri itibarıyla bir afet olarak değerlendirilmelidir. Bu afetin tüm olumsuz etkilerini ortadan kaldırılabilmek ve özellikle ülkemizin ekolojik açıdan çok önemli olan Akdeniz ve Ege Bölgelerinin ormanlarının en kısa sürede uygun tüm teknik yöntemler kullanılarak yeniden imar ve ıslahının sağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda yanan orman alanlarının doğal klimaks yapısına, tür bileşimine ve amaç fonksiyonlarına uygun olacak doğru gençleştirme, ağaçlandırma ve rehabilitasyon teknikleri ile ıslah edilmiş ekim ve dikim materyalleri kullanılarak yeniden verimli hale getirilmesi ülkemiz ve Akdeniz havzası açısından çok önemlidir. Diğer taraftan büyük yangın afetleri sonucunda tahribata uğrayan orman alanlarının yeniden verimli hale getirilmesinden sonra yakından son yerel ve uzaktan algılama teknolojileri ve ekipmanları kullanılarak izlenmesi (örneğin; yanıcı madde miktarının düzeyi), kontrolünün sağlanması hem bu alanlarda yeniden bu afetlerin önüne geçilmesi hem de bu kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından zorunludur (Gunn, 1996; Martell vd., 1999).

YANAN ALANLARIN AĞAÇLANDIRILMASINDA İZLENECEK SÜREÇLER VE UYGULANACAK AĞAÇLANDIRMA TEKNİKLERİ

Ormanlarda ekosistemine önemli zararlar veren ve ekolojik dengeyi bozan yangınlar sonrasında yeniden bu ekosistemi onarmak ve ekolojik dengeyi sağlamak zorlu süreçlerde geçmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu süreçler yaşanırken de emek harcamak ve büyük ekonomik kaynakları kullanmak kaçınılmazdır (McIver & Starr, 2000). Bu nedenle hem ülkemiz hem de dünya insanlığı açısından çok önemli biyolojik, ekolojik, sosyal ve ekonomik değerler ortaya koyacak olan yanan alanların ağaçlandırma yoluyla yeniden tesis edilmesi genel sınırlarıyla değerlendirildiğinde aynı zamanda büyük yatırımlar olarak da zamanla kendisini göstermektedir. Bu itibarla yanan alanların restorasyonunda izlenecek süreçlerin ve gerçekleştirilecek uygulamaların çok ayrıntılı ve dikkatli bir şekilde planlanması ve sonucu etkileyecek olan detayların kesinlikle atlanmaması gerekmektedir (McIver & Ottmar, 2007). Nitekim bu kapsamda gerçekleştirilecek olan teknik çalışmaları planlama ve uygulama açısından, 'yangının hemen sonrasında gerçekleştirilen etütler', 'yanan alanlarda ağaçlandırma çalışmalarının planlanması ve uygulanması' olarak iki ana kategoride değerlendirmek konunun anlaşılması açısından çok daha yararlı bulunmuştur.

Hemen Yangın Sonrası Etüt Çalışmaları

Orman alanlarındaki yaşam ortaklığını kısmen ya da tamamen değiştiren veya yok eden yangınlar sonrasında gerçekleştirilecek olan biyolojik ve teknik etütler sonucunda yanan alanlardan elde edilecek veriler karar süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Yangınların hemen sonrası gerçekleştirilen ön etüt çalışmaları daha biyolojik ve ekolojik karakterli olup özellikle ilk 3-6 ay süreleri boyunca yoğun olarak ve yangın sonrası ilk 1 yıl tamamlanıncaya kadar da periyodik olarak gerçekleştirilmelidir (Thompson, Spies & Ganio, 2007). Gerçekleştirilecek etütler, vejetasyon, makro ve mikro fauna, meşcere ve canlılık, toprak yapısına ve verimlilik, iklimatik koşullardaki değişimlere yönelik etütleridir.

Vejetasyon Etütleri: Bu süreçte ilk incelemeler yangının yıkıcı ve tahripkar etkilerinin yavaş yavaş alandan kaybolmaya başlamasıyla birlikte vejetasyon üzerinde gerçekleştirilmelidir (Thompson vd., 2007). Vejetas-

yon üzerinde gerçekleştirilen ayrıntılı etütler süresince yangın sonrasında alana gelen ilk türler, bu türlerin klimaks ve indikatör özellikleri ve bu türler vasıtasıyla beliren canlılık süreçleri mutlaka yakından takip edilmeli ve düzenli olarak vejetasyon elemanlarının yaşamsal döngülerinde meydana gelen değişimler kayıt altına alınmalıdır (McIver & Ottmar, 2007). Özellikle Akdeniz ve Ege Bölgelerinde meydana gelen bu büyük yangın felaketlerinden sonra bilhassa doğal olarak yüksek sürgün verme özelliğinde olan maki elemanlarının alandaki yayılımı ve dağılımı yakından incelenmelidir. Çünkü yeniden orman alt florasının tesis edilmesi, alandaki toprak muhafaza karakterinin korunması ve verimli toprak koşullarının oluşması açısından bu maki elemanlarının kısa sürede alana gelmesi oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu doğal vejetasyon hareketliliklerinin meydana geldiği alanlar mümkün olduğunca korunmalıdır.

Makro ve Mikro Fauna Etütleri: Alanda vejetasyon etütleri sonrasında orman ekosisteminin en önemli unsurlarından birisi olan makro ve mikro habitata ilişkin farklılaşmalar, değişimler ve bu konuda ortaya çıkan hareketlenmeler yakından izlenmeli ve bu takipler sırasında yanan alanların restorasyonu ve ağaçlandırılmasında yarar sağlayacağı düşünülen toprak üstü makro fauna türleri, konaklama alanları, beslenme ve geçici dinlenme yerleri ile ilgili hususlar ve bunların yanı sıra özellikle toprak altında yer alan bakteri, fungus, mikoriza, alg vb. mikro canlı gruplarına ilişkin periyodik örneklemeler ile elde edilebilecek popülasyon büyüklüğüne ilişkin bilgiler önceden oluşturulacak veri tabanlarına dahil edilmelidir (Blake, 1982; Bunnell, 1995).

Meşcere ve Canlılık Etütleri: Yangın sonrası alanlarda gerçekleştirilecek ve yanan alanların restorasyonunda ve ağaçlandırılmasında doğrudan kullanılacak bilgilerin elde edileceği en önemli etüt sürecini “meşcere ve canlılık etütleri” oluşturmaktadır. Çünkü meşcere ve canlılık analizleri yangın sonrası orman ekosisteminde meydana gelen tahribatı en yakından ve aktüel bir şekilde ortaya koyan bulgulara ulaşılmasını sağlamaktadır (DeBano, Neary & Ffolliott, 1998). Bu kapsamda ilk olarak meşcere dinamiklerinde (kapalılık, sıklık, tabakalılık, karışım şekli, oranı, rekabet ve dayanışma ilişkileri) tamamen veya kısmen meydana gelen değişimler ve kaybolmalar ortaya çıkarılmalıdır. Bu amaçla gerekiyorsa yanan alanlarda meşcere biyokütlesi boşaltılmadan strüktür analizi gerçekleştirilmeli ve tüm detaylara ilişkin en aktüel bilgiler elde edilmelidir

(Frelich & Reich, 1995). Bu itibarla yanan alanlarda özellikle ağaç, ağaççık ve çalı katında hem alanın yeniden restorasyonu hem de toprak koruma karakterizasyonunun devamlılığını sağlamak adına canlılık kontrollerinin gerçekleştirilmesi gerekir (Robichaud, Byers & Neary, 2000). Bu doğrultuda özellikle orta ve büyük ölçekli yangınlarda tamamen yaygın tepe yangınları meydana gelmekle birlikte yapılan yerinde müdahaleler ve ani rüzgârı yönü değişimleri ile bireysel ya da bazı meşcere kısımlarında yanmamış veya tamamı ölmemiş tepelere rastlamak mümkündür (Raymond & Peterson, 2005). Bu durum özellikle kızılçam gibi yangına adapte olmuş Akdeniz ağaç türlerinde daha yaygın olarak görülmektedir. Boydak (2021) tarafından yapılan açıklamada da yer aldığı üzere, bu yıl Akdeniz ve Ege Bölgelerimizde yaşanan büyük yangınların oluştuğu alanlarda hakim ağaç türü olarak yer alan kızılçam erken yaşlarda (3-9 yaş) açılmayan ve içinde canlı tohumların yer aldığı kozalaklara sahiptir. Tepe tohum bankası olarak isimlendirilen bu kozalaklar yangın nedeniyle ortaya çıkan yüksek sıcaklıkla açılabilir ve alana dökülebilir. Daha sonra ilk sonbaharda meydana gelen yağışların toprakta oluşturacağı uygun çimlenme yatağında çimlenerek tüm alanda yeni ve genç jenerasyonu oluşturabilir. Bu nedenle ağaç katında yer alan ve tepe yangınları sonucunda sahip oldukları tohum verimlilikleri kaybetmeyen bireylerin doğal bir sürece bağlı olarak alanın yeniden restorasyonuna katkı sağlaması yanan sahlardaki orman ekosisteminin doğal yolla kısmen de olsa yeniden kazanımı için oldukça önemlidir. Bu durum ancak canlılık testleri ile mümkün olabilecektir. Diğer taraftan hayatiyetini büyük oranda kaybetmiş olan alanlarda canlılık oranının düşük değerler göstermesi nedeniyle söz konusu bu doğal süreçlerin yaşanması mümkün değildir. Dolayısıyla bu alanlarda yapay yöntemler ile özellikle ağaçlandırma teknikleri kullanılarak yeniden orman vejetasyonunun tüm bileşenleri ile alana getirilmesi bir zorunluluktur.

Toprak Yapısına ve Verimliliğine İlişkin Etütler: Bir orman ekosisteminden hem yapısal hem de biyolojik çeşitliliğin bir parçası olarak yangınlardan sonra en fazla etkilenen faktör topraktır. Toprak, yangınlar sonrasında sadece fiziksel özelliklerinde bozunumlar yaşamaz aynı zamanda bünyesinde bulunan mikro habitat elementleri ve tüm doğal bileşenler azalır veya tamamen kaybolur. Bununla birlikte toprak her şeyden önemlisi tüm canlılık fraksiyonlarını sağlayan su kaybına uğrar ki, bu

durum genç jenerasyonun alanda oluşmasını ve yeniden verimli ormanların ortaya çıkmasını önemli ölçüde geciktirir (Neary, Ryan & DeBano, 2005). Bu nedenle yangın sonrasında toprak yapısında yaşanan doğal süreçlerin mutlaka izlenmesi gerekmektedir. Bu itibarla değişen fizyografik koşullara (bakı, yükselti ve yamaç durumu) bağlı olarak sistematik örnekleme yöntemine göre açılacak toprak profillerinde fiziksel toprak yapısı incelenmeli ve bu profillerden horizon düzenine göre alınacak numunelerin kimyasal analizleri ile başta makro besin elementleri, organik madde içeriği, permabilite durumu gibi çok önemli kimyasal ve hidrolojik toprak özellikleri periyodik olarak takip edilmelidir (DeLuca & Zouhar, 2000). Alanda yangın sonrası tıraşlama şeklinde gerçekleştirilecek boşaltma çalışmaları da özellikle toprak erozyonu açısından orman toprağının tehditlere açık hale gelmesine yol açacak bir faktör olduğu hiçbir zaman unutulmamalıdır. Bu kapsamda bilhassa arazi eğiminin %40-50' den fazla olduğu alanlarda ya da daha dik yamaçlarda yanan alanlardan materyalin çıkarılması daha geniş zamanlarda ve mümkün daha küçük alanlar (maktalar) şeklinde planlama yapılarak gerçekleştirilmelidir (Helvey, Tiedemann & Anderson, 1985).

Klimatik Koşullardaki Değişime İlişkin Değerlendirmeler: Yangınların oluşmasında ve yayılmasında etkili olan hava nemi, sıcaklık ve rüzgâr gibi unsurlar yangın söndürme çalışmalarında önemli olduğu kadar yangın sonrası gerçekleştirilecek restorasyon ve ağaçlandırma çalışmalarının başarısı açısından önemlidir. Bu nedenle gerek uzun dönemler halinde gerekse aylık, günlük ve hatta saatlik ortalamalar şeklinde yörede hakim olan iklim koşullarına ilişkin etmenlerin ve bu etmenlerde meydana gelen ani değişimlerin belirlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla iklim elemanlarına ilişkin değerler sağlıklı bir şekilde elde edilmelidir. Bu itibarla özellikle yanan alanların iyileştirilmesine geçilmeden önce alanda tesisi edilecek mobil bir meteoroloji istasyonu ile kısa, orta ve uzun vadede rasat değerleri sağlanmalıdır. Nitekim iklim koşullarına ilişkin ayrıntılı veriler ağaçlandırma tekniği açısından belirli rol oynamaktadır. Özellikle arazi hazırlığı, ekim veya dikim çalışmalarının zamanı, bakım periyotlarının belirlenmesi gibi hususlara ilişkin kararların alınmasında mekanizmanın veya gelişen süreçlerin en önemli unsurlarından birisi olarak iklimik faktörler ortaya çıkmaktadır. Ağaçlandırma alanlarının yeni oluşabilecek yangın tehditlerine ilişkin olarak korunmasında da ani iklim değişimlerinin ve bunların mevsimsel dağılımının çok iyi bilinmesi

gerekmektedir. Bu nedenle özellikle yöre ile ilgili dendroklimatolojik çalışmaların yapılması ve bu çalışmalardan elde edilecek verilerin de kullanılması yapılacak ağaçlandırma çalışmaları için karar vericilere önemli avantajlar sağlayabilme imkanları sunmaktadır (Lehmkuhl vd., 2003). Diğer taraftan orman yangınları üzerinde iklim değişikliğinin etkileri de yakından incelenmeli ve bu amaçla yöresel şartlara uygun modeller oluşturulmalı ve kullanılmalıdır (Kasischke & Stocks, 2000).

YANAN ALANLARDA AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARININ PLANLANMASI VE UYGULANMASI

Yanan alanların ağaçlandırılarak yeniden verimli hale getirilmesi tüm toplumun ortak sorumluluğu ve görevidir. Bu görevin yerine getirilmesinde büyük emek, zaman ve ekonomik kaynakların kullanımı söz konusudur. Dolayısıyla büyük yatırımlar olarak değerlendirilen yanan alanların restorasyonu ve ağaçlandırılması hata kabul etmeyen ve sonunda mutlak başarı gerektiren uygulamalardır. Bu kapsamda önceki bölümde yer alan özellikle biyolojik ve ekolojik temelli etütlerden elde edilen bilgilere bağlı olarak gerçekleştirilecek ağaçlandırma çalışmalarının çok iyi planlanması gerekmektedir. Bu nedenle ağaçlandırma çalışmalarının ilk aşamasını planlama oluşturmalıdır. Doğru planlama ile hem arazinin analiz hem de hasar tespiti oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Bu kapsamda ilk ağaçlandırma uygulama planlaması havza düzeyinde gerçekleştirilmelidir. Bu doğrultuda havza karakteristiklerinin belirlenmesi ve yanan alanlara ilişkin hidrolojik modellemelerin yapılarak oluşturulan sayısal haritalara aktarılması planlama çalışmalarının başlangıcı açısından çok önemlidir (Ferreira vd., 2008). Bununla birlikte yanan alanların yeryüzü şekilleri itibarıyla eğim grupları ve yükselti kuşaklarına göre coğrafik bilgi sistemleri kullanılarak hazırlanan sayısal haritaları üzerinde özel konum koşullarına bağlı olarak sınıflandırmaların yapılması ve sınıflandırılan bu alanlarda gerçekleştirilecek iş organizasyonunun önem ve öncelik sırasına göre oluşturulması gerekir (Fernandez vd., 2014; Fernandez & Vega, 2016). Bu sınıflandırma sürecinde makinalı çalışmaya uygun eğim gruplarında boşaltma kesimleri, arazi hazırlığı, terasların yapılması, ekim ve dikim çalışmaları için maliyetleri düşürmek adına uygun mekanizasyon imkanlarından yararlanılması ekolojik ve ekonomik açıdan doğru bir seçim olacaktır. Ancak arazi eğiminin yük-

sek olduğu ve mekanizasyon tekniklerinin kullanılmayacağı alanlarda ise işçi gücünden optimal düzeyde faydalanılma tercih edilmelidir. Bu kapsamda gerek yanan alanlardaki emvalin çıkarılmasında gerekse bu alanların daha sonra yangınla mücadelede etkin fiziksel önlemler olarak kullanılmasında yararlanılacak olan yol imkanları çok entansif bir şekilde planlanmalıdır. Bu doğrultuda özellikle yangın emniyet şerit ve yolları mümkün olduğunca geniş ve ana sırt noktalarından geçirilerek tesis edilmesinde çıkabilecek yangınlara kolay müdahaleler açısından önemli faydalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, coğrafik bilgi sistemleri yardımıyla sınıflandırılan alanlarda meydana gelen tepe yangını sonrası mevcut tohum kaynaklarından yararlanılabilecek alanlarda doğal yolla yeni jenerasyonun oluşmasına yardımcı olacak tedbirler alınmalı ve bu doğal süreç her açıdan desteklenmelidir. Diğer taraftan hayatini kaybetmiş bireylerin çoğunlukta bulunduğu alanlarda ise tamamen uygun tür ve orijinlerin ıslah edilmiş materyallerinden elde edilen tohum veya bu tohumlardan üretilen fidanlar kullanılmalıdır (Bracken vd., 2015). Nitekim daha çok karstik yapıya sahip olan ve büyük yangın felaketlerini yaşadığımız Akdeniz ve Ege Bölgelerinde her iki bölgenin de klimaks türü olan kızılçamın sağlık kozalaklarını üzerinde barındıran dalları ile kozalaklı dal serme metodu uygulanarak ve bu dalların alanda yüksek sıcaklık ve düşük nem değerlerinde sağlayacağı doğal malçlama etkisinden yararlanarak yeniden yanan sahaların insan eliyle tesis edilmesi sağlanabilecektir. Bu uygulamalar sırasında doğal türün klimaks orijinlerinden asla vazgeçilmemelidir. Sadece olası yangın tehlikelerine karşı monokültür ormanlar tesis etmekten kaçınılmalı, ekolojik koşulların uygun olduğu alanlarda iğne yapraklı- geniş yapraklı karışık polikültür orman kuruluşları tesis edilmeye çalışılmalıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için de özellikle servi, mazı, huş, söğüt ve bazı yerli doğal kavak türleri ile yangın ve rüzgâr perdelerinin tesis edilmesine özen gösterilmelidir (Johnston vd., 2015). Bu kapsamda yanan alanlarda ekim veya dikimleri takip eden ilk yıllardan itibaren başlayacak bakım çalışmaları ile yangının bir daha tahripkâr etkiler meydana getirmesini engellemek adına yanıcı madde miktarını azaltmaya yönelik bakım çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Bu bakım çalışmalarında mümkün olduğunca doğru yöneme bağlı müdahale uygulanmalı ve çalışmaların zamanı doğru belirlenmelidir (Whitlock, Shafer & Marlon, 2003). Yanan alanların yeniden ağaçlandırılarak imar ve ıslah edilmesi küresel ısınma tehdidinin ortaya çıkmasına neden-

le olan karbon emisyonu için de oldukça önemlidir. Yangınlarla zarar gören orman alanlarının yeniden verimli hale getirilmesiyle birlikte yerküre üzerinde karbon depolama özelliği en yüksek olan tek ve en önemli bu doğal kaynağın yeniden işlevlerini başarıyla gerçekleştirmesi olması da sağlanacaktır. Özellikle ülkemizin iklimi için adeta koruyucu bir ekolojik eşik vazifesi gören Akdeniz ve Ege Bölgeleri ile Akdeniz ardı kuşata yer alan ormanların en uygun ağaçlandırma ve restorasyon teknikleri kullanılarak yeniden verimli hale getirilmesi uygun yaşam şartlarının ve su kaynaklarının her coğrafik bölgemizde korunması ve sağlanması açısından hayati önem taşımaktadır.

YANAN ALANLARIN İZLEME VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Orman yangınları doğal olarak kaçınılmaz olarak görünmekle birlikte, floranın ve ekosistemin değişmesi ve yenilenmesinde hayati bir öneme de sahiptir. Orman yangınları, zararlı çevresel ve insan yaşamına zararlı etkileriyle birlikte, ekosistem sürekliliğini de tehlike altına almaktadır (Flannigan, Stocks & Wotton, 2000). Özellikle son yıllarda yangınların miktarı ve yoğunluğundaki artışı, çevresel ve sosyo-ekonomik etkileri ile birlikte kamuoyunda endişe uyandırmaktadır. Orman yangınlarının habitatları olumsuz etkilemesi ile birlikte sosyo-ekonomik koşullar ve yangının kontrol altına alınması ve sonrası çalışmalar araştırmacılar ve hükümetlerin ortak ilgi alanı olmuştur.

Orman yangınlarını önleme ve söndürme planları geliştirmek için yangın risk (tehlike, duyarlılık) haritalarının oluşturulması gerekmektedir (Jung vd., 2013). Bu bağlamda oluşturulan haritalar, yangın önleme ve söndürme için gerekli kaynakların uygun dağılımları ve arazi kullanım planlamalarına destek sağlamaktadır. Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri ve araçları en büyük yardımcı konumdadırlar. Özellikle CBS kapsamında, UA'ya bağlı veriler ışığında bir alandaki orman yangını tehdidini bitki örtüsü, iklim, insan faaliyetleri ve topografya gibi ana unsurlar yardımı ve diğer tetikleyici faktörler vasıtası ile değerlendirilebilir (Saidi, Younes & Anselme, 2021; Gülçin & Deniz, 2020; Razavi-Termeh, Sadeghi-Niaraki & Choi, 2020). Bu değişkenlerin zamansal değişimleri mekâna dayalı ilişkileri tüm alanlar için yangın duyarlılığı noktasında doğru tahminlere dayalı modellerin yapılabilmesine olanak sağlar. Son yıllardaki araştırmalar genel olarak yangın yayılma

hızı, yangın koşullarını etkileyen bitki örtüsü tipi ve sürekliliği, yangın ortamı ve topografik faktörlerin etkileri, yangın söndürme ve söndürme işlemine insan müdahalesi konularına odaklanmaktadır (Tariq vd., 2021).

İklim ve arazi kullanım değişiklikleri nedeniyle küresel ölçekte öngörülen yangın rejimlerinin değişimi göz önünde bulundurulduğunda önleme ve iyileştirme faaliyetlerine daha fazla dikkat edilmektedir. Özellikle yangın sonrası ekosistemi iyileştirmek maksatlı restorasyon çalışmalarlarıyla alakalı olarak, tahribata uğramış ekolojik süreçlerin anlaşılması amaçlı yanan alanların uzun vadeli olarak izlenmesi ve planlamalarını gerçekleştirmek için farklı tekniklerin tanımlanması esastır (Chen vd., 2014). Bu amaçla, şüphesiz en çok kullanılan veriler UA verileri olmaktadır. Orman yangınları sonrasında ekosistemin yeniden oluşturulması, ekolojik koşulların iyileştirilmesi sürecinde kuşkusuz en belirgin kriter vejetasyondur. UA verileri yardımıyla vejetasyon temelli izleme ve değerlendirme yöntemleri, yanan alanların önceki ekolojik koşullarının yandıktan sonraki süreçte yerine tekrar getirilebildiğinin anlaşılmasındaki en önemli tekniklerden bir tanesidir. Yanan alanlardaki gerek doğal gerek suni olarak yapılan çalışmalarla birlikte bitki örtüsünün yeniden oluşması ve iyileşmesini esas alan UA ve CBS tabanlı izleme ve değerlendirme çalışmaları elzemdir. Yanan alanların sonrasında ekosistemi yeniden inşa edebilmek adına bitki örtüsünü yeniden kazanabilme, bitki örtüsü çeşitliliği, yanmayan alan ve tohum kaynakları tespiti ilgili izleme ve değerlendirme sistemlerinin ana unsurlarını teşkil ederler. Ekosistemin yeniden inşasına yönelik izlenmesi gerekli tüm unsurların eksiksiz bir şekilde ele alınması, yorumlanması ve değerlendirilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu bağlamda ücretsiz olarak sunulan Landsat, Sentinel, vb. uydu görüntü verileri zaman serilerine bağlı olarak farklı indeks görüntü zenginleştirme teknikleri kullanılarak yangın sonrası izleme ve değerlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Pacheco vd., 2021; Bar, Parida & Pandey, 2020; Cicala vd., 2018). Son zamanlarda tüm unsurları değerlendirmek adına farklı yangın indeksleri de çalışmalarda kullanılmaktadır. Farklı bitki örtüsü türleri, farklı ekolojik bölgeler için farklı yangın indeksleri kullanımı da bitki örtüsü çeşitliliği nedeniyle beklenen ve karşılaşılan bir durumdur. Özellikle vejetasyon duyarlılığı nedeniyle optik görüntülerde kızıl ötesi bantların kullanımı bu indekslerde temel olarak yer almaktadır (Michael vd., 2021; Bar vd., 2020; Rakholia, Mehta & Suthar 2020; Evangelides ve Nobajas, 2020). Ayrıca, gerek LI-

DAR (havadan lazer tarama), İHA (İnsansız Hava aracı) sayısal görüntü verileri de Orman yangınları konularında belirli zaman serilerine bağlı olarak son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Yu vd., 2021; Xian vd., 2020; Moulianitis vd., 2019; Alonzo vd., 2017).

Orman yangınlarıyla alakalı olarak UA verilerinin ve uydu görüntü verilerinin kullanımı özellikle 20 yy.'ın sonundan beri hızla yaygınlaşmıştır. Bu gelişime paralel olarak genel olarak aşama kaydedilen alan yangın etkileri ve yanan alanlardaki tahribatın (yangın şiddeti) belirlenmesi, yangın öncesi koşulların olası yangın tehdidine yönelik çalışmalarıdır. Bu alanda oldukça fazla çalışma yapılmış ve modeller ve algoritmalar üretilmiştir. Yangın sonrası ekosistemin tekrar oluşumu, ekolojik koşulların tekrar gelişip oluşmasına yönelik çalışmalar gerek uzaysal ve zamansal açıdan gerekse UA verilerinin değerlendirilmesi ve yöntem geliştirilmesi noktasında yoğun bir araştırma ve çalışmalar bulunmaktadır. Bu bağlamda orman yangının mevcut yangın görülen alan ve dahi etrafı ile münasebette çevreye nasıl bir etki gösterdiği noktasında çalışmaların yoğunlaşması yangın sonrası tahribat ve ekosistem bozukluklarının değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır (Jhariya & Singh, 2021; Lindenmayer & Taylor, 2020; Viedma, Urbieta & Moreno, 2018; Roy, Boschetti & Trigg, 2006).

Yangın sonrası araştırmaların başında yanmış alanların haritalamaları gelmektedir. UA bu alanda en koç kullanılan veri sağlayıcı konumundadır. Özellikle 21 yy.'ın başlarına gelindiğinde orta çözünürlüklü uydu görüntü verileri (LANDSAT, MODIS, ASTER, SPOT vb.) yangın alanların haritalanması maksatlı kullanılmaya başlanmışlardır. Uydu görüntü verilerinden üretilmiş yanmış alanlar, arazi örtüsü ve bitki örtüsü zamansal değişimlerin ortaya konulduğu görüntü veri setleri oluşturulmuştur (Pacheco vd., 2021; Qiu vd., 2021; Hook vd., 2021; Çömert, Matci & Avdan, 2019). Orta çözünürlüklü bu uydu görüntü verileri bölgesel ve yerel ölçekte yanmış alanların haritalamalarında kullanılırken daha büyük ve belki de küresel ölçekteki yanan alanlar için düşük çözünürlüklü uydu görüntü verileri (NOAA, AVHRR) görüntüleri sıklıkla kullanılmışlardır (Plank & Martinis, 2018; Tomshin & Solovyev, 2018). Yanmış alanlardaki yangın modellemelerinin, uydu görüntü verilerinin uzun zaman serilerine bağlı olarak doğruluğu artmaktadır. Gerçekleştirilen modellemelerin gerek yersel gerekse yine UA verileri ile mutlak suretle doğruluk değer-

lendirilmelerinin yapılması gereklidir. Bu bağlamda oluşturulmuş tüm UA kaynaklı modellerin daha yüksek çözünürlüklü veri kümeleri ya da yersel olarak yapılmış çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmaları önemlidir (Franco, Mundo & Veblen, 2020). Yüksek-orta çözünürlüklü (Landsat, ASTER, SPOT vb.) uydu görüntü verileri kullanılarak geliştirilen yüksek doğrulukta yanan alan tespiti bir dizi algoritmalar üretilerek yerel ölçekte tespiti mümkün kılınmıştır. Küresel ölçekte bazı alanlarda veri eksikliği olsa da daha düşük çözünürlüklü uydu görüntü verileri (MODIS, AVHRR) yardımı ile kombinasyonlarla bu sorunlar aşılmıştır. Orta ve düşük çözünürlük uydu görüntü verileri (MODIS, AVHRR vb.) yardımı ile yanmış alan haritalamalarında ise uzun süreli zaman serileri (zamansal çözünürlük) bölgesel ve küresel ölçekte türetilmiş yanmış alan ürünlerini (MOD45A1, L3JRC vb.) ortaya çıkarmıştır (Humber vd., 2018; Masocha vd., 2017). Çözünürlüğe bağlı olarak yanmış alan sonuçlarındaki vejetasyona ve yangın mevsimine bağlı mevsimsellikler bu uydu görüntü verileri ve ondan türetilmiş verilerin olumsuzluklarını oluşturmaktadır. Sonrasında tek ya da iki fazlı görüntü işleme yaklaşımları basit ve zaman tasarrufu sağlamakla birlikte, bitki örtüsü indekslerinin kullanımını, görüntü sınıflandırma tekniklerinin kullanımını, nesne tabanlı sınıflandırma tekniklerini, karar ağacı ve regresyon ağacı modellerinin kullanımını olanak sağlamıştır (Ma vd., 2020; Pourghasemi vd., 2020; Jafarzadeh, Mahdavi & Jafarzadeh, 2017). Doğruluk ve hassasiyet sürekli artsa da farklı ekosistem yapıları, topografyalar, eğitim veri kümelerinin seçimi, fazla çalışma sahasında uygulanabilme ihtiyaçları ve diğer yöntemlerle karşılaştırmalı olarak doğruluk sonuçlarına ulaşma ihtiyacı göz önünde bulundurulmalıdır.

Yangın şiddeti, kısa ve uzun vadede fiziksel ve ekolojik koşulların bir fonksiyonudur. Yangın sonrasında ormanın yangına verdiği tepkinin belirlenmesi anlamında kullanılabilir. Yangın şiddeti yangın öncesi ortam ve bitki örtüsü tiplerine bağlıdır. Bu bağlamda yangın şiddeti hemen sonrasında vejetasyona bağlı değişimlerle ölçülebilecek, bitki örtüsüne dair gözlemler ile ilgili de bir süreçtir. Bu bağlamda yangın şiddeti orman yönetimi, ağaçlandırma ve restorasyonu çabalarına rehberlik edecek bir sonuç ortaya koymaktadır. Genel olarak yangın şiddeti canlı ağaç ölü ağaç oranı, biyokütle azalımı, gölgelilik azalma oranı, yaprak alan indeksi vb. kriterlere bağlı indisler aracılığı ile ölçülebilir bir kavram olarak kullanılmaktadır (White vd., 1996). Yakın zamanda UA bazlı çalışma-

lar farklı indekslerin (NBR, Normalized Burn Ratio; dNBR, Differenced Normalized Burn Ratio; RdNBR, Relative Differenced Normalized Burn Ratio; dNDV, Differenced Normalized Difference Vegetation Index; BCI, Burn Class Index; SRI, Surface Roughness Index; VCI, Vegetation Cover Index) yangın şiddetinde kullanıldığını göstermiştir (Meng & Meentemeyer, 2011; Miller vd., 2009; Escuin, Navarro & Fernandez, 2008). Yangın şiddetinde kullanılan birçok indeks (Composite Burn Index, Geo Composite Burn Index, Post Fire Index vb.) UA tabanlı başta vejetasyon indeksleri (NBR, NDVI, SAVI vb.) olmak üzere diğer indeks ve bant kompozisyonları (Bant Oranı, Albedo vb.) ile kalibrasyon ve doğrulama amaçlı kullanılmaktadır (Chu & Guo, 2014). Tüm bu gelişmelere rağmen yangın şiddeti için kullanılan algoritma ve modellemeler için UA tabanlı bitki indeks görüntü verileri kesin ve doğru sonuçlar vermemektedir. Bu bağlamda elde edilen sonuçları, alternatif yaklaşımlar olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır.

Orman yangınının ekosisteminin nasıl tepki verdiği, ancak yangın sonrası mekansal olarak değişikliklerin takibi ile mümkün olmaktadır. Bu bağlamda genel olarak optik bazlı ve ücretsiz olarak ulaşılabilen uydu görüntülerinden başta Landsat uydu görüntü verileri olmak üzere kontrollü, kontrolsüz sınıflandırma, lineer regresyon modelleri, parametrik olmayan yöntemler (Karar ağaçları, sinir ağları vb.) kullanılarak ormanlar hakkında bilgi sahibi olunmuştur (Arruda vd., 2021; Chanthiya & Kalaivani 2021; Zhang vd., 2020). Zaman serilerinin olmasından kaynaklı avantajları yanında, sınırlı üç boyutlu veri, spektral aralık olarak büyüme evrelerinin tam olarak ayırt edilememesi, bazı bitki türü tanımlamalarındaki kısıtlar dezavantajları olarak sıralanmaktadır. Kullanılan diğer bir veri LIDAR teknolojileri, parametrik olmayan yöntemlerle (Lojistik regresyon, rastgele orman algoritması vb.) birlikte meşcere parametrelerine yönelik boy, çağ, kapalık sıklık vb. birçok parametre hesaplanabilmektedir (Cao vd., 2019; Bazezew, Hussin & Kloosterman, 2018; Trochta, Krůček & Vrška, 2017). İlgili LIDAR platformu üzerinde yüksek çözünürlüklü ve yeter spektral aralıkta optik bazlı görüntüleme sistemleri orman meşceresi hakkında, yangın sonrası gelişimleri hakkında bilgi sahibi olmayı kolaylaştırmaktadır (Li vd., 2020; Pearse vd., 2018) Özellikle üç boyutlu bir şekilde takibin yapılabileceği LIDAR görüntüleme ürünleri, daha tutarlı ve hassas veri üretimini sağlamaktadır. Fakat yangın sonrası ilk suni ya da doğal yolla ağaçlandırma takibi süresince topografya ve bitki örtüsü farklılığı gibi ne-

denlerden dolayı takibin güçlülüğü, meşcere belirli bir sıklık ve kapalılığa ulaştığında nokta bulutu üzerinden bazı meşcere parametrelerin elde edilmesindeki zorluklar, büyük alanlar için kullanılmasındaki maliyet gibi nedenler dezavantajlarını oluşturmaktadır (Zou, Li & Wang, 2020). İzleme ve değerlendirmede kullanılan SAR verileri ise, tanımlayıcı istatistik metotları, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri yardımıyla meşcere parametreleri tahmin edilmektedir (Bae vd., 2019; Garcia vd., 2018; Tanese vd., 2010). Özellikle L bant gibi ormana duyarlı bir geri saçılımı yeter düzeydeki veriler yardımı ile meşcere parametreleri tahminleri daha doğru ve hassas olarak gerçekleştirilmektedir. Radar verilerinin kendilerine has avantajları sayesinde, yangın sonrası her türlü hava koşulundan bağımsız olarak izleme ve değerlendirme gerçekleştirilmektedir. Bölgesel ve ülkesel ölçekte izleme ve değerlendirmeye imkan tanımaktadır. Özellikle toprak nemi ve içeriği noktasında gerekli modellere farklı girdilerin önü açılması sonuçların daha tutarlı olmasında etkindir. Topografya, orman yapısı ve radar geometrisinden kaynaklı sıkıntılar dezavantajlarını oluşturmaktadır. Fakat yukarıda bahsedilen her üç veri çeşidi, genel olarak yangın sonrası orman gelişimi, takibi, meşcere olgusundan sonraki meşcere parametreleri ve onun üzerinden gelişim süreçlerini takip edilebilmeleri noktasında UA bağlamında yeter düzeyde veri sağlamaktadırlar. Landsat TM/ETM+, SPOT ve MODIS optik görüntü verileri üzerinden farklı indeks görüntüler oluşturularak özellikle hesaplanabilen yaprak alan indeks verileri, LIDAR (hava ve uydu bazlı) verilerinden hesaplanabilen meşcere parametreleri (yükseklik, kapalılık, sıklık, hacim, biokütle vb.), SAR verileri üzerinden toprak nemi ve biokütle verilerinin hesaplayabilme yetenekleri ve bu üç algılayıcının birlikte kullanımları orman yangını sonrası yanan alanlarının takibi açısından önemli sonuçlar üretmektedirler (Andres-Mauricio vd., 2021; Dymond vd., 2019; Garcia vd., 2018).

İlgili mekânsala bağlı yangın öncesi ve sonrası indeks değerleri üzerinden eşleşik rakamsal verilere ulaşılsa da, bitki örtüsü tipleri kompozisyonu ve orman yapısı bakımından farklılık gösterebilirler. Bu nedenle doğrulama için yersel veri ile UA verilerinin entegrasyonu şarttır. Benzer olarak Optik ve SAR/LIDAR görüntü verileri doğruluk için de kullanılabilirler. Mekânsal ve spektral çözünürlüğe bağlı kullanılan UA verileri çevresel koşullar, bitki örtüsü özellikleri bakımından her zaman yeterli olmayabilir. Bu nedenle, orman yangını görmüş alanların geçmiş yapısının iyi analiz edilerek orman yapısının net olarak bilinmesi önemlidir.

Çok zamanlı ve çok algılayıcı UA verileri bu problemin çözümü için uygun olabilirler. Netice itibariyle farklı kısıtlar neticesinde yüksek bir doğrulukta olmasa da istatistiksel olarak kabul edilebilir doğruluk değerine sahip sonuçlarla yangın sonrası orman modelleri oluşturulabilmektedir. Bu sorunun çözümüne yönelik farklı mekânsala dayalı farklı indeks/bant kombinasyonları kullanılması, mekâna dayalı biyofiziksel ve çevresel parametrelerin doğru ve hassas şekilde belirlenmesi ve modele dahil edilmesi önem taşımaktadır. Yangın sonrası orman modellerinin tahminleri, yangın şiddeti tespitlerinde düşük doğrulukların engellenmesi ve doğrulukları yüksek sonuçlar elde etmek maksatlı zaman serilerinin geniş olması, belirsizlik temelli algoritmaların seçimi, optik, SAR ve LIDAR algılayıcılarının entegre kullanımı ve daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntü verilerin (IKONOS, OrbView vb.) entegre kullanılması daha doğru sonuçların üretilmesine katkı sunmaktadır. Sonuç olarak alt optik bazlı değerlendirmeler özellikle yanmış alanların izleme ve değerlendirmesi için yeterli olamamaktadır. LIDAR/SAR benzeri algılayıcılarla birlikte tamamlayıcı bir şekilde izleme ve değerlendirmelerde bulunmak son derece doğru ve hassas sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Yangın sonrası orman arazilerindeki karmaşıklık, yapılacak çalışmalar ve süreleri, bu değişimleri zamana göre değişimlerini haritalamak ve modellemenin tek amacı yangın sonrası orman ekosisteminin tekrar oluşturulabilmesine yönelik doğru sonuçlar vermesi üzerinedir. Orman ekosistemini oluşturan toprak bitki örtüsü vb. tüm unsurların yerli yerinde olması maksatlı UA bazlı yapılan bu çalışmalar, gerçek manada orman ekosisteminin oluşturulmasına zemin hazırlayacak harita ve model sonuçlarını içermelidir.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Alonzo, M., Morton, D. C., Cook, B. D., Andersen, H.-E., Babcock, C., & Pattison, R. (2017). Patterns of canopy and surface layer consumption in a boreal forest fire from repeat airborne lidar. *Environmental Research Letters*, 12(6), 065004. doi:10.1088/1748-9326/aa6ade
- Andres-Mauricio, J., Valdez-Lazalde, J.R., George-Chacón, S.P., & Hernández-Stefanoni, J. L. (2021). Mapping structural attributes of tropical dry forests by combining Synthetic Aperture Radar and high-resolution satellite imagery data. *Applied Vegetation Science*, 24, e12580. doi:10.1111/avsc.12580
- Arruda, V.L.S., Pionekowski, V.J., Alencar, A., Pereira, R.S., & Matricardi, E.A.T. (2021). An alternative approach for mapping burn scars using Landsat imagery, Google Earth Engine, and deep learning in the Brazilian Savanna. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100472, doi:10.1016/j.rsase.2021.100472

- Bae, S., Levick, S.R., Heidrich, L., Magdon, P., Leutner, B.F., Wöllauer, S.,... & Müller, J. (2019). Radar vision in the mapping of forest biodiversity from space. *Nature Communications*, 10, 4757. doi:10.1038/s41467-019-12737-x
- Bar, S., Parida, B.R., & Pandey, A.C. (2020). Landsat-8 and Sentinel-2 based forest fire burn area mapping using machine learning algorithms on GEE cloud platform over Uttarakhand, Western Himalaya. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100324, doi:10.1016/j.rsase.2020.100324
- Bazezew, M. N., Hussin, Y. A., & Kloosterman, E. (2018). Integrating airborne LiDAR and terrestrial laser scanner forest parameters for accurate above-ground biomass/carbon estimation in Ayer Hitam tropical forest, Malaysia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73(2), 638-652. doi:10.1016/j.jag.2018.07.026
- Blake, J. G. (1982). Influence of fire and logging on nonbreeding bird communities of ponderosa pine forests. *Journal of Wildlife Management*. 46, 404-415.
- Boydak, M. (2021). THK'nun Hali Cumhuriyet Değerlerine Karşı Bir Eylem. 12.08.2021 tarihli Cumhuriyet Gazetesi'nde yayımlanan kişisel röportaj (www.cumhuriyet.com.tr)
- Bracken, L.J., Turnbull, L., Wainwright, J., & Bogaart, P. (2015). Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 177-188. doi:10.1002/esp.3635
- Bunnell, F.L. (1995). Forest-dwelling vertebrate faunas and natural fire regimes in British Columbia: patterns and implications for conservation. *Conservation Biology*, 9, 636-644.
- Cao, L., Liu, K., Shen, X., Wu, X., & Liu, H. (2019). Estimation of forest structural parameters using UAV-LiDAR data and a process-based model in Ginkgo planted forests, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(11), 4175-4190. doi:10.1109/JSTARS.2019.2918572
- Chanthiya, T., & Kalaivani, V. (2021). Forest fire detection on LANDSAT images using support vector machine. *Concurrency and Computation Practice and Experience*, 33(6), e6280. doi:10.1002/cpe.6280
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C. (2014). Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data, *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 153-168, doi:10.5721/ EuJRS20144710
- Chu, T., & Guo, X. (2014). Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review. *Remote Sensing*, 6 (2), 470-520. doi:10.3390/rs6010470
- Cicala, L., Angelino, C. V., Fiscante, N., & Ullo, S. L. (2018). Landsat-8 and Sentinel-2 for fire monitoring at a local scale: A case study on Vesuvius, 2018 *IEEE International Conference on Environmental Engineering*, 1-6, doi:10.1109/EE1.2018.8385269
- Çepel, N. (1995). *Orman Ekolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No:3886, Fakülte Yayın No:433, 4. Baskı, İstanbul.
- Çömert, R., Matci, D.K., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 78-87. doi:10.26833/ijeg.455595

- DeBano, L.F., Neary, D. G., & Ffolliott, P.F. (1998). Fire's effects on ecosystems. New York: John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-16356-5
- DeLuca, T. H., & Zouhar, K. L. (2000). Effects of selection harvest and prescribed fire on the soil nitrogen status of ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 138, 263–271.
- Dixon, R.K., Brown, S.R., Houghton, A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems, *Science*, 263, 185-190.
- Dymond, J.R., Zörner, J., Shepherd, J.D., Wiser, S.K., Pairman, D., & Sabetzade, M. (2019). Mapping physiognomic types of indigenous forest using space-borne SAR, optical imagery and air-borne LiDAR. *Remote Sensing*, 11(16). doi:10.3390/rs11161911
- Ertuğrul, M., Varol, T., Özel, H.B., Çetin, M., & Şevik, H. (2021). Influence of climate factor of changes in forest fire danger and fire season length in Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(28), 1-17.
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernandez, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), 1053-1073. doi:10.1080/01431160701281072
- Evangelides, C., & Nobajas, A. (2020). Red-edge normalised difference vegetation index (NDVI705) from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100283. doi:10.1016/j.rsase.2019.100283
- Fernandes, P.M., Loureiro, C., Guiomar, N., Pezzatti, G. B., Manso, F.T., & Lopes, L. (2014). The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *Journal of Environmental Management*, 146, 373–382. doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.049
- Fernández, C., & Vega, J.A. (2016). Evaluation of RUSLE and PESERA models for predicting soil erosion losses in the first year after wildfire in NW Spain. *Geoderma*, 273, 64–72. doi:10.1016/j.geoderma.2016.03.016
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Ritsema, C.J., Boulet, A.K., & Keizer, J.J. (2008). Soil and water degradation processes in burned areas: lessons learned from a nested approach. *Catena*, 74, 273–285. doi:10.1016/j.catena.2008.05.007
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., & Wotton, B.M., (2000). Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262, 221–229. doi:10.1016/S0048-9697(00)00524-6
- Franco, M.G., Mundo, I.A., & Veblen, T.T. (2020). Field-validated burn-severity mapping in north Patagonian Forests. *Remote Sensing*, 12(2), 214. doi:10.3390/rs12020214
- Frelich, L.E., & Reich, P.B. (1995). Spatial patterns and succession in a Minnesota southern boreal forest. *Ecological Monographs*, 65, 325–346.
- García, M., Saatchi, S., Ustin, S., & Balzter, H. (2018). Modelling forest canopy height by integrating airborne LiDAR samples with satellite Radar and multispectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30(66), 159–73. doi:10.1016/j.jag.2017.11.017
- Guariguata, M., Cornelius, J., Locatelli, B., Forner, C., & Sánchez-Azofeifa, G.A. (2008). Mitigation needs adaptation: Tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(8), 793-808. doi:10.1007/s11027-007-9141-2

- Gunn, E.A. (1996). Hierarchical planning processes in forestry: A stochastic programming-decision analytic perspective. Workshop on Hierarchical Approaches to Forest Management in Pubhe and Private Organizations, ss. 85-95. Inf. Rep. PI-X-124. Canadian Forest Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River.
- Gülçin, D., & Deniz, B. (2020). Remote sensing and GIS-based forest fire risk zone mapping: The case of Manisa, Turkey. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1), 15-24. doi:10.18182/tjf.649747
- Hardy, J. T. (2003). *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. John Wiley & Sons Ltd.
- Helvey, J.D., Tiedemann, A.R., & Anderson, T.D. (1985). Plant nutrient losses by soil erosion and mass movement after wildfire. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(1), 168-173.
- Hook, S.J., Myers, J.J., Thome, K.J., Fitzgerald, M., & Kahle, A.B. (2021). The MODIS/ASTER airborne simulator (MASTER) – A new instrument for earth science studies. *Remote Sensing of Environment*, 76, 93-102. doi:10.1016/S0034-4257(00)00195-4
- Humber, M.L., Boschetti, L., Giglio, L., & Justice, C.O. (2018). Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products. *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 460-484. doi:10.1080/17538947.2018.1433727
- Jafarzadeh, A.A., Mahdavi, A., & Jafarzadeh, H. (2017). Evaluation of forest fire risk using the Apriori algorithm and fuzzy c-means clustering. *Journal of Forest Science*, 63, 370-380. doi:10.17221/7/2017-JFS
- Jhariya, M.K., & Singh, L. (2021). Effect of fire severity on soil properties in a seasonally dry forest ecosystem of Central India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2021. doi:10.1007/s13762-020-03062-8
- Johnson, E.A., & Miyanishi, K. (2001). *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*, Academic Press.
- Johnston, D.C, Turetsky, M.R., Benscoter, B.W., & Wotton, B.M. (2015). Fuel load, structure, and potential fire behaviour in black spruce bogs. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7), 888-899. doi:10.1139/cjfr-2014-0334
- Jung, J., Kim, C., Jayakumar, S., Kim, S., Han, S., Kim, D.H., & Heo, J. (2013). Forest fire risk mapping of Kolli Hills, India, considering subjectivity and inconsistency issues. *Natural Hazards*, 65(3), 2129-2146.
- Kasischke, E.S., & Stocks, B.J. (2000). Introduction. Fire, climate change, and carbon cycling in the North American boreal forest. *Ecological Studies*. Springer-Verlag, New York.
- Lehmkuhl, J.F., Everett, R.L., Schellhaas, R., Ohlson, P., Keenum, D., Riesterer, H., & Spurbeck, D. (2003). Cavities in snags along a wildfire chronosequence in eastern Washington. *Journal of Wildlife Management*, 67, 219-228.
- Li, W., Niu, Z., Shang, R., Qin, Y., Wang, L., & Chen H. (2020). High-resolution mapping of forest canopy height using machine learning by coupling ICESat-2 LiDAR with Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat-8 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92, 102163. doi:10.1016/j.jag.2020.102163
- Lindenmayer, D.B., & Taylor, C. (2020). New spatial analyses of Australian wildfires highlight the need for new fire, resource and conservation policies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117, 12481-12485.

- Ma, W., Feng, Z., Cheng, Z., Chen, S., & Wang, F. (2020). Identifying forest fire driving factors and related impacts in china using random forest algorithm. *Forests*, 11(5), 507. doi:10.3390/f11050507
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., & Nobre, C.A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172.
- Martell, D.L., Kourtz, P.H., Tithcott, A., & Ward, P.C. (1999). The development and implementation of forest fire management decision support systems in Ontario, Canada. Proceedings of the symposium on fire economics, planning, and policy: Bottom Lines, ss. 131-142. General Technical Report, PSW-GTR-173. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Masocha, M., Dube, T., Mpofu, N.T., & Chimunhu, S. (2017). Accuracy assessment of MODIS active fire products in southern African savannah woodlands. *African Journal of Ecology*, 56, 563-571. doi:10.1111/aje.12494
- McIver, J.D., & Starr, L. (2000). Environmental effects of postfire logging: literature review and annotated bibliography. General Technical Report, PNW-GTR-486. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McIver, J., & Ottmar, R. (2007). Fuel mass and stand structure after post-fire logging of a severely burned ponderosa pine forest in northeastern Oregon. *Forest Ecology and Management*, 288(1-3), 268-279.
- Meng, Q., & Meentemeyer, R. (2011). Modeling of multi-strata forest fire severity using Landsat TM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13 (1), 120-126.
- Michael, Y., Helman, D., Glickman, O., Gabay, D., Brenner, S., & Lensky, I.M. (2021). Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series. *Science of the Total Environment*, 142844. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142844
- Miller, J.D., Knapp, E.E., Key, C.H., Skinner, C.N., Isbell, C.J., Creas, R.M., & Sherlock, J.W. (2009). Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 113(3), 645-656. doi:10.1016/j.rse.2008.11.009
- Moulianitis V.C., Thanellas G., Xanthopoulos N., & Aspragathos N.A. (2019). Evaluation of UAV Based Schemes for Forest Fire Monitoring. *Advances in Service and Industrial Robotics. Mechanisms and Machine Science*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-00232-9_15
- Neary, D.G., Ryan, K.C., & DeBano, L.F. (2005). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Pacheco, A.P., Junior, J.A.S., Ruiz-Armenteros, AM., & Henriques, R.F.F. (2021). Assessment of k-nearest neighbor and random forest classifiers for mapping forest fire areas in central Portugal using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra imagery. *Remote Sensing*, 13(7), 1345. doi:10.3390/rs13071345
- Pearse, G.D., Dash, J.P., Persson H.J., & Watt M.S. (2018). Comparison of high-density LiDAR and satellite photogrammetry for forest inventory. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 142, 257-267. doi:10.1016/j.isprsjprs.2018.06.006

- Plank, S., & Martinis, S. (2018). A fully automatic burnt area mapping processor based on AVHRR imagery – A timeline thematic processor. *Remote Sensing*, 10(341). doi:10.3390/rs10020341
- Pourghasemi, H.R., Gayen, A., Lasaponara, R., & Tiefenbacher, J.P. (2020). Application of learning vector quantization and different machine learning techniques to assessing forest fire influence factors and spatial modelling. *Environmental Research*, 184, 109321. doi:10.1016/j.envres.2020.109321
- Qiu, J., Wang, H., Shen, W., Zhang, Y., Su, H., & Li, M. (2021). Quantifying forest fire and post-fire vegetation recovery in the Daxing'anling area of northeastern China using Landsat time-series data and machine learning, *Remote Sensing*, 13(4), 1-17. doi:10.3390/rs13040792.
- Rakholia, S., Mehta, A., & Suthar, B. (2020). Forest fire monitoring of schoolpaneshwar wildlife sanctuary, Gujarat, India using geospatial techniques. *Current Science*, 119(12), 1974-1981.
- Raymond, C.L., & Peterson, D.L. (2005). Fuel treatments alter the effects of wildfire in a mixed-evergreen forest, Oregon, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 35, 2981-2995.
- Razavi-Termeh, S.V., Sadeghi-Niaraki, A., & Choi, S.M. (2020). Ubiquitous GIS-based forest fire susceptibility mapping using artificial intelligence methods. *Remote Sensing*, 12, 1689. doi:10.3390/rs12101689
- Robichaud, P.R., Byers, J.L., & Neary, D.G. (2000). Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-63. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Roy, D.P., Boschetti, L., & Trigg, S.N. (2006). Remote sensing of fire severity: Assessing the performance of the normalized burn ratio, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 112-116. doi:10.1109/LGRS.2005.858485.
- Saidi, S., Younes, A.B., & Anselme, B.A. (2021). A GIS-remote sensing approach for forest fire risk assessment: case of Bizerte region, Tunisia. *Applied Geomatics*, 1-17. doi:10.1007/s12518-021-00369-0
- Tanase, M. A., Santoro, M., de la Riva, J., Pérez-Cabello, F., & Le Toan, T. (2010). Sensitivity of X-, C-, and L-Band SAR backscatter to burn severity in Mediterranean pine forests. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48, 3663-3675. doi:10.1109/TGRS.2010.2049653
- Tariq, A., Shu, H., Siddiqui, S., Mousa, B.G., Munir, I., Nasri, A., Waqas, H., Lu, & L., Baqa, M.F. (2021). Forest fire monitoring using spatial-statistical and Geo-spatial analysis of factors determining forest fire in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1212-1233. doi:10.1080/19475705.2021.1920477
- Thompson, J.R., Spies, T.A., & Ganio, L.M. (2007). Reburn severity in managed and unmanaged vegetation in a large wildfire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(25), 10743-10748.
- Tomshin, O.A., & Solovyev, V.S. (2018). Detection of Burnt Areas in Yakutia on Long-term NOAA Satellites Data (1985-2015). *Proceedings of SPIE on 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*, Tomsk, Russian Federation, 10833. doi:10.1117/12.2504569.

- Trochta, M., Krůček, T., & Vrška, K. (2017). 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. *PLOS One*, 12, e0176871, doi:10.1371/journal.pone.0176871
- Viedma, O., Urbieto, I., & Moreno, J. (2018). Wildfires and the role of their drivers are changing over time in a large rural area of west-central Spain. *Scientific Reports*, 8, 17797. doi:10.1038/s41598-018-36134-4
- White, J.D., Ryan, K.C., Key, C.C., & Running, S.W. (1996) Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 125-136.
- Whitlock, C., Shafer, S.L., & Marlon, J. (2003). The role of climate and vegetation change in shaping past and future fire regimes in the northwestern US and the implications for ecosystem management. *Forest Ecology and Management*, 17, 5-21.
- Xian, J., Xu, W., Long, C., Song, Q., & Yang, S. (2020). Early forest-fire detection using scanning polarization lidar. *Applied Optics*, 59(28), 8638-8644. doi:10.1364/AO.399766
- Zhang, Z., Long, T., He, G., Wei, M., Tang, C., & Wang, W. (2020). Study on global burned forest areas based on Landsat data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 86(8), 503-508. doi:10.14358/PERS.86.8.503
- Zou, F., Li, A., & Wang, Q. (2020). Comparative analysis of new forest resources survey methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 6th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers, August 14-15, Guiyang, China.