

**TÜRKİYE'DE YILDIRIM KAYNAKLI ORMAN
YANGINLARININ MEKANSAL VE ZAMANSAL
ÖRÜNTÜLERİ**

**SPATIOTEMPORAL PATTERNS OF LIGHTNING-
INDUCED WILDFIRES IN TURKEY**

MEHMET GÖKTUĞ ÖZTÜRK

PROF. DR ÇAĞATAY TAVŞANOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Tüm diğerkâmlara...

ÖZET

TÜRKİYE’DE YILDIRIM KAYNAKLI ORMAN YANGINLARININ MEKANSAL VE ZAMANSAL ÖRÜNTÜLERİ

Mehmet Göktuğ ÖZTÜRK

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

Eylül 2024, 59 sayfa

Yıldırım, orman yangınları için birincil doğal tutuşma kaynağıdır. Ancak birçok ülkede toplam yangın sayısının çoğunu insan kaynaklı yangınlar oluşturur. Bu sebeple çoğu ülkede, orman yangınlarının büyük çoğunluğunun insan kaynaklı olduğu algısı mevcuttur. Bu durum, ülke genelinden toplanan verilere bakıldığında istatistiksel olarak doğru olsa da, bu bakış açısı, orman yangınının ekosistemlerin doğal bir bileşeni olmadığı yanılıgına yol açar. Bu yanılıgı, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının bölgesel değişkenliğinin eleştirel bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Bu sebeple mevcut çalışmada 2002 ile 2022 yılları arasındaki ulusal orman yangını verileri kullanılarak Türkiye’deki yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal dağılımı incelenmiştir. Yangın nedenleri üç temel kategoriye ayrılmıştır: insan kaynaklı yangınlar, yıldırım kaynaklı yangınlar ve nedeni bilinmeyen yangınlar. Yıldırım kaynaklı orman yangınları ile insan kaynaklı orman yangınlarının mekânsal değişkenliğini, bölgesel ve yerel orman idare birimleri düzeyinde göstermek amacıyla yangın oluşumu ve yanan alanların dağılımı incelenmiştir. Türkiye genelinde yıldırım kaynaklı orman yangınlarının görülme sıklığında önemli bölgesel ve

yerel farklılıklar tespit edilmiştir. Batı ve Kuzey Anadolu'nun dağlık bölgelerinde - özellikle de Kuzeybatı ve Güneybatı Anadolu'da-, yıldırım yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda yıldırım kaynaklı yangınların daha fazla meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bazı yıllarda, orman bölge müdürlüklerindeki yıldırım kaynaklı yangınların oranının % 45'i, birçok orman işletme şefliğinde ise % 75'i aşmakta olduğu görülmüştür. Ancak yıldırım kaynaklı yangınlar, insan kaynaklı yangınlara kıyasla önemli ölçüde daha küçük alanların yanmasına neden olmuştur. Nüfusun en yoğun olduğu bölgelerde ağırlıklı olarak insan kaynaklı yangınlar meydana gelirken, daha az nüfuslu veya orman bakımından zengin olan birçok bölgede, yıldırımlar orman yangınlarının temel nedeni olmuştur. Buna ek olarak bazı mevsimsel örüntüler de tespit edilmiş; yıldırım kaynaklı yangınların yangın mevsiminde zirve yaptığı ve mevsim geçişlerinde göreceli olarak daha yüksek bir oran gösterdiği gözlemlenmiştir. İnsan aktivitelerindeki artışa rağmen yıldırım kaynaklı yangınlar Türkiye'nin birçok bölgesinde hâlâ önemli bir orman yangını nedeni olma özelliğini korumaktadır. Yıldırım kaynaklı yangınlardaki belirgin mekânsal değişkenlik ile ilgili bulgular, insan faaliyetlerinin Türkiye genelinde orman yangınlarının ana tutuşma kaynağı olduğu ve yıldırımın bir tutuşma kaynağı olarak önemsiz olduğu şeklindeki geleneksel inanca meydan okumaktadır. Bu çalışmanın bulguları, yıldırımın önemli bir yangın nedeni olduğu ülkelerde, son yüzyıl boyunca uygulanan tek tip yangın yönetimi stratejisinin yangın söndürme politikalarına yol açmasının ideal olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, ekolojik olarak uygun ve ekonomik olarak verimli bir orman yangını yönetim politikasının, yangınların nedenlerindeki bölgesel değişkenliği dikkate alması gerekmektedir. Bu doğrultuda, Türkiye gibi ülkelerde yangın söndürme stratejisinin yeniden değerlendirilmesi ve doğal orman yangınlarının rolünü dikkate alan daha seçici yangın söndürme uygulamalarının benimsenmesi gerektiği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Orman yangını, yıldırım kaynaklı orman yangınları, yıldırım, insan kaynaklı yangınlar, Türkiye, orman yangını yönetimi.

ABSTRACT

SPATIOTEMPORAL PATTERNS OF LIGHTNING-INDUCED WILDFIRES IN TURKEY

Mehmet Göktuğ ÖZTÜRK

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

September 2024, 59 pages

Lightning is the primary natural ignition source for wildfires. However, in certain ecosystems, anthropogenic fires predominate and account for the majority of fire incidents. In many countries, the prevailing perception holds that wildfires are overwhelmingly human-caused. While statistically accurate when pooling data from across the country, this perspective leads to a misconception that wildfires are not a natural component of ecosystems. This generalization requires a critical examination of regional variability in lightning-induced wildfires (LIWs). As a case study, we examined the spatial distribution of LIWs in Türkiye using national wildfire data between 2002 and 2022. We considered three main wildfire causes: human-caused, lightning-induced, and unknown-origin. We investigated the distribution of fire occurrences and burned areas to demonstrate the spatial variability of LIWs and human-caused fires (HCFs) across Türkiye at the regional and local forest management unit levels. We found considerable regional and local disparities

in the incidence of LIWs across Türkiye. We also observed a higher incidence of LIWs in areas with higher lightning densities, especially in the mountainous regions of western and northern Anatolia, including southwestern and northwestern Anatolia. In certain years, the proportion of LIWs exceeds 45% in some regional units and 75% in many local units. However, LIWs burned significantly smaller areas than HCFs. The most populated regions primarily experienced HCFs, while in several other regions, including less-populated or forest-rich ones, lightning was a major source of wildfires. Seasonal trends also emerged, showing an increased prevalence of LIWs, with a peak during the fire season and a relatively higher percentage during seasonal transitions. Despite the increasing human activity, LIWs have remained a significant cause of wildfires in several regions in the country. Our results on the significant spatial variability in LIWs challenge the traditional belief that human activities are the primary ignition sources for wildfires across Türkiye and downplay lightning as an ignition source. Our findings suggest that a one-size-fits-all fire management strategy which has led to wildfire suppression policies for the past century is suboptimal for countries where lightning is a significant source of wildfires. Therefore, an ecologically sound and economically efficient wildfire management policy must account for regional variability in the causes of wildfires. Accordingly, we recommend a reassessment of blanket fire suppression strategy in several countries such as Türkiye, advocating for more selective suppression practices that consider the role of naturally occurring wildfires.

Keywords: Wildfire, lightning-induced fires, lightning, anthropogenic fires, Türkiye, forest fire management.

TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimin başından itibaren her sorumu büyük bir özenle ve hiç esirgemediği güler yüzüyle cevaplayan, yüksek lisans sürecinde her daim yanımda hissettiğim, bilim nasıl yapılır, iyi ve ahlaklı bir bilim insanı nasıl olunuru hep hatırlatan sevgili danışman hocam Çağatay Tavşanoğlu'na,

Tanıdığım andan itibaren bilimsel birikimi, kuşkucu duruşu ve çalışmalarıyla hayranlık duyduğum; istatistik, modelleme ve R konularında bana çok şey öğreten; yüksek lisans sürecinde her daim yanımda hissettiğim, ilk R hocam, canım arkadaşım ve ikinci danışmanım İsmail Bekar'a,

Tez sürecindeki katkılarından ötürü değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Salih Bülent Alten ve Prof. Dr. Ali Kavgacı'ya,

Bölümdeki ilk yılımda özel çalışma öğrencisi olarak çalışmaya başladığım, hayata farklı bakmayı ve sabretmeyi (hâlâ öğrenemedim :) öğreten canım arkadaşım Gökhan Ergan'a,

2011 yılında havadelisi.com'la tanıştığım ilk günden bu yana bilimsel bakışımı, merakımı ve politik duruşumu kazanmamda çok emeği bulunan, her daim yanımda hissettiğim değerli arkadaşım, abim, üstadım, hocam Ozan Mert Göktürk'e,

Her zaman fikrine başvurabildiğim, farklı yaklaşımıyla sık sık ters köşe eden canım dostum Nartjan Özden'e,

Bu çalışmanın ilk aşamalarında yıldırım verilerinin ön işlemlerini yapan Anıl Bahar'a,

Beni hayata getiren, derdimi, nazımı çeken ve hep destekçim olan anne ve babama,

Hep öğretmeye çalışan; farklılığı, merakı ve doğa sevgisini aşıl原因an büyükbabama,

Her zaman elimden tutan halam Ayyüce'ye,

Biricik kardeşim Almula'ya,

Her anımda yanımda olup, varlığıyla her şeyi kolaylaştıran, bir tanem, canım yoldaşım Narişim'e,

Ve son olarak da hayatı yaşanır kılanlara; kar tanesine, yıldırıma, yağmur kokusuna, gevene, meşeye, ardıca, keklığe ve *Cumulonimbus*'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. YÖNTEM.....	4
2.1. Çalışma Alanı.....	4
2.2. Veri.....	4
2.3. Analiz.....	11
3. BULGULAR.....	14
4. TARTIŞMA.....	38
4.1. Türkiye’de Yıldırım Kaynaklı Yangınların Mekânsal Değişkenliği ve Yangın Yönetim Politikaları İçin Öneriler.....	38
4.2. Türkiye’deki Orman Yangınlarını Etkileyen Faktörlerin Yangın Çıkış Sebeplerine Göre Değerlendirilmesi.....	42
5. SONUÇ.....	45
6. KAYNAKLAR.....	46
EKLER.....	54
EK 1 - Tezden Türetilmiş Yayınlar.....	56
EK 2 - Tezden Türetilmiş Bildiriler.....	57
EK 3 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.....	7
Şekil 2.....	15
Şekil 3.....	18
Şekil 4.....	19
Şekil 5.....	21
Şekil 6.....	22
Şekil 7.....	23
Şekil 8.....	27
Şekil 9.....	29
Şekil 10.....	31
Şekil 11.....	32
Şekil 12.....	33
Şekil 13.....	34
Şekil 14.....	35
Şekil 15.....	36
Şekil 16.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1.....	5
Tablo 2.....	9
Tablo 3.....	16
Tablo 4.....	20
Tablo 5.....	25
Tablo 6.....	28
Ek Tablo 1.....	54

1. GİRİŞ

Orman yangınları, dünya genelinde ekosistemlerde önemli bir müdahale etmeni olarak farklı örüntüler ve önem dereceleriyle yer almaktadır (Bond ve ark., 2005; Pausas, 2022). Yangınların çıkış nedenleri ekosistemler arasında önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Doğal nedenler arasındaki yıldırım, dünya genelinde orman yangınlarının birincil tutuşma kaynağıdır (Larjavaara ve ark., 2005a; Müller ve ark., 2013; Veraverbeke ve ark., 2017; Janssen ve ark., 2023). Özellikle, tayga ormanları gibi ekosistemler, ağırlıklı olarak yıldırım kaynaklı yangınlar yaşarken, Akdeniz tipi ekosistemlerde insan kaynaklı yangınlar daha yaygındır (Stocks ve ark., 2002; Veraverbeke ve ark., 2017; Hanes ve ark., 2019). Boreal bölgelerde meydana gelen yıldırım kaynaklı yangınlar, ulaşım zorlukları ve yangın söndürmenin gereksiz olabileceği uzak bölgelerde bulunmaları nedeniyle, genellikle insan kaynaklı yangınlardan daha geniş alanların yanmasına neden olmuştur (Stocks ve ark., 2002). Yıldırım kaynaklı yangınlar insan kaynaklı yangınlara kıyasla daha sınırlı bir mevsimsel zaman diliminde meydana gelir (Ganteaume ve ark., 2013). Bu tür faktörler, yıldırım kaynaklı yangınların çeşitli ekosistemlerde çok farklı örüntüler sergilemesine neden olur (Larjavaara ve ark., 2005b; Attiwill ve Adams, 2013; Müller ve ark., 2013; Abatzoglou ve ark., 2016; Keeley ve Syphard, 2018; Hanes ve ark., 2019; Coogan ve ark., 2022). Yıldırım kaynaklı yangınlar, Avrupa'daki yangınların %90'ının görüldüğü Akdeniz Avrupa'sında (Seidl ve ark., 2011), yaklaşık %5 ile boreal ekosistemlerdeki %50 oranına kıyasla çok daha düşük bir orandadır (Ganteaume ve ark., 2013; Hanes ve ark., 2019). Yıldırım kaynaklı yangınların örüntüleri ve etkilerindeki değişkenlik, tarihsel ve insan kaynaklı yangın rejimleri, meteorolojik koşullar ve insan faaliyetleri gibi altta yatan faktörlerin ve dinamiklerin karmaşıklığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yıldırım kaynaklı yangınların dinamiklerini anlamak için kapsamlı araştırmalar yapılması gereklidir.

İklim değişikliğinin, farklı modelleme yaklaşımlarından kaynaklanan belirsizliklere rağmen, dünya genelinde çeşitli bölgelerde yıldırım arttıracak meteorolojik koşulları arttıracığı öngörülmektedir (Romps ve ark., 2014; Finney ve ark., 2018; Romps, 2019). Yıldırım aktivitesindeki bu artışın, yıldırım kaynaklı yangınları da arttırması

beklenmektedir (Pérez-Invernón ve ark., 2023). Ayrıca iklim değışikliği, dünyanın birçok bölgesinde, insan ve yıldırım kaynaklı yangınların sıklığını ve büyüklüğünü arttırmaktadır (Cattau ve ark., 2020). Sonuç olarak, řu anda yıldırım yangınlarından az etkilenen ekosistemler, gelecekte bu yangınlara daha fazla maruz kalabilecektir. Yangınların çoğunluğunun insan kaynaklı olduğu Akdeniz Havzası'nda, yıldırım kaynaklı yangınları göz ardı etmek başlangıçta makul görünebilir. Ancak, bölgesel değışkenlikleri göz ardı edip sadece genel tabloya odaklanmak, yanlış sonuçlara ve etkisiz hatta zararlı yangın yönetim planlarına yol açabilir (Fernandes ve ark., 2021), bu da biyoçeşitliliği tehdit edip, önemli ekolojik ve ekonomik sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, yalnızca, yıldırım yangınlarının řu anda yüksek olduğu bölgelerde değil, aynı zamanda henüz sık görülmediği ancak gelecekte sıklığının artabileceği bölgelerde de yıldırım kaynaklı yangınların örüntüleri ve dinamiklerini derinlemesine anlamak büyük önem taşımaktadır.

Yıldırım yangınlarının küresel ölçekte göz ardı edilmesi, orman yangınlarına dair algımızı derinden etkileyebilir ve kamuoyunun yangınları yalnızca insan kaynaklı nedenlerle ilişkilendirmesine yol açabilir (Fernandes ve ark., 2021). Bu yanlış algı, yangın yönetim politikalarını ve yangın sonrası restorasyon çabalarını da yanlış yönlendirebilir. Örneğin, 20. yüzyıl boyunca yangınların bastırılması, günümüzde pek çok bölgede yıkıcı büyük yangınların ve yangın rejimi değışikliklerinin sebeplerinden biridir (Moreira ve ark., 2020; Kreider ve ark., 2024). Ayrıca yangın sonrası, ekosistemlerin doğal iyileşme süreçleriyle uyumlu olmayan gereksiz ağaçlandırma ya da yapay restorasyon uygulamaları, yangınların doğal bir süreçten ziyade felaket olarak görülmesi anlayışından kaynaklanmış olabilir (Pausas ve ark., 2008; Tavşanoğlu ve Pausas, 2022). Türkiye, bu sorunun klasik bir örneğini teşkil etmektedir. Türkiye'de yıldırımın yangın kaynağı olarak önemi hem medya hem de bilim camiası tarafından genellikle hafife alınmaktadır (örn., Gültekin ve Gültekin, 2024). Bu bakış açısı, ülke genelinde yıldırım kaynaklı yangınların toplam sayısının insan kaynaklı yangınlara göre daha düşük olması gerçeğine dayanmaktadır. Önceki çalışmalar, Türkiye'deki orman yangınlarının nedenlerini tartışmış olsa da (örn., Küçükosmanoğlu, 1993; Avcı ve Korkmaz, 2020; Kavgacı ve Başaran, 2023), yıldırım kaynaklı yangınların mekânsal değışkenliğini ayrıntılı olarak incelememiştir. Sadece bir bölgesel çalışma, Güneybatı Anadolu'da orman yangınlarının %29'unun yıldırımdan kaynaklandığını belgelemiştir (Sarı, 2023). Yıldırım kaynaklı yangınlar, en son yayımlanan çalışmalara

göre, 2001 ile 2020 yılları arasında Türkiye'deki yangınların %11,8'ini (Avcı ve Korkmaz, 2020) ve 2004 ile 2022 yılları arasında ise %12,6'sını oluşturmaktadır (Kavgacı ve Başaran, 2023). Yıldırımın orman yangınlarındaki rolünü hafife alan bu yaygın tutum, Türkiye'nin coğrafi büyüklüğünü; iklimsel, topografik ve ekolojik çeşitliliğini (Şekercioğlu ve ark., 2011) göz ardı etmekte ve yangın yönetim stratejilerini sadece insan kaynaklı nedenlere odaklanmaya yönlendirmektedir. Bu nedenle, Türkiye'de yıldırım kaynaklı yangınların potansiyel coğrafi değişkenliğini göz önünde bulunduran derinlemesine bir araştırmaya ihtiyaç vardır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, Türkiye genelinde yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal değişkenliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Türkiye'nin iklim, topoğrafya ve bitki örtüsü çeşitliliğini göz önünde bulundurarak, yıldırım kaynaklı yangınların ülkenin farklı bölgelerinde büyük ölçüde mekânsal değişkenlik göstereceği öne sürülmüştür. Bu hipotezi test etmek için ulusal veri tabanlarından yangın ve yıldırım olaylarına ilişkin veriler kullanılmış ve Türkiye'deki yıldırım kaynaklı yangınların dağılımını açıklamak amacıyla keşifsel mekânsal analizler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise Türkiye'de yangınların oluşumunu etkileyen faktörler istatistiksel modelleme yöntemi kullanılarak ortaya konulmuştur. Bu yapılırken yangınların ortaya çıkış sebebi de dikkate alınmış ve yangın çıkış sebebine göre yangınları etkileyen faktörlerin detaylı analizi yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin, 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasındaki -yaklaşık 780.000 km² ile- tüm kara alanını kapsamaktadır. Ülke, deniz seviyesinden başlayarak 3.000 metreyi aşan ve en yüksek noktası 5.137 metre olan zirvelere kadar uzanan büyük bir topografik çeşitlilik sergilemektedir. Türkiye'nin Avrupa, Asya ve Afrika'nın kesişim noktasında, ılıman kuşakta yer alması, iklim ve bitki örtüsünde büyük bir çeşitliliğe yol açmaktadır (Şekercioğlu ve ark., 2011). İklim, batı ve güney kıyılarında ılıman; yağışlı kışlar ve sıcak, kuru yazlarla karakterize edilen Akdeniz ikliminden, iç bölgelerde daha kurak karasal iklime ve kuzey kıyılarında nemli okyanus iklimine kadar önemli bir değişkenlik göstermektedir (Erinç, 1969). Bu iklimsel çeşitlilik, bozkırlar, çalılıklar ve çeşitli orman ekosistemleri gibi geniş bir bitki örtüsü yelpazesine yol açmaktadır (Şekercioğlu ve ark., 2011). Türkiye'nin Akdeniz kuşağında yer alması ve ülkenin büyük bir bölümünde sıcak, kuru Akdeniz ikliminin hâkim olması nedeniyle, orman yangınları, Türkiye'nin ekosistemlerinde binlerce yıldır önemli bir rol oynamıştır (Turner ve ark., 2008; Bekar ve Tavşanoğlu, 2017; Şahan ve ark., 2022).

2.2. Veri

Çalışmada, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal değişkenliğini belirlemek için üç veri seti kullanılmıştır: orman yangını vakaları, yıldırım vakaları ve Türkiye'nin orman idari sınırları. Orman yangını verileri, 2002-2022 dönemini kapsayan ve Orman Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere dayanmaktadır. Veri seti, yangınların konumu (2013 öncesi: orman işletme birimleri; 2013 sonrası: orman işletme birimleri ve XY koordinatları), nedeni, başlangıç tarihi gibi bilgileri içermektedir. Detaylı bir şekilde verilen yangın nedenleri üç gruba ayrılmıştır: insan kaynaklı, yıldırım kaynaklı ve nedeni bilinmeyen yangınlar. İhmal, enerji hatları, kundaklama vb. nedenler, insan kaynaklı yangınlar olarak gruplandırılmıştır. Veri setinde toplam 47.264 kayıt bulunmakta olup, Türkiye genelinde yıllık ortalama 2.251 orman yangını meydana gelmiştir.

Yıldırım vakalarına ait veriler, 2016-2022 dönemini kapsayan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere dayanmaktadır. Veri seti, 41 istasyondan elde edilen

toplam 12.056.013 gözlemi (buluttan yere düşen yıldırım sayısı) içermektedir ve Türkiye genelinde yıllık ortalama 1.722.288 yıldırım (medyan 1.456.957, aralık ise 1.279.120 ile 2.922.705 arasında) kaydedilmiştir.

Tablo 1. Orman yönetim birimi büyüklüklerinin (hektar) dağılımı: minimum, medyan, ortalama ve maksimum değerler.

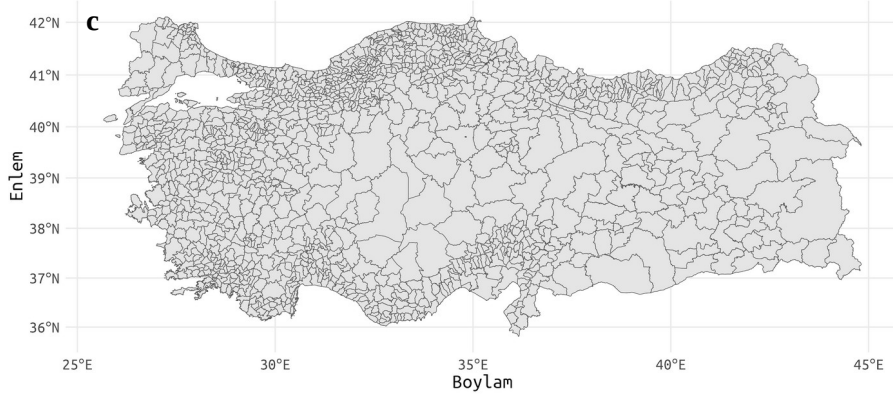
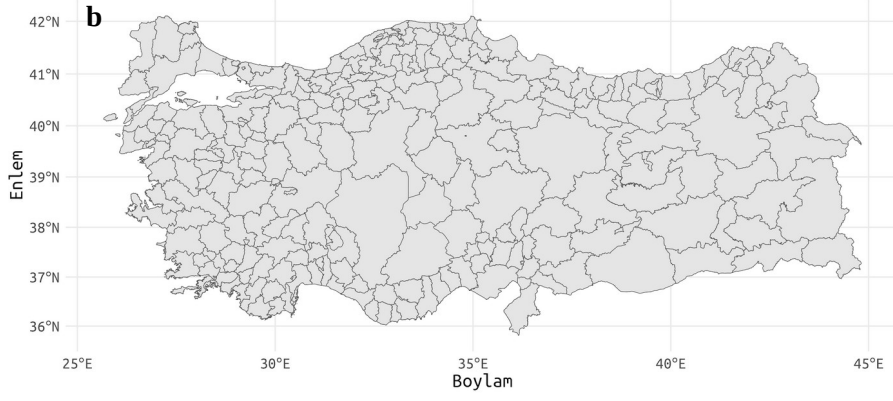
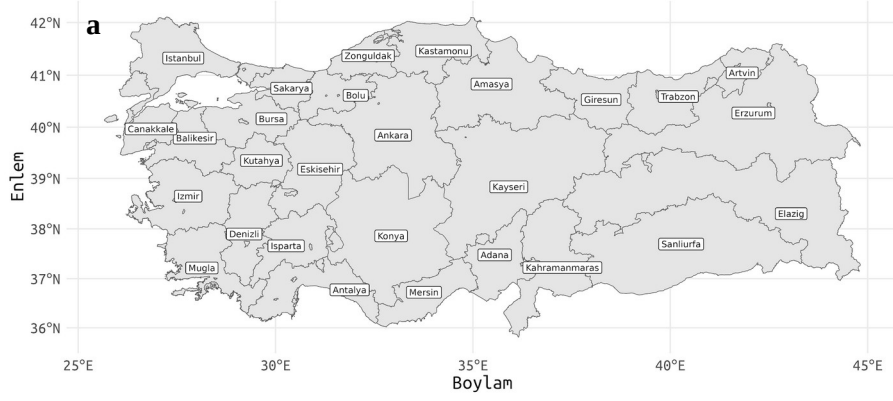
Orman Yönetim Birimleri	Minimum	Medyan	Ortalama	Maksimum
Orman Bölge Müdürlüğü	6906.9	18458.8	27624.8	82445.2
Orman İşletme Müdürlüğü	164.4	1712.2	3144.3	29632.4
Orman İşletme Şefliği	0.02	234.9	554.9	18908.5

Üçüncü veri seti, orman idari sınırlarına ait verilerden oluşmaktadır. Türkiye’de orman yönetim yapısı üç hiyerarşik düzeyden oluşmaktadır: orman bölge müdürlükleri, orman işletme müdürlükleri ve orman işletme şeflikleri. Her düzey, bir üst düzeye bağlı olarak çalışmakta olup, en büyük yetkili birim orman bölge müdürlükleri, en küçük yetkili birim ise orman işletme şeflikleridir (Tablo 1; Şekil 1). Veri setinde toplam 47 orman bölge müdürlüğü, 278 orman işletme müdürlüğü ve 1.435 orman işletme şefliği bulunmaktadır. Analizler, orman bölge müdürlüğü ve orman işletme şefliği düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, doğal ve antropojen değişkenlerin yangınlar üzerindeki etkisini, yangın çıkış sebebinin de dikkate alınarak belirlemek amacıyla toplam 21 adet değişken kullanılmıştır. Modelde kullanılan yangın verileri, 2013-2022 yılları arasını kapsayan 10 yıllık bir varlık verisidir. Toplamda 18.152 yangın kaydı barındıran bu veri seti, yangın çıkış noktalarının XY koordinatlarından oluşmaktadır. Yangın verileri Orman Genel Müdürlüğü’nden alınmıştır.

Modelde kullanılan varlık verileri, öncelikle Türkiye sınırlarıyla kesiştirilmiş ve Türkiye sınırları dışında kalan hatalı koordinatlara sahip veriler elenmiştir. Bu eleme işleminin ardından, yangın verileri CORINE arazi örtüsü verisindeki doğal arazi örtüsü sınıflarına göre filtrelenmiş ve sadece istenen arazi örtülerindeki yangınlar ile çalışmaya devam edilmiştir. Bu sınıflar; yaprak döken ormanlar, iğne yapraklı ormanlar, karışık ormanlar, sert yapraklı bitki örtüsü, çalı-orman geçişi, yanan alanlar, doğal çayırlar ve seyrek bitki

örtülü alanları içermektedir. Bu filtrelemenin sebebi bahsedilen vejetasyon sınıfları dışındaki sınıflara düşen yangınların model sonuçlarında istenmeyen sapmalara yol açmasıdır (Bekar ve Tavşanoğlu, 2017).



Şekil 1. Orman bölge müdürlükleri (a), orman işletme müdürlükleri (b) ve orman işletme şefliklerinin (c) idari sınırları.

Modelde, farklı çevresel faktörlerin etkisini değerlendirmek amacıyla biyoiklim değişkenleri ve aylık en düşük buhar basıncı açığı gibi 13 iklim ve rakım olmak üzere 1 topografya değişkeni dahil toplamda 14 doğal değişken ile gece ışıkları ve yol yoğunluğu gibi 6 antropojen değişken kullanılmıştır. (Tablo 2). Bu değişkenler, CHELSA iklim verilerinin orijinal çözünürlüğü olan 0.008333333 derece (~1 km) ile WGS 84 (EPSG:4326) koordinat sistemine göre yeniden örneklenmiştir.

Tablo 2. Tez çalışmasında kullanılan verilerin listesi. Toplamda 20 değişkenin 14’ü doğal, 6’sı antropojen faktörleri temsil etmektedir.

Değişken Tipi	Değişken	Birim	Açıklama	Orijinal Çözünürlük	Kaynak
Bağımlı Değişken					
	Yangın verisi	-	Orman Genel Müdürlüğü (OGM) 2013-2022	-	-
Bağımsız Değişkenler					
Antropojen	Mera hayvancılığı birimi	hayvancılık birimi / km ²	TÜİK - 2022	İlçe	-
	Kırsal-Kent geçiş zonu	-		0.003593261°	Chen et al., 2024
	Yol yoğunluğu (büyük yolların yoğunluğu)	1/mi	Open Street Map (OSM)	-	OpenStreetMap contributors, 2017
	Gece ışıkları	Işıma nW cm ⁻² sr ⁻¹	VIIRS Nighttime Lights	500 m	Elvidge ve ark., 2021
	Yollara uzaklık (ana yola uzaklık, tali yola uzaklık)	m	Open Street Map (OSM)	-	OpenStreetMap contributors, 2017
İklim	Yıldırım yoğunluğu (bahar, yaz ve güz yıldırımları)	km ⁻²	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2016-2022	-	-
	<i>BIO2 - Günlük ortalama</i>	°C	CHELSA	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022

	<i>sıcaklık aralığı</i>		BIOCLIM+		
	<i>BIO4 - Sıcaklık Mevsimselliği</i>	°C/100	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>BIO8 - En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı</i>	°C	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>BIO9 - En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı</i>	°C	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>BIO13 - En yağışlı ayın yağışı</i>	kg m ⁻²	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>BIO18 - En sıcak çeyreğin yağışı</i>	kg m ⁻²	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>İklim nem indeksinin yıllık aralığı</i>	kg m ⁻² month ⁻¹	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>Net birincil üretim</i>	g C m ⁻² yr ⁻¹	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>Aylık en düşük buhar basıncı açığı</i>	Pa	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
	<i>Buhar basıncı açığının yıllık aralığı</i>	Pa	CHELSA BIOCLIM+	0.0083333333°	Brun ve ark., 2022
Topografya	Rakım	m	COP-DEM	90 m	European Space Agency ve Airbus, 2022

2.3. Analiz

İnsan kaynaklı, yıldırım kaynaklı ve nedeni bilinmeyen orman yangınlarının bölgesel ve yerel orman yönetim birimlerindeki mekânsal dağılımı incelenmiştir. Analizler, ağırlıklı olarak keşifsel nitelikte olmakla birlikte, Moran's *I* ve regresyon analizleri ile birlikte kapsamlı bir hâle getirilmiştir.

Türkiye sınırları içinde 1 × 1 km'lik hücreler oluşturularak, yıldırımların mekânsal dağılımı belirlenmiştir. Ardından, her bir hücreye düşen yıldırım sayıları toplanarak 2016-2022 dönemi için hücre başına düşen ortalama yıldırım sayısı hesaplanmıştır. Yıldırım kaynaklı yangınların yerel düzeydeki değişkenliğinin araştırılması amacıyla, her bir yangın gözleminin merkezi, ilgili orman işletme şefliği sınırlarıyla kesiştirilerek, her işletme şefliği için yıldırım kaynaklı yangın oranları hesaplanmıştır. Yangın verileri, Türkiye'deki insan kaynaklı, yıldırım kaynaklı ve nedeni bilinmeyen yangınların dağılımının belirlenmesi amacıyla yangının nedeni ve gerçekleştiği aya göre özetlenmiştir. Bu yaklaşım, yıl boyunca farklı orman yangını nedenlerinin yaygınlığına ilişkin zamansal bir perspektif sunmuştur.

Yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal dağılımına ilişkin genel bir bakış sağlamak amacıyla, global mekânsal otokorelasyonu test etmek için Moran's *I* istatistiği kullanılmıştır. Moran's *I*, değer aralığı -1 ile 1 arasında değişen ve mekânsal otokorelasyonu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, coğrafi olarak birbirine yakın gözlemler arasındaki korelasyonu ölçer (Moran, 1948, 1950). Sıfırdan büyük değerler pozitif mekânsal otokorelasyonu, sıfırdan küçük değerler ise negatif mekânsal otokorelasyonu gösterir (Moraga, 2023). Orman işletme şefliklerindeki yıldırım kaynaklı yangın oranlarına dayanarak Moran's *I* istatistiği (2002-2022 verileriyle) hesaplanmıştır. Ayrıca, Türkiye genelinde istatistiksel olarak anlamlı yıldırım kaynaklı yangın kümelerini belirlemek ve değerlendirmek amacıyla Yerel Moran's *I* (LISA - *Local Indicator of Spatial Association*) yöntemi kullanılmıştır (Anselin, 1995). Yerel Moran's *I*, orman işletme şefliklerindeki yıldırım kaynaklı yangın oranlarına dayanılarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, yerel mekânsal otokorelasyonun tespit edilmesine ve özellikle yüksek veya düşük yıldırım kaynaklı yangın yoğunluğuna sahip alanların değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

Ayrıca, Türkiye genelinde ve farklı yangın nedeni örüntülerine sahip olan bölgeleri temsil eden bazı orman bölge müdürlüklerinde, yıldırımların ve yıldırım kaynaklı orman yangınlarının meydana gelme ilişkilerini incelemek amacıyla lojistik ve doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yıldırım kaynaklı yangın verileri işletme şeflikleri için aşırı sayıda sıfır içerdiğinden, bu sorunu ele almak için iki aşamalı bir modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. İlk aşamada lojistik regresyon analizi için yıldırım kaynaklı yangınların varlık-yokluk verileri, ikinci aşamada ise doğrusal regresyon analizi için sıfır değerleri çıkarıldıktan sonra kilometrekare başına düşen yıldırım kaynaklı yangın verileri kullanılmıştır (Soyumert ve ark., 2019).

Orman yangınlarının çıkış sebebine göre doğal ve antropojen faktörlerle ilişkisini değerlendirmek için Maxent modeli kullanılmıştır. Maxent, ekolojik niş modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır (Phillips ve ark., 2004; Phillips ve ark., 2006) ve yangın ekolojisi alanındaki kullanımı giderek artmaktadır (Parisien ve Moritz, 2009; Chen ve Jin, 2022). Yangın verileri, varlık verisi olarak kullanılmıştır. Arka plan verisi için, varlık verileri ile aynı hücrede olmayacak şekilde, 75.000 rastgele nokta atanmıştır. Arka plan nokta sayısını belirlemek için model, 10.000, 25.000, 50.000, 75.000, 100.000, 125.000, 150.000 ve 175.000 arka plan noktaları kullanılarak çalıştırılmış ve sıkça kullanılan bir değerlendirme ölçütü olan AUC değeri ve arka plan noktalarının özet istatistikleri incelenerek en iyi arka plan nokta sayısı seçilmiştir. Buna göre farklı arka plan noktaları arasındaki AUC değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Arka plan noktalarının özet istatistiklerine göre, 10.000 ve 25.000 arka plan noktası modelin arka planını yeterince temsil edememiş; 50.000'den 75.000'e kadar olan noktalar için temsil oranında bir artış görülmüş, ancak 75.000'den sonra önemli bir değişim olmamıştır. Bu nedenle, modelde 75.000 arka plan nokta sayısının kullanılması kararlaştırılmıştır. Modelde kullanılan bağımsız değişkenler %70 Pearson korelasyon değeri dikkate alınarak seçilmiştir. Modeldeki hiçbir değişken bir diğeriyle belirtilen değerden daha fazla korelasyon göstermemektedir. Model, çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak, eğitim ve test verilerinin %80-20 oranında rastgele seçildiği 10 tekrarla çalıştırılmıştır. Arka plan verileri her tekrarda rastgele olacak şekilde yeniden seçilmiştir. Bu tekrarlı çalışmaların ardından, model değerlendirme metrikleri de dahil olmak üzere sonuçların ortalaması alınmıştır. Modelin performansını değerlendirmek için AUC değeri

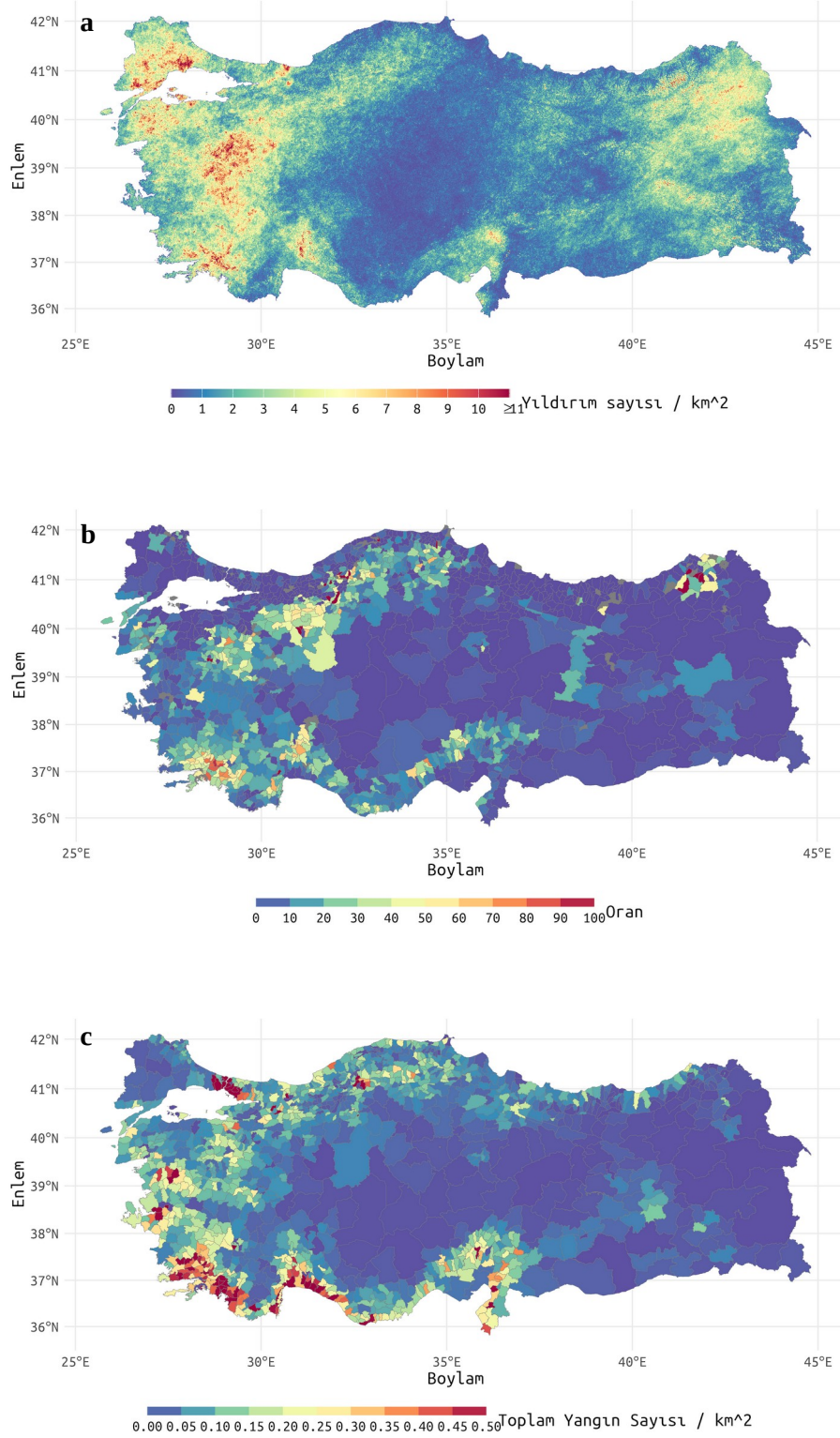
kullanılmıştır. Değişkenlerin modeli ne ölçüde ve nasıl etkilediğini değerlendirmek için modele sağladıkları görelî katkıları ve yanıt eğrileri kullanılmıştır.

Çalışmanın bu kısmı için üç farklı model kullanılmıştır. Antropojen model olarak adlandırılan modelde sadece sebebi bilinen insan kaynaklı yangınlar kullanılmıştır. Yıldırım modelinde sadece yıldırım kaynaklı yangınlar kullanılırken, genel modelde tüm yangınlar kullanılmıştır. Bu ayrımın sebebi farklı yangın tiplerinin farklı karakteristiklere sahip olmasıdır.

Çalışmadaki tüm veri işleme, analiz ve görselleştirme işlemleri için R programlama dili (sürüm 4.3.3) kullanılmıştır (R Core Team, 2024). Bu amaçlar için tidyverse (2.0.0), data.table (1.14.10), sf (1.0.14), geos (0.2.4), stars (0.6.4), terra (1.7.55), qgisprocess (0.3.0), osmextract (0.5.0), dismo (1.3-14), ENMTools (1.1.2), rstac (0.9.2) ve spdep (1.3.1) gibi çeşitli paketlerden yararlanılmıştır (Pebesma, 2018; Wickham ve ark., 2019; Simoes ve ark., 2021; Warren ve ark., 2021; Barrett ve ark., 2023; Dunnington ve Pebesma, 2023; Gilardi ve ark., 2023; Hijmans, 2023; Hijmans ve ark., 2023; Pebesma ve Bivand, 2023; Dunnington ve ark., 2024).

3. BULGULAR

Türkiye'deki son 20 yılın orman yangını verilerinin analizleri, yangın sıklığı ve büyüklüğünde önemli bölgesel ve mevsimsel farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'de, 2002-2022 yılları arasında 47.264 orman yangını meydana gelmiş ve bu yangınlar toplamda 311.270 hektar alanın yanmasına neden olmuştur. Yangınların çoğu, Muğla, İzmir ve Antalya gibi Akdeniz iklimi görülen orman bölge müdürlüklerinde meydana gelmiştir. Buna karşılık en az yangın, yaz yağışlarının ve yaz bağıl neminin daha yüksek olduğu kuzey ve kuzeydoğu bölgelerde gözlemlenmiştir (Şekil 2c). Orman yangınlarının ortalama büyüklüğü 6,6 hektarken, medyan büyüklüğü oldukça küçük olup, 0,2 hektardır. Bu yangınların %79,9'u 1 hektardan daha küçük, %99,4'ü ise 100 hektardan daha küçüktür. Yangınların sadece %0,6'sı bu büyüklüğün üzerine çıkarak daha büyük yangınları oluşturmuştur (Ek Tablo 1). Aynı dönemde meydana gelen yıldırım kaynaklı yangınların sayısı 5.820 olup, bu yangınlar insan kaynaklı yangınlara kıyasla çok daha küçük alanların yanmasına neden olmuştur. Yıldırım kaynaklı yangınların ortalama büyüklüğü 0,8 hektar, medyan büyüklüğü ise 0,1 hektardır (Tablo 3; Ek Tablo 1). Yıldırım kaynaklı yangınların büyük çoğunluğu (%93,4) 1 hektardan daha küçükken ve %99,4'ü 10 hektardan daha küçük bir alanı yakmıştır (Tablo 3; Ek Tablo 1).



Şekil 2. Türkiye'deki (a) yıldırımların, (b) yıldırım kaynaklı orman yangınlarının ve (c) toplam yangın sayısının mekânsal değişkenliği. Renkler, her bir 1×1 km hücre için yıllık ortalama yıldırımların sayısı ile orantılıdır (a), yıldırım kaynaklı orman yangınlarının

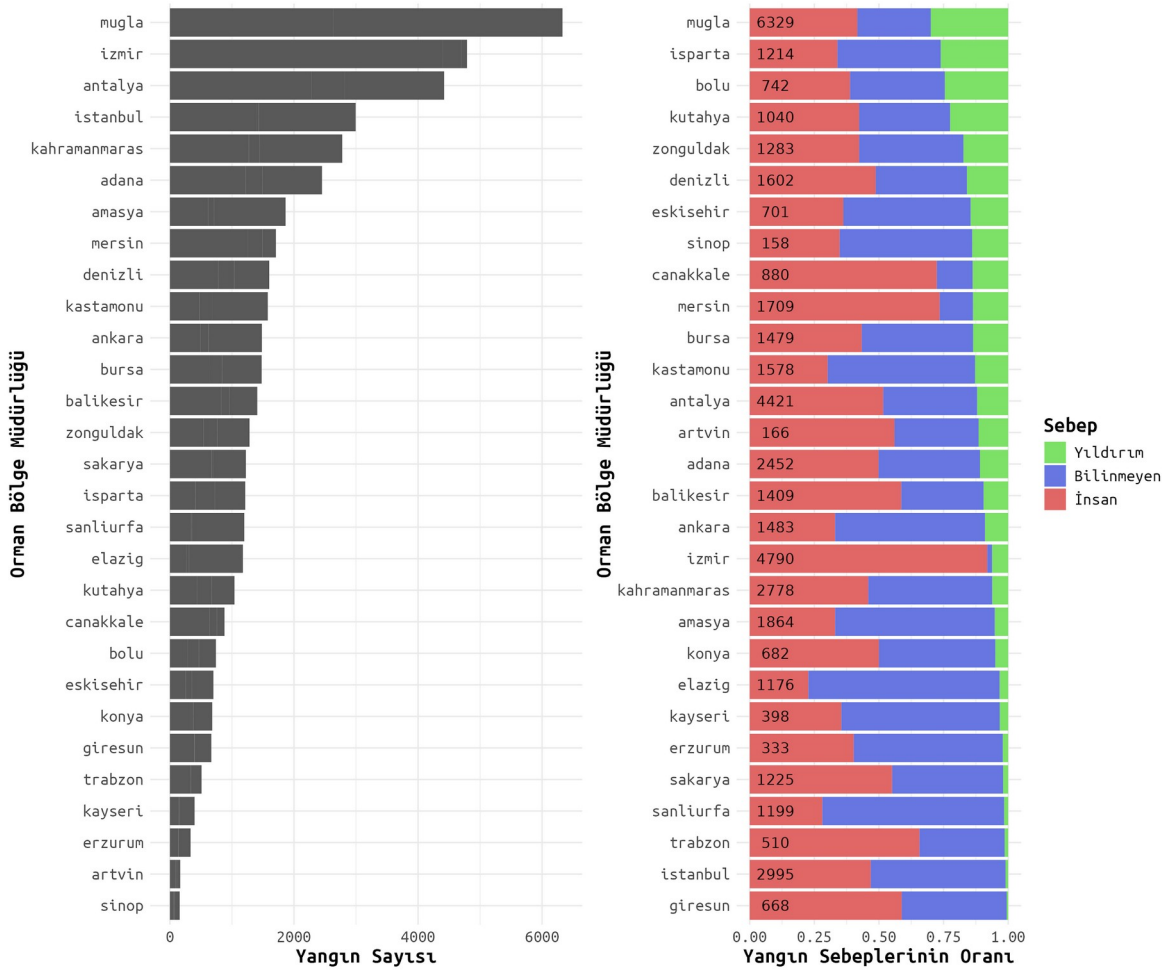
oranını temsil etmektedir (b) ve her bir orman yönetim biriminde kilometrekare başına düşen toplam yangın sayısını göstermektedir (c).

Tablo 3. Üç seçili orman bölge müdürlüğü ve tüm Türkiye’de (satırlar) çeşitli yangın büyüklüğü sınıflarına (sütunlar) göre yangın sayısı ve yanan alan oranı. Tablonun genişletilmiş versiyonu Ek Tablo 1’de sunulmuştur.

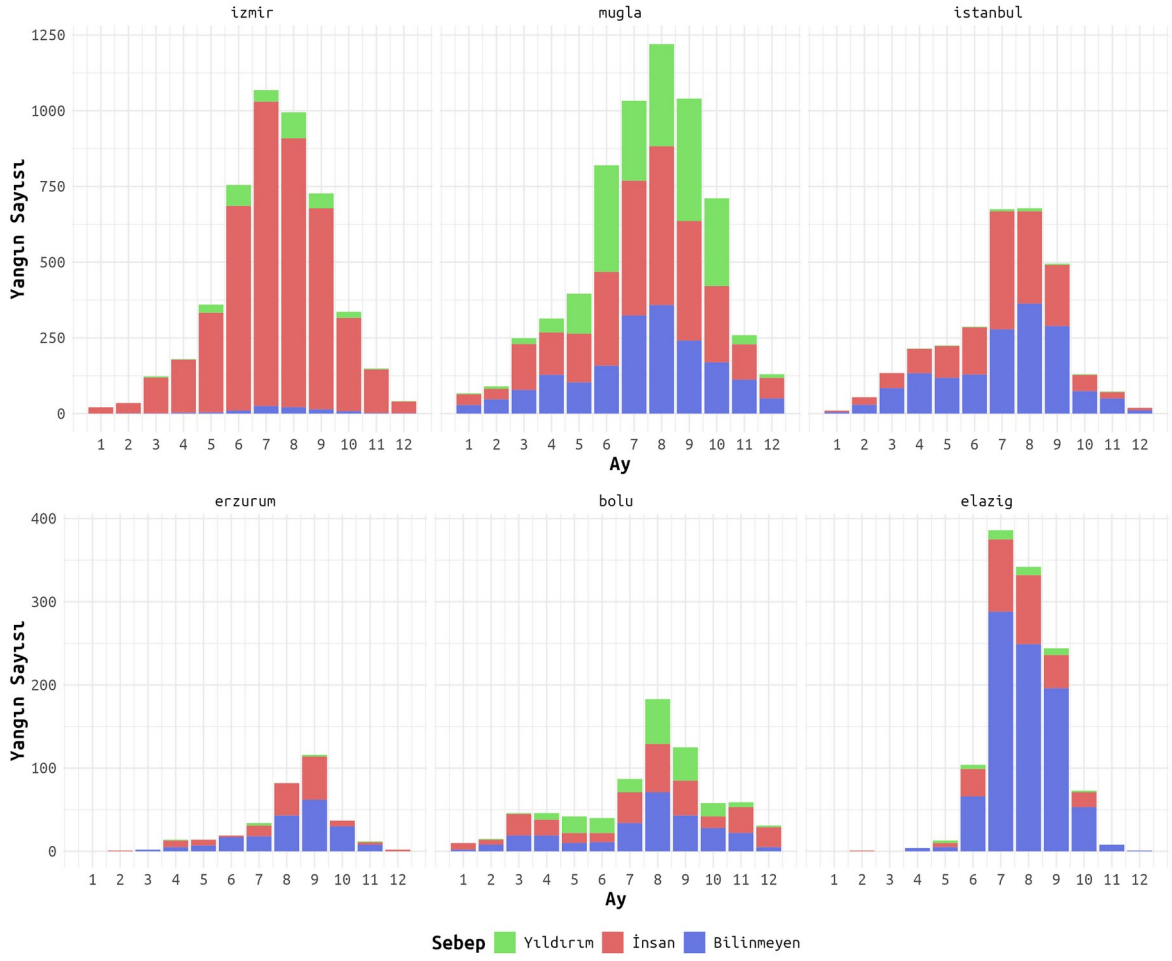
		Yangın büyüklüğü (ha)						
Bölge	Yangın Kaynağı		0-10 ⁰	10 ⁰ -10 ¹	10 ¹ -10 ²	10 ² -10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵
Türkiye	İnsan	sıklık (%)	39.17	8.96	1.57	0.28	0.04	0.01
		alan (%)	1.62	4.44	6.95	13.41	25.55	16.05
	Yıldırım	sıklık (%)	11.50	0.74	0.07	0.01	-	-
		alan (%)	0.26	0.35	0.30	0.61	-	-
Muğla	İnsan	sıklık (%)	35.85	4.41	1.11	0.22	0.05	0.02
		alan (%)	0.78	1.28	2.84	5.32	17.49	17.85
	Yıldırım	sıklık (%)	29.12	0.76	0.06	0.03	-	-
		alan (%)	0.33	0.2	0.19	0.33	-	-
Bolu	İnsan	sıklık (%)	27.63	9.7	1.35	0.13	-	-
		alan (%)	3.88	9.84	20.33	13.7	-	-
	Yıldırım	sıklık (%)	21.16	2.96	0.4	-	-	-
		alan (%)	1.63	3.61	3.27	-	-	-
İzmir	İnsan	sıklık (%)	74.91	13.78	2.55	0.58	0.06	-
		alan (%)	3.62	8.41	15.65	42.74	28.08	-
	Yıldırım	sıklık (%)	5.7	0.52	0.02	-	-	-
		alan (%)	0.12	0.28	0.06	-	-	-

Türkiye’deki orman yangınlarının nedenlerinin incelenmesi insan faaliyetleri ve yıldırımların orman yangınlarına yaptığı katkıları ve bölgesel farklılıkları gözler önüne sermektedir. 2002-2022 yılları arasında Türkiye’deki orman yangınlarının %50’si insan kaynaklı, %12’si yıldırım kaynaklı ve %38’inin nedeni bilinmeyen olarak kaydedilmiştir. Sadece nedeni bilinen yangınlar değerlendirildiğinde, insan kaynaklı yangınların oranı %80, yıldırım kaynaklı yangınların oranı ise %20 olmaktadır. Toplam orman yangını sayısı ve yangınların çıkış nedenlerinin görece oranları; bölge müdürlükleri ve işletme şeflikleri arasında değişkenlik göstermiştir (Şekil 1b, Şekil 3, Şekil 4, Tablo 4). Yangın nedenleri, 2002-2022 yılları arasında benzer kaldığı için bu örüntüler yıllar arasında tutarlıdır (Şekil 5), ancak Muğla Orman Bölge Müdürlüğü’nde, zaman içinde nedeni bilinmeyen yangınların kademeli olarak arttığı görülmektedir. Benzer bir eğilim (yıllar içinde yıldırım

kaynaklı yangınların düşük değişkenliği ve zamanla bilinmeyen yangınların artışı) lke genelinde de mevcuttur (Şekil 6). Genel olarak, orman işletme birimlerinde yangın nedenlerinin görelİ oranlarında üç temel örüntü gözlemlenmiştir: (1) yangınların çoğunun insan kaynaklı olduğu birimler, (2) yıldırım kaynaklı yangınların insan kaynaklı yangınlara göre görece daha yüksek ya da benzer bir orana sahip olduğu birimler, ve (3) nedeni bilinmeyen yangınların yüksek bir orana sahip olduğu birimler (Şekil 4). Özellikle İzmir, İstanbul ve Kahramanmaraş gibi bazı orman bölge müdürlüklerinde toplam orman yangını sayısı yüksek ancak yıldırım kaynaklı yangın oranı düşük bulunmuştur (Şekil 3, Tablo 4). Buna karşılık, Muğla, Isparta ve Denizli gibi orman bölge müdürlüklerinde toplam orman yangını sayısı yüksek olmasının yanında, yıldırım kaynaklı yangınların oranı da önemli ölçüde yüksektir (Şekil 3, Tablo 4). Öte yandan, Bolu, Eskişehir ve Kütahya orman bölge müdürlüklerinde, yıldırım kaynaklı yangın oranları yüksekken, toplam orman yangını sayısı daha düşüktür (Şekil 3, Tablo 4). Regresyon analizleri, orman bölge müdürlüğü düzeyinde yıldırım kaynaklı yangınlar ve yıldırımlar arasındaki bu farklılıkları doğrulamaktadır. Örneğin, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde, km² başına düşen yıldırım sayısı ile km² başına düşen yıldırım kaynaklı yangın sayısı arasında anlamlı bir pozitif ilişki bulunmuştur ($R^2 = 0.38$, $P < 0.0001$; Şekil 7). Ancak, İzmir ve Bolu orman bölge müdürlüklerinde anlamlı bir ilişki yoktur (sırasıyla $R^2 = 0.01$ ve $R^2 = 0.02$, her ikisi de $P > 0.05$; Şekil 7). Öte yandan, varlık-yokluk verilerine dayanan lojistik regresyon analizine göre, Muğla ve İzmir orman bölge müdürlüklerinde yıldırım kaynaklı yangınların meydana gelme olasılığı, km² başına düşen yıldırım sayısı ile açıklanamamıştır (açıklanan sapma sırasıyla %1.5 ve %0.03, her ikisi de $P > 0.05$) ancak benzer bir analiz, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü için anlamlı bir pozitif ilişki olduğunu göstermiştir (açıklanan sapma = %14.0, $P = 0.0007$; Şekil 7). Orman Bölge Müdürlükleri arasındaki bu farklılıklar, Türkiye genelinde km² başına düşen yıldırım sayısı ile km² başına düşen yıldırım kaynaklı yangın sayısı arasında zayıf bir pozitif ilişki ortaya çıkarmaktadır (lojistik regresyon için açıklanan sapma = %4.2 ve doğrusal regresyon için $R^2 = 0.11$, her ikisi de $P < 0.0001$; Şekil 7). Bu da yıldırım kaynaklı yangınlar ile yıldırım olayları arasındaki ilişkilerin ölçeğe bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.



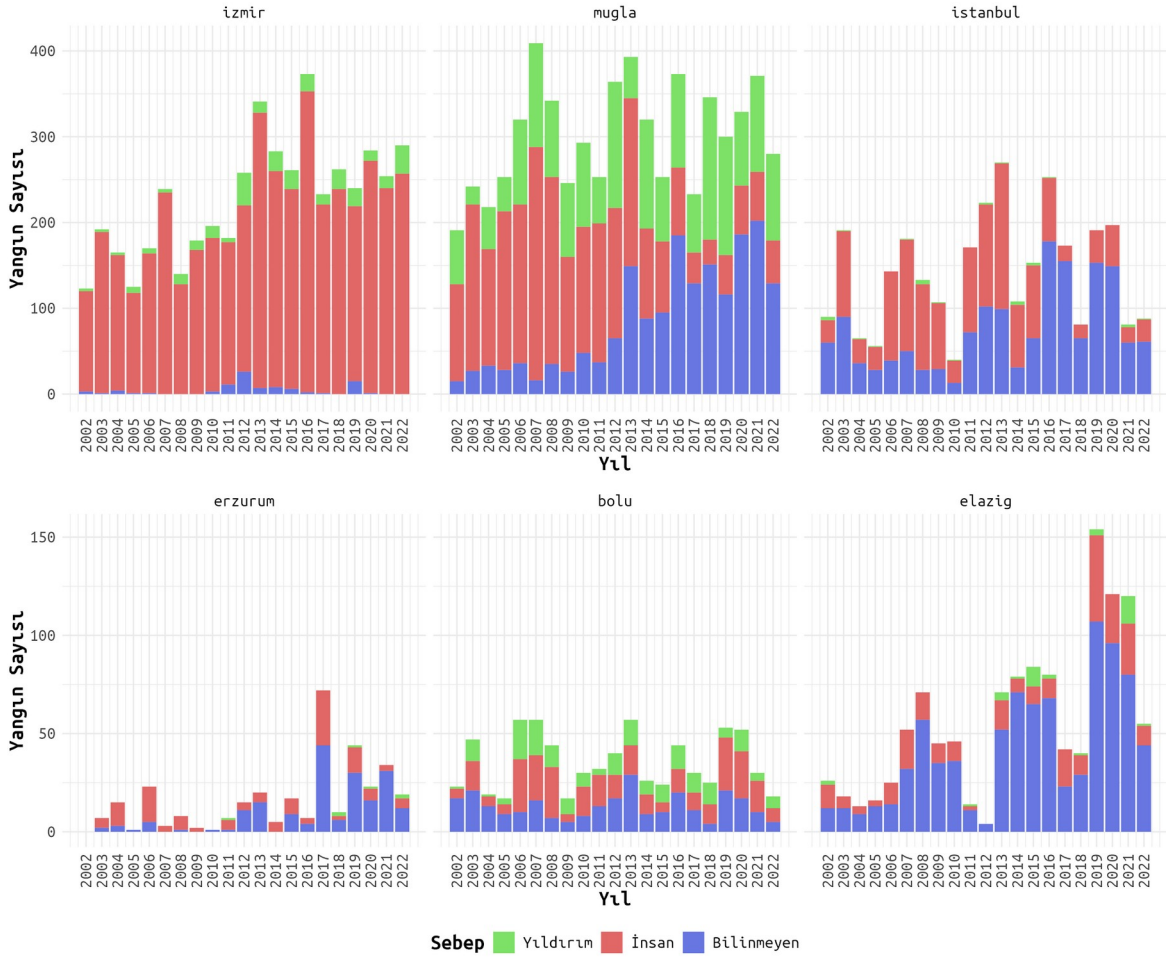
Şekil 3. Türkiye'deki orman bölge müdürlüklerinde kaydedilen toplam yangın sayısı (sol panel) ve insan kaynaklı, yıldırım kaynaklı ve nedeni bilinmeyen yangınların göreceli oranı (sağ panel). Çubukların içindeki sayılar, her bir bölge müdürlüğünde kaydedilen toplam yangın sayısını göstermektedir. Bu grafiğin ham verileri Tablo 4'de sunulmuştur.



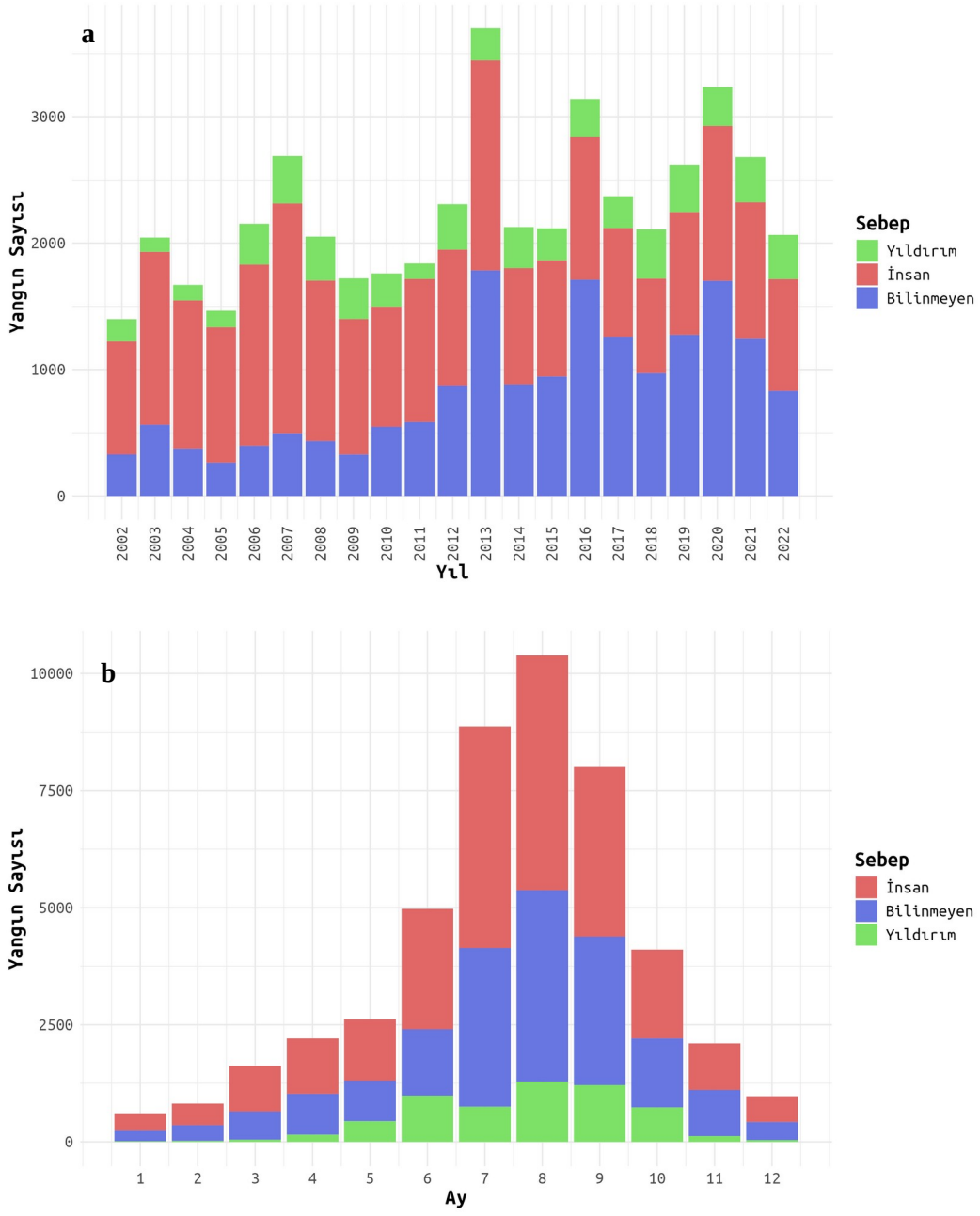
Şekil 4. Orman bölge müdürlüklerinde yıldırım kaynaklı, insan kaynaklı ve nedeni bilinmeyen yangınların görece oranlarındaki üç temel eğilim/örüntü için temsil edici örnekler. Üst panelde, daha büyük sayıda yangın görülen orman bölge müdürlükleri, alt panelde ise daha az sayıda yangın görülen bölge müdürlükleri yer almaktadır. Sol paneller: yangınların çoğunluğunun insan kaynaklı olduğu bölge müdürlükleri, orta paneller: yangınların en az dörtte birinin yıldırım kaynaklı olduğu bölge müdürlükleri ve sağ paneller: nedeni bilinmeyen yangınların önemli bir orana sahip olduğu bölge müdürlükleri.

Tablo 4. Farklı nedenlere sahip orman yangınlarının orman bölge müdürlüklerine göre sayısı ve oranı.

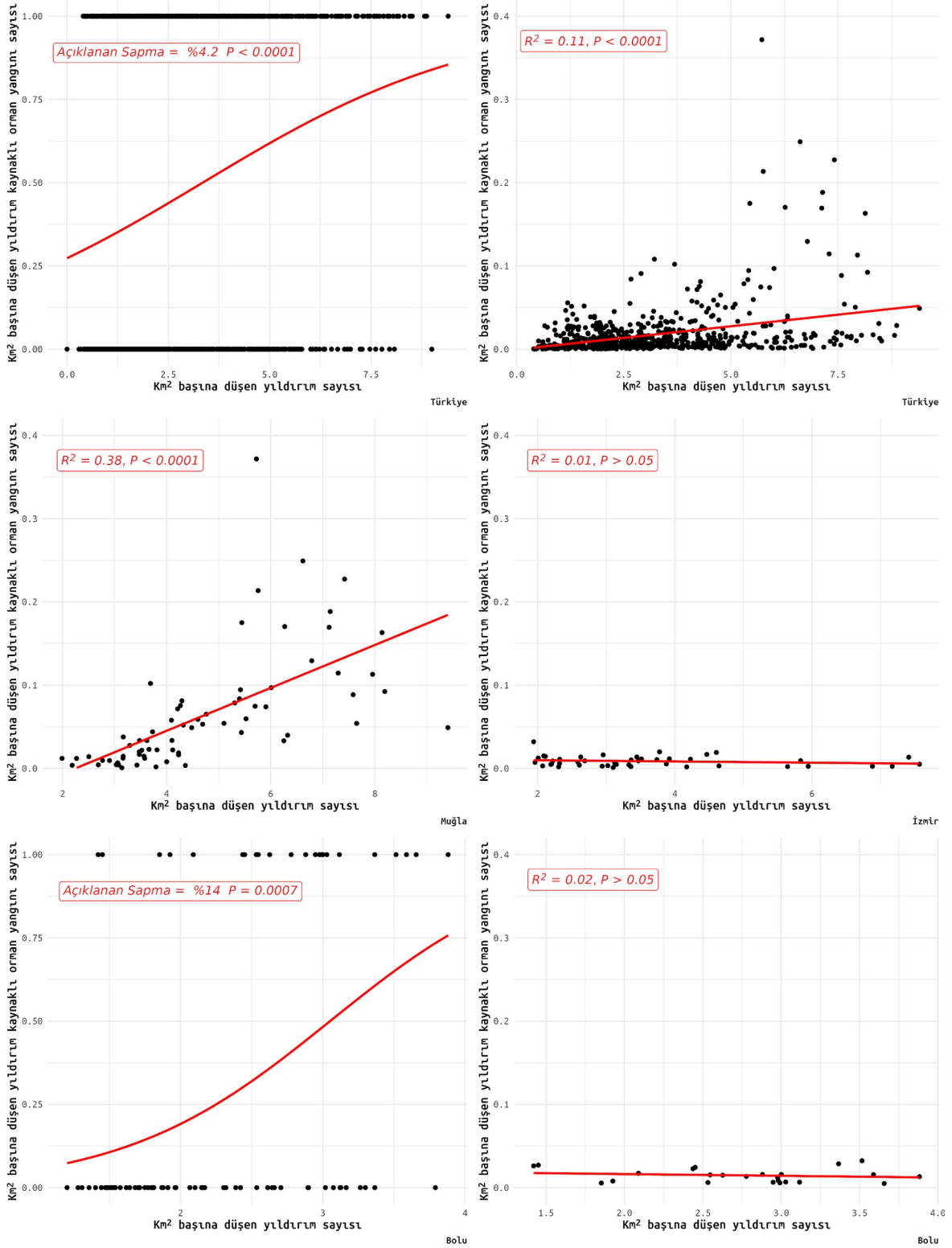
Orman Bölge Müdürlüğü	Yangın Sayısı				Yangın Oranı		
	Toplam	İnsan	Yıldırım	Bilinmeyen	İnsan (%)	Yıldırım (%)	Bilinmeyen (%)
Adana	2452	1222	268	962	49.8	10.9	39.2
Amasya	1864	616	97	1151	33.0	5.2	61.7
Ankara	1483	490	133	860	33.0	9.0	58.0
Antalya	4421	2284	532	1605	51.7	12.0	36.3
Artvin	166	93	19	54	56.0	11.4	32.5
Balıkesir	1409	826	134	449	58.6	9.5	31.9
Bolu	742	288	182	272	38.8	24.5	36.7
Bursa	1479	641	201	637	43.3	13.6	43.1
Çanakkale	880	637	121	122	72.4	13.8	13.9
Denizli	1602	781	256	565	48.8	16.0	35.3
Elazığ	1176	267	39	870	22.7	3.3	74.0
Erzurum	333	134	7	192	40.2	2.1	57.7
Eskişehir	701	254	102	345	36.2	14.6	49.2
Giresun	668	393	4	271	58.8	0.6	40.6
Isparta	1214	412	317	485	33.9	26.1	40.0
İstanbul	2995	1402	30	1563	46.8	1.0	52.2
İzmir	4790	4401	299	90	91.9	6.2	1.9
Kahramanmaraş	2778	1274	172	1332	45.9	6.2	47.9
Kastamonu	1578	476	202	900	30.2	12.8	57.0
Kayseri	398	141	13	244	35.4	3.3	61.3
Konya	682	341	34	307	50.0	5.0	45.0
Kütahya	1040	440	234	366	42.3	22.5	35.2
Mersin	1709	1256	233	220	73.5	13.6	12.9
Muğla	6329	2636	1897	1796	41.6	30.0	28.4
Sakarya	1225	675	24	526	55.1	2.0	42.9
Şanlıurfa	1199	337	19	843	28.1	1.6	70.3
Sinop	158	55	22	81	34.8	13.9	51.3
Trabzon	510	335	7	168	65.7	1.4	32.9
Zonguldak	1283	543	222	518	42.3	17.3	40.4



Şekil 5. 2002 ile 2022 yılları arasında, Şekil 4'te sunulan orman bölge müdürlükleri için yangın nedenlerinin yıllık dağılımları.



Şekil 6. Türkiye'de farklı nedenlere sahip orman yangınlarının (a) yıllık ve (b) aylık dağılımı.



Şekil 7. Türkiye ölçeğinde ve belirli orman bölge müdürlüklerinde km^2 başına düşen yıldırım sayısı ile km^2 başına düşen yıldırım kaynaklı orman yangını sayısı arasındaki ilişki.

Birçok orman yönetim biriminde, yıldırım kaynaklı orman yangınları dikkate değer oranlara ulaşmış, hatta bazı birimlerde ve yıllarda insan kaynaklı yangınların oranını aşmıştır. Türkiye'de en fazla yangının görüldüğü Muğla bölgesinde, yıldırım kaynaklı yangınlar tüm yangınların %30'unu oluşturmaktadır (Şekil 3, Tablo 4). Sadece nedeni bilinen yangınlara odaklanıldığında, Muğla bölgesindeki yıldırım kaynaklı orman yangınlarının oranı %42 iken, insan kaynaklı yangınlar %58 oranında kalmaktadır. Bazı yıllarda, yıldırım kaynaklı yangınların oranı bazı orman bölge müdürlüklerinde tüm yangınların %45'ini, birçok orman işletme şefliğinde ise %75'ini aşmaktadır. Örneğin, 2018 yılında, Muğla bölgesindeki tüm yangınların %48'i yıldırım nedeniyle çıkmışken, aynı yıl içinde 19'dan fazla işletme şefliğinde yıldırım kaynaklı yangınların oranı %70'in üzerine çıkmıştır (12 işletme şefliğinde %100'e ulaşmıştır). Orman işletme şefliği düzeyinde, yıldırım kaynaklı yangınların oranındaki değişkenlik daha belirgindir (Şekil 2b). Bu oran %0 ile %100 arasında değişmektedir. Özellikle toplam yangın sayısının 10 veya daha fazla olduğu işletme şeflikleri incelendiğinde, Güneybatı Anadolu'da yer alan 10 işletme şefliğinde yıldırım kaynaklı yangınlar, toplam yangınların %75'inden fazlasını oluşturmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Yıldırım kaynaklı yangınların en yüksek orana sahip olduğu ilk 10 orman işletme şefliği listesi. Bu şefliklerin ait olduğu orman bölge müdürlükleri, yıldırım kaynaklı, insan kaynaklı ve nedeni bilinmeyen yangınların oranları ile her bir işletme şefliğinde 2002 ile 2022 yılları arasında meydana gelen toplam orman yangını sayısı verilmiştir. Yalnızca alan sınırları içerisinde en az 10 yangın görülmüş olan şeflikler değerlendirmeye alınmıştır.

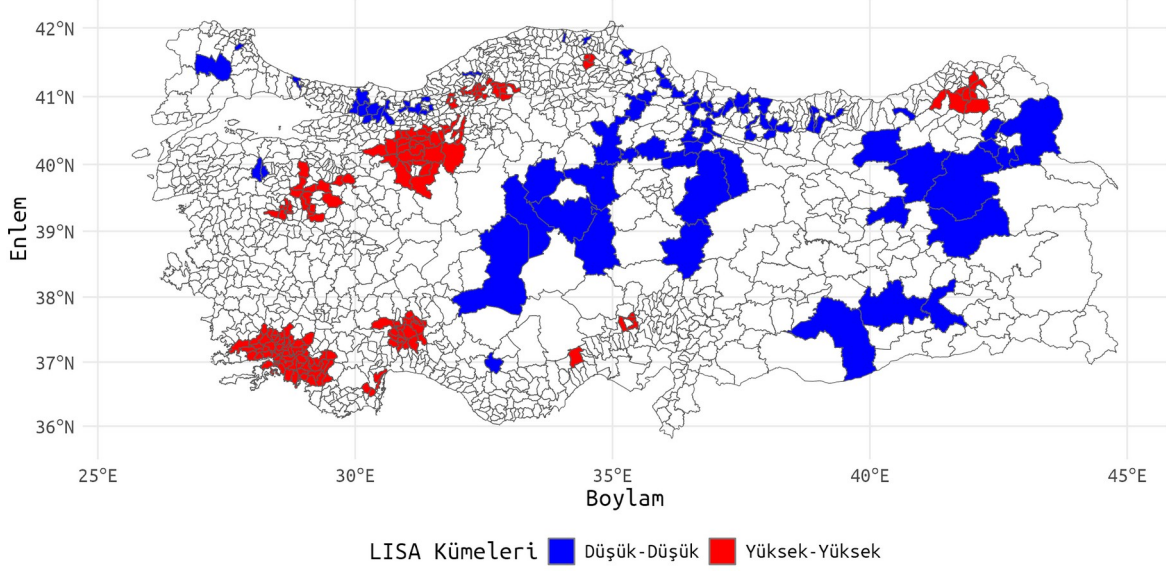
Orman İşletme Şefliği	Orman Bölge Müdürlüğü	Yangın Nedeni			Toplam Yangın Sayısı
		Yıldırım (%)	İnsan (%)	Bilinmeyen (%)	
Karacaören	Denizli	93	0	7	14
Çiçekli	Denizli	89	4	7	28
Ağla	Muğla	86	7	7	44
Cebel	Isparta	82	9	9	11
Sultaniye	Muğla	82	9	9	68
Çakmak	Muğla	81	10	10	42
Namnam	Muğla	81	13	6	52
Yılanlı	Muğla	81	6	13	31
Eskere	Denizli	76	12	12	17
Çaldere	Muğla	75	10	15	114

Yıldırım yangınlarının zamansal dağılımında bazı mevsimsel örüntüler de gözlemlenmiştir. Yıldırım kaynaklı orman yangınlarının özellikle yangın mevsiminde zirve yaptığı ve mevsim geçişlerinde (örneğin, ilkbahardan yaz ve yazdan sonbahara geçiş dönemlerinde; Şekil 6) nispeten daha yüksek oranlarda görüldüğü belirlenmiştir. Yıldırım kaynaklı yangınlar ile insan kaynaklı yangınlar arasındaki oranlar dikkate alındığında, en yüksek oranlar haziran, eylül ve ekim aylarında görülmüş; en çok yangının görüldüğü temmuz ve ağustos aylarında ise bu oranlar daha düşük kalmıştır. Yıldırım kaynaklı yangınlar, marttan aralığa kadar yıl boyunca dağılmış olmasına rağmen, aylara göre önemli ölçüde değişkenlik göstermiştir (Şekil 6).

Yıldırımların (Şekil 2a) ve yıldırım kaynaklı orman yangınlarının dağılımında (Şekil 2b) kayda değer bir mekânsal değişkenlik tespit edilmiştir. Batı ve Kuzey Anadolu'nun dağlık bölgelerinde -özellikle de Kuzeybatı ve Güneybatı Anadolu'da-, yıldırım yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda yıldırım kaynaklı yangınların da daha fazla meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 2b). Buna karşılık, İç Anadolu, Kuzey Anadolu'nun kıyı bölgeleri ve Güneydoğu Anadolu ovalarında hem yıldırım hem de yıldırım kaynaklı yangınların sayısı belirgin şekilde daha düşüktür (Şekil 2a,b). Trakya ve ülkenin kuzeydoğusunun bir bölümü, yüksek yıldırım yoğunluğuna rağmen, yıldırım kaynaklı yangın oranının düşük kaldığı bölgelerdendir (Şekil 2a,b). İstanbul, Ankara ve İzmir gibi Türkiye'nin en kalabalık üç şehrini içeren orman bölge müdürlüklerinde, yıldırım kaynaklı yangın oranlarının sırasıyla %1, %9 ve %6 olması, insan nüfus yoğunluğunun bazı orman bölge müdürlüklerinde baskın yangın nedenini şekillendirmiş olabileceğini düşündürmektedir. Türkiye'de yıldırım kaynaklı orman yangınlarının nedenlerini daha iyi anlamak için, bu yangınlar ile çeşitli iklimsel, coğrafi ve insan faaliyetlerine bağlı faktörler arasındaki ilişkileri inceleyen daha ayrıntılı analizlere ihtiyaç vardır.

Orman işletme şefliklerindeki yıldırım kaynaklı orman yangını oranlarında pozitif mekânsal otokorelasyon tespit edilmiştir. Bu da coğrafi bir kümelenmeye işaret etmektedir (Moran's $I = 0.45$; $P < 0.0001$). Yerel Moran's I analizi, kuzeybatı, batı, güneybatı, güney ve kuzeydoğu Türkiye'nin dağlık bölgelerinde yüksek orana sahip (yüksek-yüksek) kümeler, kuzey kıyı bölgeleri ile İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'nun iç kesimlerinde ise düşük orana sahip (düşük-düşük) kümeler olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 8). "Yüksek-yüksek" terimi, yüksek değerlere sahip olan ve çevresindeki komşuların

da yüksek değerlere sahip olduğu alanları ifade ederken, "düşük-düşük" terimi, düşük değerlere sahip olan ve çevresindeki komşuların da düşük değerlere sahip olduğu alanları ifade etmektedir.

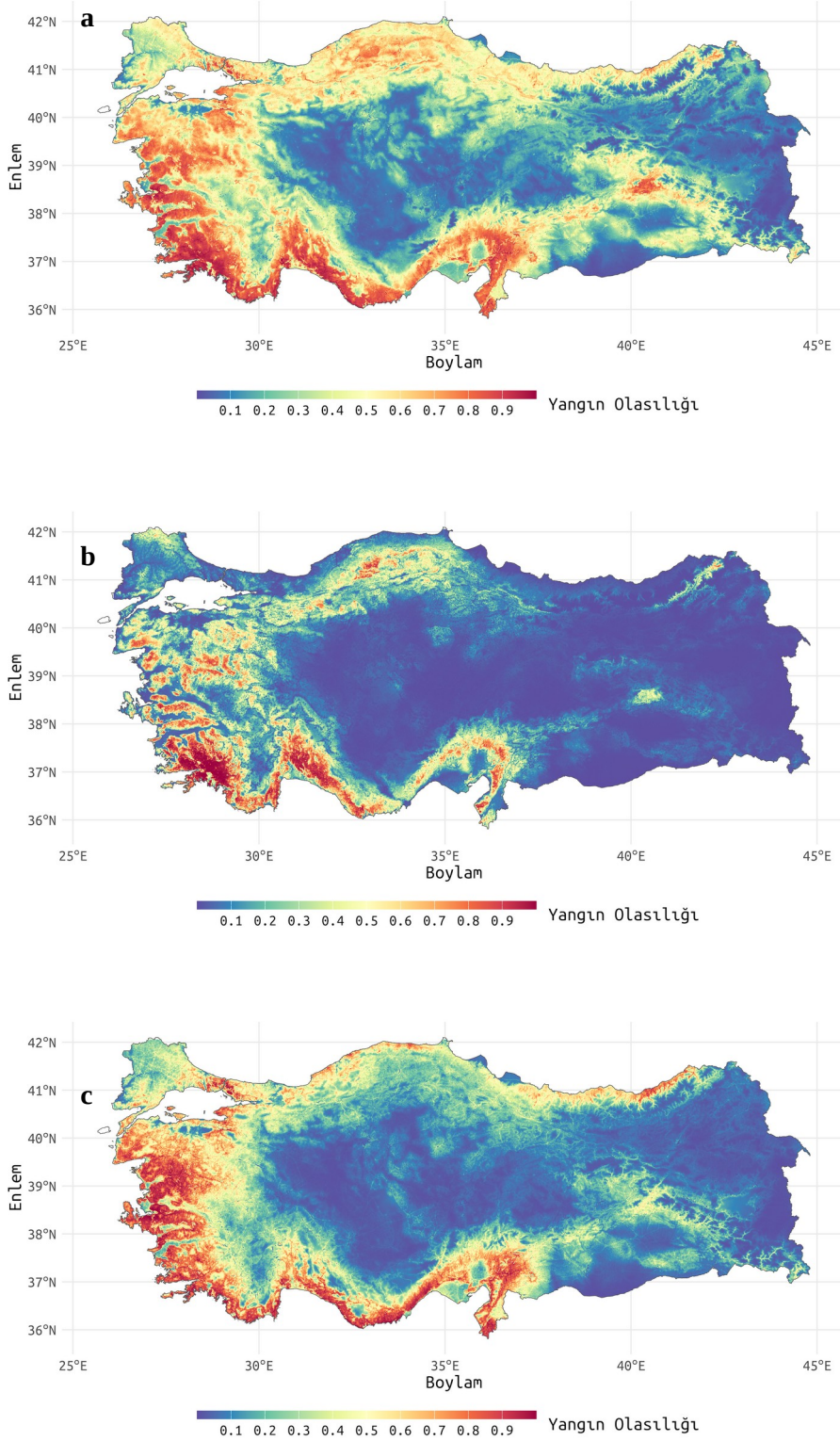


Şekil 8. Türkiye genelinde yıldırım kaynaklı orman yangınları için LISA kümelerinin dağılımı.

Türkiye'deki yangınların çıkış faktörlerine göre doğal ve antropojen faktörlerle ilişkisini değerlendirmek için çalıştırılan modeller, Türkiye'nin yangın rejimlerinin çeşitliliğini ve mekânsal değişkenliğini ortaya koymaktadır. Modellerin AUC performansları genel model için 0,82, antropojen model için 0,86 ve yıldırım modeli için 0,91'tir (Tablo 6). Bu değerler modelleri literatürde varsayılan değerlendirme kriterlerine göre başarılı bir model olarak sınıflandırmaktadır. Yangın olasılık haritalarına bakıldığında, Türkiye'de orman ve çalılık bitki örtüsünün olduğu yerlerde yoğunlaşan yangın olasılığının, yağışlı kışlar, sıcak ve kurak yazlarla tipik olan Akdeniz iklimi ve Akdeniz bitki örtüsü görülen batı ve güney kıyılara doğru gittikçe arttığı görülmektedir (Şekil 9a,b,c). Yangın olasılığı, yaz kuraklığının kuvvetli olduğu Güneydoğu Toroslarda ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu büyükşehirlerin etrafında da yüksektir (Şekil 9a,c). Yıldırım yangını olasılığının, insan kaynaklı ve tüm yangınlara göre daha dar bir alanda yüksek olduğu ve daha yüksek bir mekânsal değişkenliğe sahip olduğu söylenebilir (Şekil 9a,b,c). Yıldırım yangını olasılığı, Amanos, Toros, Teke ve Menteşe Yöresi, Kıyı Ege, İç Ege ve Batı Karadeniz dağları ağırlıklı olmak üzere, dağlık bölgelerde yüksektir (Şekil 9b). Yıldırım yangını olasılığının en yüksek olduğu bölgeler; Muğla, Denizli, Antalya ve Isparta çevreleridir (Şekil 9b). Yıldırım yangınlarının aksine insan kaynaklı yangınlar, Akdeniz ikliminin görüldüğü ve insan nüfusunun yoğunlaştığı güney ve batı kıyılar başta olmak üzere kıyı kesiminde yoğunlaşmaktadır (Şekil 9c). Doğu Karadeniz Kıyılarında insan kaynaklı yangın olasılığının yüksek olduğu görülürken, Çoruh Bölümü ve Batı Karadeniz Dağları'nda yıldırım kaynaklı yangın olasılığının yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca İstanbul, İzmir gibi yoğun nüfuslu büyükşehirlerin çevresinde insan kaynaklı yangın ihtimalinin yüksek olması dikkat çekicidir.

Tablo 6. Model değerlendirme metrikleri. AUC değerleri, modellerin yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir.

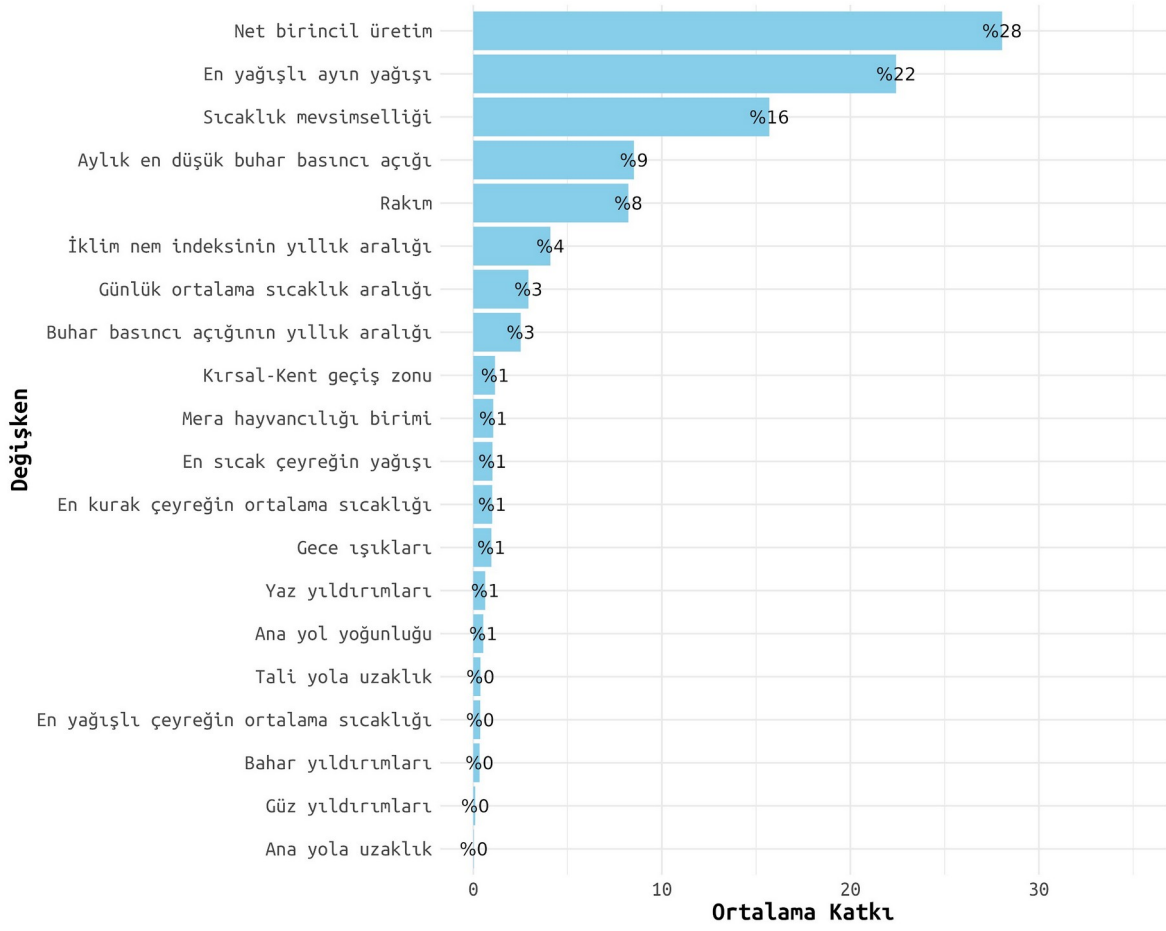
Model	Eğitim AUC	Test AUC
Genel	0,82	0,82
Yıldırım	0,91	0,91
Antropojen	0,85	0,86



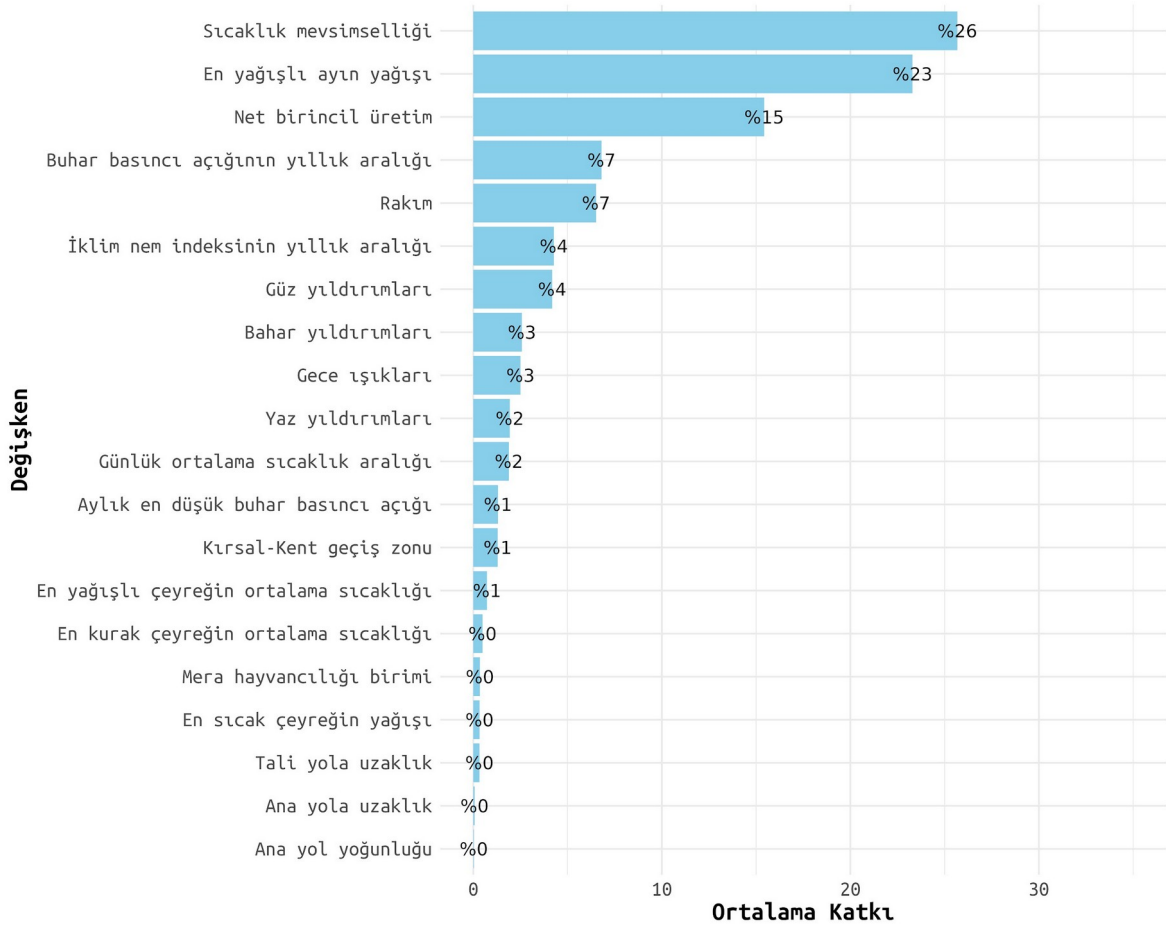
Şekil 9. Türkiye’de (a) tüm yangınlar, (b) yıldırım kaynaklı yangınlar ve (c) insan kaynaklı yangınlara ait uygunluk haritaları. Bu yangınların doğal ve antropojen faktörlerle ilişkisini değerlendirmek için çalıştırılan modellerin bir çıktısı olarak üretilmiştir.

Farklı yangın nedenlerinin doğal ve antropojen değişkenlerle ilişkisini değerlendirmek için modellerin görel katkı grafiklerine bakıldığında, her üç model için de doğal değişkenlerin katkılarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12). Tüm yangınların değerlendirildiği modelde net birincil üretim %28'le birinci, en yağışlı ayın yağışının %22 ile ikinci, sıcaklık mevsimselliği %16 ile üçüncü ve aylık en düşük buhar basıncı açığı %9 ile dördüncü sıradadır (Şekil 10). Yıldırım yangınlarının değerlendirildiği modelde sıcaklık mevsimselliği %26 ile birinci, en yağışlı ayın yağışı %23 ile ikinci, net birincil üretim %15 ile üçüncü, yıldırımlar toplamda %9 ile dördüncü ve buhar basıncı açığının yıllık aralığı %7 ile beşincidir (Şekil 11). İnsan yangınlarının değerlendirildiği modelde en yağışlı ayın yağışı %32 ile birinci, rakım %19 ile ikinci, sıcaklık mevsimselliği %18 ile üçüncü ve aylık en düşük buhar basıncı açığı %13 ile dördüncü sıradadır (Şekil 12).

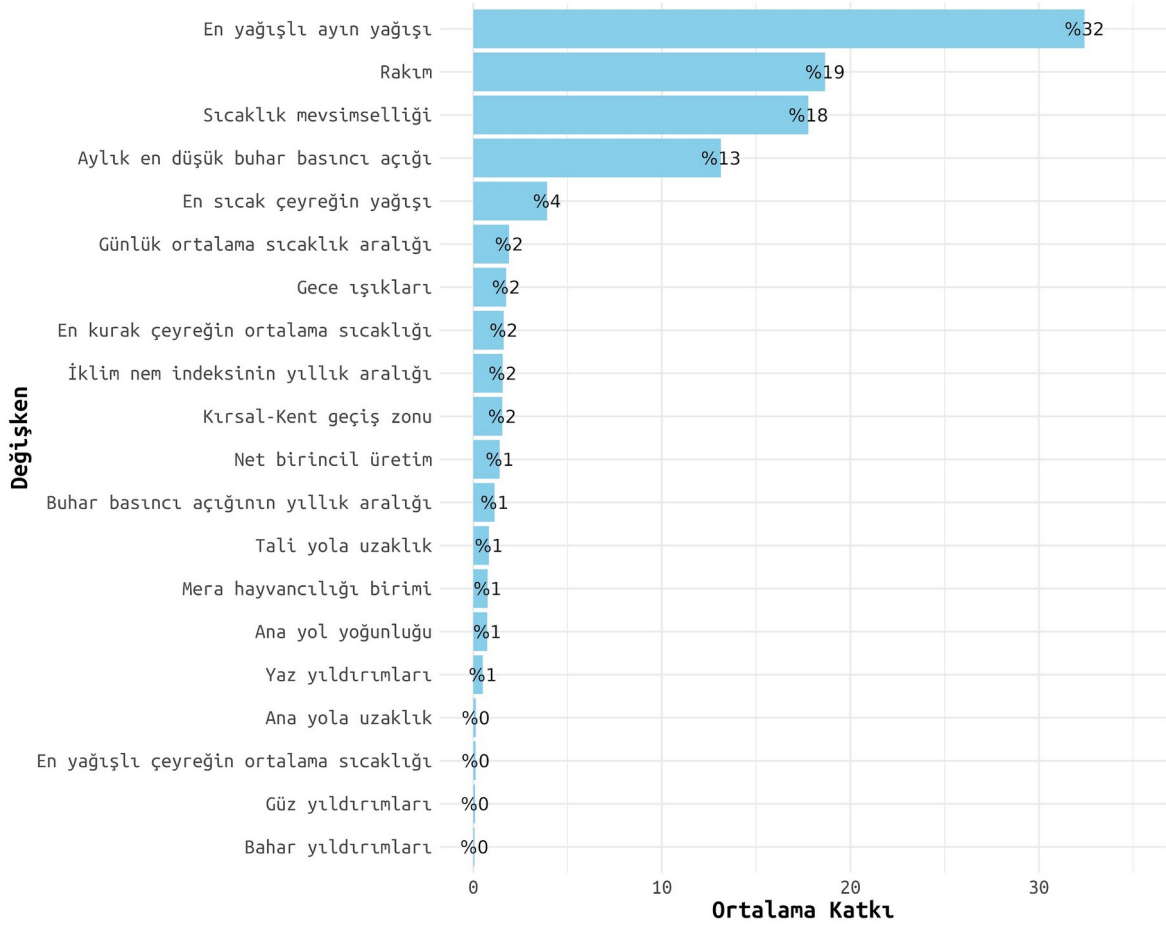
Modellerin yanıt eğrileri incelendiğinde, en yağışlı ayın yağış miktarının, antropojen ve genel modellerdeki yanıt eğrilerinde başlangıçta düşük uygunluk değerine sahip olduğu, ardından ani bir artış gösterdiği görülmektedir. İki model en yüksek değerlerde farklılaşmaktadır. Genel modelde en yüksek uygunluk değerine doğru belirgin bir artış görülürken, antropojen modeldeki eğride yağış miktarı 200 mm'yi aştıktan sonra bir düşüş meydana gelmektedir. Yıldırım modelinin yağış miktarına olan yanıt eğrisi ise, orta değerlerden başlayarak artmakta ve antropojen modele kıyasla nispeten düz bir eğilim sergilemektedir (Şekil 13). Sıcaklık mevsimselliği, tüm yangınlar ve insan kaynaklı yangınlar söz konusu olduğunda 400-700 değerleri arasında bir yükseliş gösterirken yıldırım yangınları, 700'e kadar yüksek olasılıklı gitmektedir. 700'den sonra tüm yangınlarda bir azalma görülmektedir (Şekil 14). Net birincil üretimin yanıt eğrilerine bakıldığında, yıldırım yangınlarında, sola çarpık dağılım gösteren bir kambur grafik görülmekteyken, insan yangınlarında doğrusal bir artış yanıtı görülmektedir (Şekil 15). Aylık en düşük buhar basıncı açığı değişkeni, antropojen modelde yumuşak doğrusal bir artış yanıtı göstermiştir. Yıldırım kaynaklı yangınlar için ise buhar basıncı açığının yıllık aralığı, kambur şeklinde bir yanıt eğrisine sahiptir (Şekil 16).



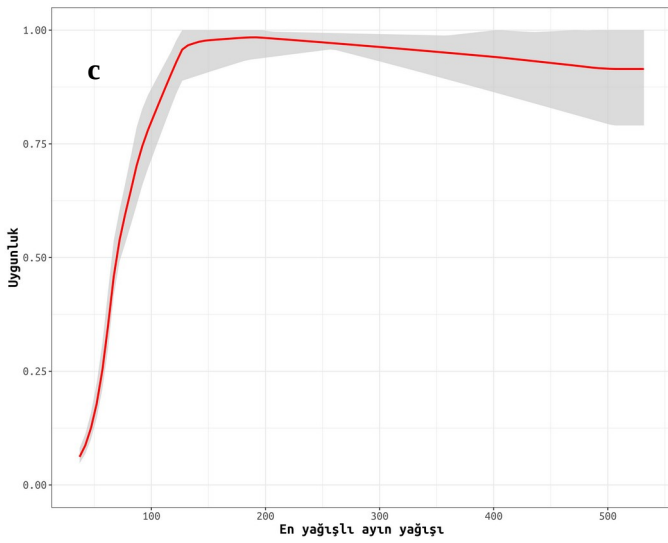
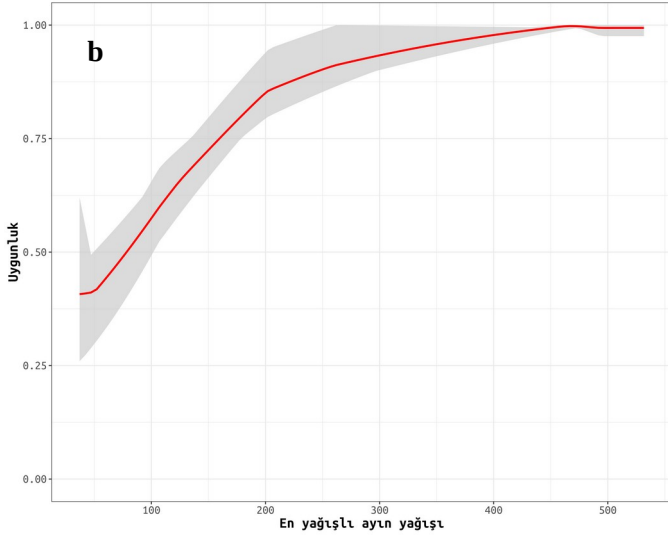
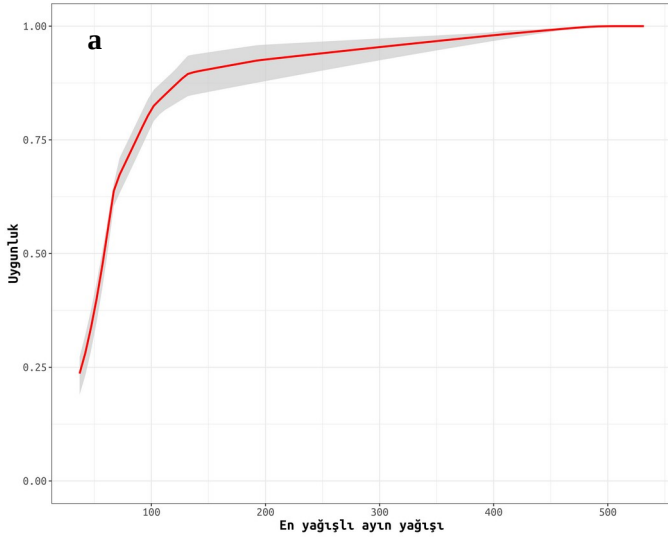
Şekil 10. Tüm yangınların değerlendirildiği genel model değişkenlerinin görece katkıları.



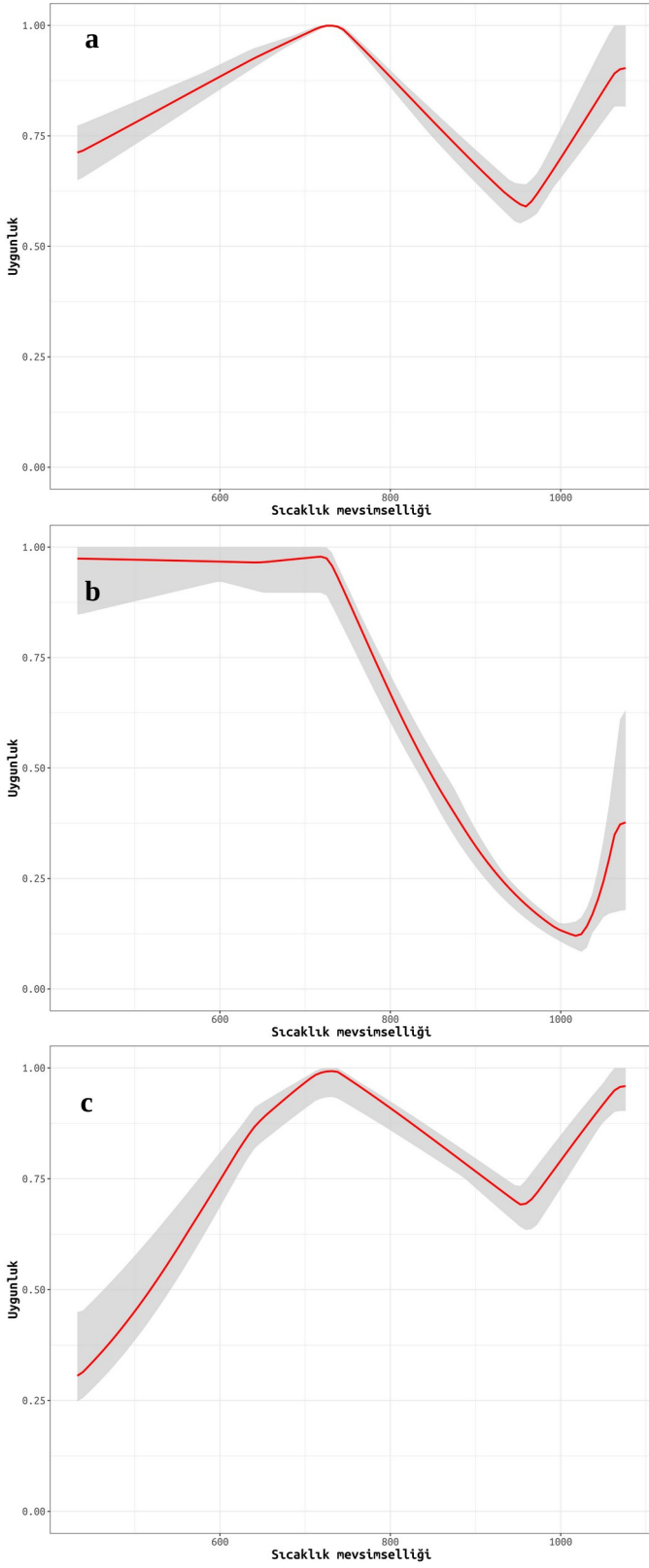
Şekil 11. Yıldırım kaynaklı yangınların değerlendirildiği yıldırım model değişkenlerinin görel katkıları.



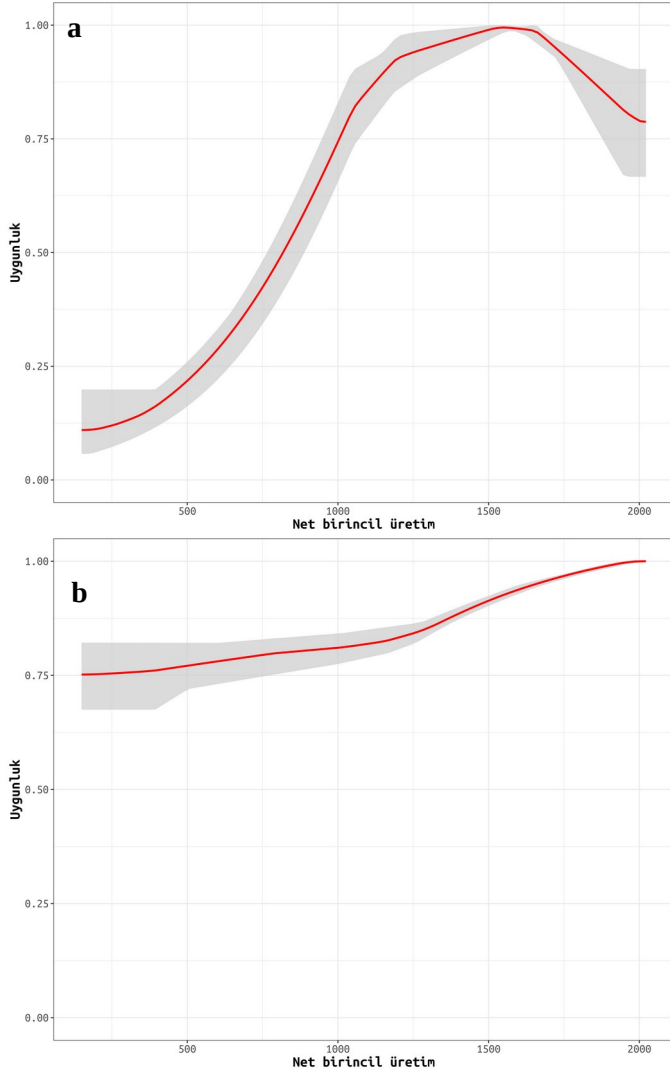
Şekil 12. İnsan kaynaklı yangınların değerlendirildiği antropojen model değişkenlerinin görel katkıları.



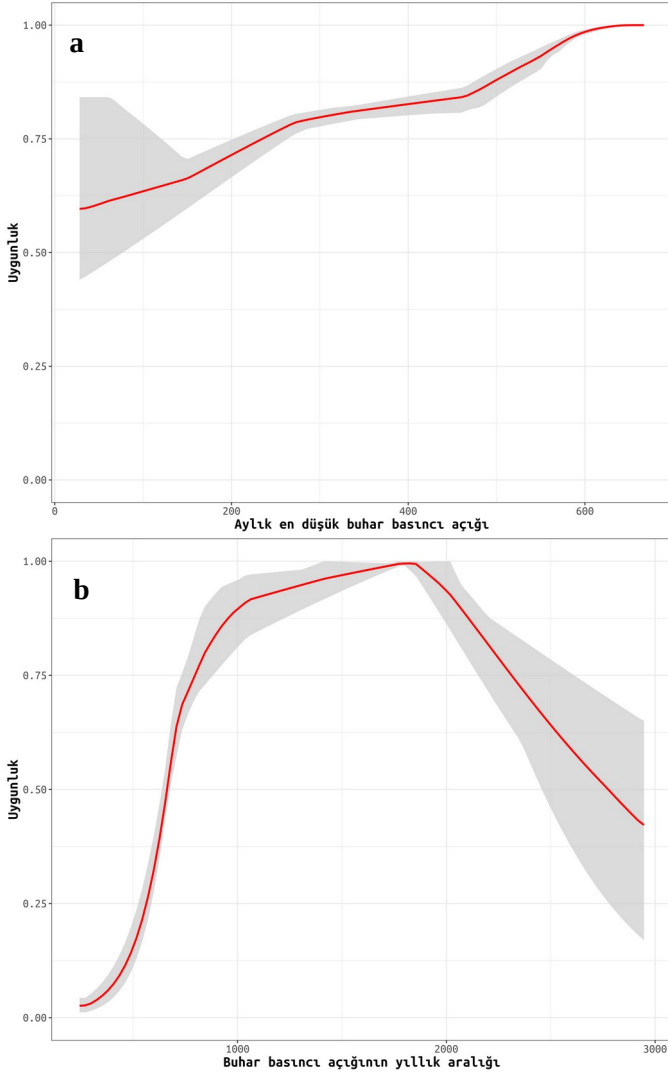
Şekil 13. En yağışlı ayın yağışı değişkeninin yanıt eğrileri; sırasıyla (a) tüm yangınlar, (b) yıldırım kaynaklı yangınlar ve (c) insan kaynaklı yangınlar.



Şekil 14. Sıcaklık mevsimselliği değişkeninin yanıt eğrileri; sırasıyla (a) tüm yangınlar, (b) yıldırım kaynaklı yangınlar ve (c) insan kaynaklı yangınlar.



Şekil 15. Net birincil üretim değişkeninin yanıt eğrileri; sırasıyla (a) yıldırım kaynaklı yangınlar ve (b) insan kaynaklı yangınlar.



Şekil 16. (a) İnsan kaynaklı yangınlar için aylık en düşük buhar basıncı açığı ve (b) yıldırım kaynaklı yangınlar için buhar basıncı açığının yıllık aralığı yanıt eğrileri.

4. TARTIŞMA

4.1. Türkiye’de Yıldırım Kaynaklı Yangınların Mekânsal Değişkenliği ve Yangın Yönetim Politikaları İçin Öneriler

Orman yangınları, sebebinden bağımsız olarak önemli mekânsal değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, yıldırım kaynaklı yangınlara odaklanılmış ve Türkiye genelindeki coğrafi dağılımları ortaya konulmuştur. Bulgular, yıldırım kaynaklı yangınların bölgesel ve yerel düzeyde önemli değişkenlik gösterdiğini ancak bu durumun genellikle daha geniş ölçekli değerlendirmelerde göz ardı edildiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın bulguları, Türkiye’deki bazı bölgelerde yıldırım kaynaklı yangınların, orman yangınlarının önemli bir bölümünü oluşturduğuna dair başlangıç hipotezini desteklemektedir. Bu durum, ülkenin en kalabalık üç şehrini içeren bölgeler gibi insan faaliyetlerinin baskın tutuşma kaynağı olduğu alanlarla keskin bir tezat oluşturmaktadır. Bu tür mekânsal farklılıklar; topografya, iklim değişkenliği ve ekosistem çeşitliliğinin yangın rejimleri üzerindeki etkisini vurgulayan küresel gözlemlerle uyumludur (Bond ve ark., 2005; Liu ve Wimberly, 2015; Pausas, 2022). Anadolu'nun iklimsel ve topografik çeşitliliği, her biri farklı yangın rejimleriyle karakterize edilen (Bekar, 2016; Tavşanoğlu, 2017; Pausas, 2022) bir ekosistem mozaiği yaratır (Şekercioğlu ve ark., 2011). Gök gürültülü fırtınaların oluşmasını sağlayan konvektif kararsızlığın karmaşık yapısı ile birleştiğinde (Williams, 2005), ekosistemlerin ve yangın rejimlerinin bu çeşitliliği, meteorolojik koşullar, tutuşma kaynakları ve orman yangınları arasındaki karmaşık dinamikleri yansıtır.

Yıldırım aktivitesi ile yıldırım kaynaklı orman yangınları arasında bir ilişki olması beklenen bir durumdur (Coogan ve ark., 2022). Bu çalışmanın bulguları, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının belirli bölgelerde kümелendiğini ve bu bölgelerde yüksek yıldırım aktivitesi ile birlikte ortaya çıktığını gözlemleyerek bu örüntüyü vurgulamaktadır. Ancak, yıldırım, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının başlaması için bir ön koşul olsa da, yıldırımın varlığı her zaman bu tür yangınların meydana gelmesini sağlamaz. Kuzeydoğu Anadolu ve Trakya gibi bölgeler, yüksek yıldırım aktivitesinin düşük yıldırım kaynaklı orman yangını sıklığı ile birleştiği zıt bir senaryo sunmaktadır. Bu zıtlık, yıldırım aktivitesi ve yangın olayları arasındaki yanıcı madde koşulları, hava ve iklim, topografya ve insan varlığı gibi faktörleri içeren karmaşık etkileşimi vurgulamaktadır. Türkiye'nin bazı

bölgelerinde, özellikle yangın aktivitesinin en yüksek olduğu Muğla, yüksek yıldırım kaynaklı orman yangını sıklığı, yangın rejimlerinin esas olarak sıcaklık ve yağışla ilgili iklim faktörlerinden etkilendiği ve Türkiye genelinde coğrafi olarak değişkenlik gösterdiği gözlemleriyle desteklenmektedir (Bekar ve Tavşanoğlu, 2017; Pausas, 2022). Ayrıca bu tez çalışmasında yapılan bir analiz Muğla bölgesinde yıldırım kaynaklı orman yangınlarının yıldırım sayısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde, özellikle ülkenin yangın riski en yüksek bölgesi olan Muğla'da önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Ancak yıldırım kaynaklı orman yangını ile yıldırımların sayısı arasındaki ilişkinin bölgesel düzeyde gösterdiği farklılıklar nedeniyle, Türkiye ölçeğinde yalnızca zayıf bir pozitif ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlar, incelenen mekânsal ölçeğin, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal dağılımını değerlendirmede kritik olduğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla sonuçlar, Türkiye gibi farklı ekosistemler ve yangın rejimlerine sahip bölgelerde, yerel veya bölgesel ölçeklerde yıldırım kaynaklı orman yangınlarının rolünün yeniden değerlendirilmesinin, doğal yangın örüntülerinin tam olarak anlaşılmasında kritik bir öneme sahip olabileceğini göstermektedir.

Yıldırım kaynaklı orman yangınları, yangın oluşumunu etkileyebilecek faktörlerin yanı sıra yıldırım oluşumu için gerekli özel koşullara da bağlı olduğundan daha kısıtlı zaman dilimlerinde meydana gelirler. Bu tez çalışmasının bulguları, yıldırım kaynaklı orman yangınlarında bazı mevsimsel örüntüler olduğunu da göstermiştir. Türkiye'de yıldırım yangınlarının, en fazla yangının meydana geldiği temmuz ve ağustos aylarına kıyasla haziran, eylül ve ekim aylarında daha yüksek oranlarda görülmesi, muhtemelen bu iki ay boyunca ülke genelinde, özellikle Akdeniz bölgesinde yangına elverişli hava koşullarının yanı sıra artan insan faaliyetlerinden (turizm, seyahat vb.) kaynaklanan yüksek miktardaki insan kaynaklı orman yangınlarına bağlıdır. Nitekim Akdeniz iklim kuşağında yer alan Muğla bölgesi de ülke genelindeki verilere benzer bir model sergilemiştir. Ayrıca, Türkiye'deki iklim ve topografya çeşitliliği, diğer bazı ayları da yıldırım kaynaklı orman yangınları için uygun hâle getirebilir. Örneğin, Anadolu'nun kuzeybatı kesiminde kasım veya aralık aylarında yıldırım kaynaklı orman yangınlarının gözlemlenmesi nadir değildir. Tüm bu faktörler, meteorolojik koşullardaki ve insan faaliyetlerindeki mevsimsel örüntülerin, Türkiye'deki yıldırım kaynaklı orman yangınlarının gözlemlenen mevsimsel dağılımını şekillendirdiğini göstermektedir.

Geleneksel inanış, Türkiye genelinde orman yangınlarının başlıca tutuşma kaynağının insan faaliyetleri olduğu yönündedir ve yıldırımın bir tutuşma kaynağı olarak rolü birçok kaynakta yeterince vurgulanmamaktadır (örn. Küçükosmanoğlu, 1993; Avcı ve Korkmaz, 2020; Kavgacı ve Başaran, 2023; Gültekin ve Gültekin, 2024). Bununla birlikte bu çalışmadaki özellikle yıldırımların yoğun olduğu bölgelerdeki yıldırım kaynaklı orman yangınlarının önemli mekânsal değişkenliğine ilişkin bulgular, bu yaygın inanışı sorgulamaktadır. Yalnızca Türkiye'ye özgü olmayıp küresel ölçekte yaygın olan bu azımsama (örn. Ganteaume ve ark., 2013), yangının ekosistemler içindeki doğal rolüne ilişkin yanlış anlamaları beslemekte ve yönetim kararlarını etkilemektedir (Ramos-Neto ve Pivello, 2000; Vecín-Arias ve ark., 2016; Fernandes ve ark., 2021; Menezes ve ark., 2022). Yangınların insan kaynaklı rolünü vurgulayan bu görüş, yangınların doğal olarak meydana geldiği gerçeğini görmezden gelerek, doğal yangın rejimlerini engelleyen agresif yangın söndürme politikalarını da içeren, doğal yangın rejimlerinin ekolojik önemini tam olarak dikkate almayan yangın yönetim politikalarına yol açmaktadır (Chavardès ve ark., 2018; Şahan ve ark., 2022). Ayrıca orman yangınlarını doğal bir fenomen olarak tanımlamamak da yangına uyarlanmış ekosistemlerdeki yangın sonrası onarım çabalarını etkisiz hâle getirebilir (Tavşanoğlu ve Pausas, 2022) ve türlerin ekolojisi, evrimi ve biyocoğrafyası hakkındaki anlayışımızı kısıtlayabilir (Pausas ve Lamont, 2018). Komarek'in (1968) doğal yangın rejimlerinin sürdürülmesinde yıldırım kaynaklı yangınların önemini öne sürmesinden bu yana geçen yarım yüzyılda, birçok araştırmacı bu yangınların ekolojik rolünü kabul etmiştir (Taylor, 1974; Ramos-Neto ve Pivello, 2000; Hantson ve ark., 2022). Günümüzün insan tarafından yönetilen ekosistemlerinde, tarihsel yangın rejimlerini eski hâline getirmek ve bir asırlık yangın söndürme politikaları nedeniyle biriken orman yanıcı maddelerini azaltmak için düşük yoğunluklu yıldırım kaynaklı yangınların bir yönetim aracı olarak kullanılması da önerilmiştir (Ramos-Neto ve Pivello, 2000; Pineda ve ark., 2022). Yıldırım kaynaklı yangınların yerel ve bölgesel ölçekte önemli mekânsal değişkenlik gösterdiği bulgular, bu yangınların hâkim olduğu bölgelerde genel yangın söndürme politikalarının gözden geçirilmesi gerektiğini önermektedir. Bu bağlamda, bir yandan yıldırım kaynaklı doğal yangınların vejetasyonu yakmasına izin veren, diğer yandan da insan sosyo-ekonomisi veya yangına duyarlı habitatlarla sınırlı olacak şekilde yangın söndürme faaliyetlerini içeren karma bir yangın yönetim stratejisi benimsenebilir. Yıldırım kaynaklı yangınların yoğun olduğu bölgelerde doğal olarak meydana gelen yangınların rolünü dikkate alan daha seçici söndürme uygulamaları, uzun süredir yangın

söndürme baskısı altında olan bölgelerde doğal yangın rejimlerinin yeniden sağlanmasına olanak tanımaktadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde, insan yerleşimlerinden uzak bölgelerdeki bazı yıldırım kaynaklı yangınların söndürülmemesi yönünde bir politika uygulanmaktadır (Van Wagendonk, 2007; Houtman ve ark., 2013; Pietruszka ve ark., 2023). Uzun süredir devam eden yangın söndürme politikaları, sosyo-ekonomik değişimlerle (örn. kırsal alanların terk edilmesi) ve yoğun ağaçlandırma faaliyetleriyle birlikte doğal ekosistemlerde yanıcı madde birikimine yol açarak değişen iklimle beraber büyük yangınlara neden olmuştur (Moreira ve ark., 2020; Pausas ve Keeley, 2021). Bu nedenle, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının mekânsal ve zamansal dağılımını dikkate alan ve "kendi hâline bırakma" stratejilerini uygulayan yeni yaklaşımlar ve protokoller orman ve yangın yönetim planları için gereklidir. Ancak bazı yıldırım kaynaklı orman yangınlarını etkin bir şekilde yönetmek için, bu yangınları doğru bir şekilde tanımlamak ve yönetim uygulamalarını, peyzaj yapısına, konumlarına (örneğin, topografya veya yerleşim yerlerine yakınlık), yangın türüne (örtü ve tepe yangını gibi) ve bu yangınların tutuştukları ve yayıldıkları hava koşullarına göre ayarlamak gerektiği unutulmamalıdır.

Bu tez çalışmasının bulgularının da açıkça gösterdiği gibi, yıldırım kaynaklı yangınlar, Türkiye'de insan kaynaklı yangınlara göre önemli ölçüde daha küçük alanları yaktığından, bu durum yıldırım yangınlarının büyük alanları yakabileceği diğer birçok Akdeniz ülkesine kıyasla Türkiye'de böyle bir politikanın uygulanması için iyi bir fırsat sunmaktadır (Vázquez ve Moreno, 1998; Fernandes ve ark., 2021). Dolayısıyla, bu tez çalışmasının bulgularına dayanarak, Türkiye gibi ülkelerde genel yangın söndürme stratejilerinin yeniden değerlendirilmesini ve doğal olarak meydana gelen yangınların rolünü dikkate alan daha seçici söndürme uygulamalarının savunulması önerilmektedir. Ancak Türkiye'de bu politika değişikliğinin bilim insanları, politika yapımcılar ve diğer paydaşlar arasında daha geniş bir tartışma gerektirmektedir. Arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan yakıt birikimi ve iklim değişikliği sebebiyle yangın rejimlerinin örtü yangınlarından tepe yangınına dönüştüğü bölgelerde ve görece daha yüksek yangın aktivitesine sahip bölgelerde, örneğin Türkiye'nin Akdeniz ve Ege bölgelerinde, yıldırım kaynaklı orman yangınlarının yönetiminin dikkatle uygulanması gereken yerlerde, mutabakat özellikle gereklidir. Bu bölgelerde, halk, antropojen peyzajlarda doğal yangın rejimlerini anlamaya tam olarak hazır olmayabilir. Yıldırım kaynaklı orman yangınları için "kendi haline bırakma" politikası uygulamak için, bu tür yangınlara daha yatkın bölgelerdeki yerel

topluluklardan daha fazla bilgi toplamak esastır. Ayrıca, orman yangınlarının ne zaman ve nerede meydana geldiği konusunda yerel bilgiye sahip olan orman mühendisleri, gök gürültülü fırtınaların oluşumu ve geçişi hakkında kesin bilgi sağlayabilen meteoroloji kurumları ve itfaiyeciler arasında güçlü bir entegrasyon ve iletişim kurulmalıdır.

4.2. Türkiye'deki Orman Yangınlarını Etkileyen Faktörlerin Yangın Çıkış Sebeplerine Göre Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasının bulguları, Türkiye'deki yangınların büyük ölçüde doğal faktörler tarafından kontrol edildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular daha önce Türkiye'nin Akdeniz iklimine sahip kıyı bölgesinde yapılan benzer modelleme çalışmalarının sonuçları ile de uyumluluk göstermektedir (Bekar, 2016; Bekar ve Tavşanoğlu, 2017; Bekar ve ark., 2020). Özellikle, sıcaklık mevsimselliği ve en yağışlı ayın yağış miktarı gibi iklim değişkenlerinin, tüm modellerde yangın oluşumuna katkıda bulunan en önemli faktörler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, her ne kadar insan kaynaklı yangınlar birçok bölgede yıldırım kaynaklı yangınlara göre daha yüksek oranda görülse de Türkiye'de yangın rejimlerini şekillendiren en önemli faktörlerin iklimsel faktörler olduğu görülmektedir. En yağışlı ayın yağış miktarının, Akdeniz ikliminin mevsimsel değişkenliğini, özellikle bol kış yağışlarını iyi bir şekilde yansıttığı ve bu nedenle yangınlarla yüksek ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. İnsan kaynaklı yangınların yanıt eğrisinde, 200 mm'den sonra gözlemlenen yumuşak düşüşün, muhtemelen Karadeniz Bölgesi'nde görülen yüksek yağış miktarlarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yıldırım modelinin en yağışlı ayın yağış miktarı değişkeninin yanıt eğrisi ise orta değerlerden başlayarak bir yükselme eğilimi sergilemekte, bu da yıldırım yangınlarının Akdeniz iklimiyle ilişkili olduğunu, ancak bu yangınların en yüksek yağışların daha düşük miktarlarda gözlemlendiği karasal dağlık kesimlerde ve yüksek miktarlarda gözlemlendiği güney ve batıdaki dağlık kesimlerde de görüldüğünü göstermektedir. En yağışlı ayın yağış miktarı, insan ve yıldırım yangınları arasındaki farkı iyi bir şekilde yansıtmaktadır. Sıcaklık mevsimselliğinde 700 değerinden sonra meydana gelen azalma, daha karasal iklime sahip bölgelerdeki insan kaynaklı yangınlardan dolayı tüm yangınlarda ve insan kaynaklı yangınlarda daha az; karasallaşma ile yangın olasılığının hızlıca düştüğü yıldırım yangınlarında ise oldukça kuvvetlidir.

Elde edilen bulgular, Türkiye'deki yangınlarda hâlâ önemli bir oranda doğal yangın rejimlerinin hâkim olduğunu göstermektedir. Bu etkinin, yıldırım yangınlarında insan kaynaklı yangınlara göre çok daha kuvvetli olduğu görülmüştür. Net birincil üretimin yanıt eğrileri, yıldırım yangınlarının net birincil üretim ile ilişkisinin, küresel düzeydeki orta düzey yangın-üretkenlik hipotezine uygun olduğunu göstermektedir (Pausas ve Ribeiro, 2013). Yıldırım modeli, düşük net birincil üretim değerlerinde düşük yangın olasılığına sahipken, antropojen model net birincil üretim değeri arttıkça yükseliş eğilimine sahip her değerde yüksek yangın olasılığına sahiptir. Yıldırım yangını olasılığı, yüksek net birincil üretim değerlerinde azalmaktadır. Bu durum, net birincil üretimin yangınlarla ilişkisini vurgulayan bölgesel ve küresel çalışmalarla uyum göstermektedir (Pausas ve Paula, 2012; Pausas ve Ribeiro, 2013) ve Türkiye'deki yıldırım yangınlarının yanıcı madde tarafından sınırlanan yangın rejimi özelliği sergilediğini göstermektedir. Buna karşılık insan yangınlarının, modele gösterdiği doğrusal yanıtla daha çok kuraklık güdümlü yangın rejimi sergilediği görülmektedir. Yüksek net birincil üretime sahip alanlardaki yoğun insan faaliyetleri bu durumu etkileyen bir faktör olabilir (Pausas ve Ribeiro, 2013). Özellikle farklı ülkelerde farklı dönemlerde gerçekleşmiş olsa da geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinde, Akdeniz Havzası'nda yanıcı madde tarafından sürdürülen yangın rejimlerinden, kuraklık güdümlü yangın rejimlerine belirgin bir geçiş gerçekleşmiştir (Pausas ve Fernández-Muñoz, 2012). Bu geçiş sonucunda, Akdeniz Havzasında özellikle sıcak hava dalgalarının görüldüğü günlerde "mega yangın" da denilen katastrofik yangınların oluşma sıklığı artmıştır (Moreira ve ark., 2020). Benzer bir durum, son yıllarda Türkiye için de geçerli olsa da bu tez çalışmasının bulguları, insan kaynaklı yangınlar ile yıldırım kaynaklı yangınlar arasında yangın varlığını ve büyüklüğünü sınırlayıcı faktörler arasında bir fark olabileceğini önermektedir.

Antropojen model sonuçlarındaki aylık en düşük buhar basıncı açığı değişkeni en nemli dönemdeki düşük bağıl nem miktarıyla ilişkilidir. Bu nedenle yüksek aylık en düşük buhar basıncı açığı değerleri Akdeniz iklimi görülen bölgelerde tipik bir durumdur. Bu sebeple bu değişken, insan yangınları için yumuşak doğrusal bir artış yanıtı göstermiştir. Yıldırım kaynaklı yangınlar için değerlendirildiğinde ise buhar basıncı açığının yıllık aralığı, kambur şeklinde bir yanıt eğrisine sahiptir. Bu değişken, buhar basıncı açığının yıllık aralığının yüksek olduğu Güneydoğu Anadolu gibi kurak karasal bölgelerde yüksek, yıl boyu nemli olan Doğu Karadeniz gibi bölgelerde ise düşük değerler sergilemektedir.

Yıldırım yangını olasılığı, özellikle ülkenin batı ve güneyindeki dağlık alanlarda yüksek olduğundan, bu yanıt eğrisinin kambur bir şekilde sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu bölümün bulguları, Türkiye'deki yangınların büyük ölçüde doğal faktörler tarafından kontrol edildiğini ve iklim değişkenlerinin yangın rejimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. İklimsel faktörler, özellikle sıcaklık mevsimselliği ve en yağışlı ayın yağış miktarı, tüm yangın modellerinde belirleyici unsurlar olarak öne çıkmıştır. İnsan kaynaklı yangınlar daha çok kuraklık güdümlü bir yangın rejimi sergilerken, yıldırım kaynaklı yangınlar ise yanıcı madde tarafından sınırlanan yangın rejimlerine işaret etmektedir. Bulgular, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki iklimsel farklılıkların yangın rejimlerini nasıl şekillendirdiğini göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye'deki yangın rejimlerinin çeşitliliğini ve yangınları yönlendiren temel faktörleri daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye’de yıldırım yangınlarının coğrafi örüntülerini kapsamlı bir şekilde ortaya koyan ilk çalışma niteliğindedir. Çalışmanın bulguları, Türkiye’deki yangınların büyük ölçüde insan kaynaklı olduğu yönündeki algının kısmen gerçeği yansıtmadığını, çünkü yıldırım ve insan kaynaklı yangınların ülke genelinde önemli ölçüde mekânsal değişkenliğe sahip olduğunu göstermiştir. Bazı bölgelerde ve yörelerde yıldırım yangınlarının, ortaya çıkmış olan yangınların büyük bir kısmından sorumlu olmuş olması, doğal yangınların Türkiye’de bazı alanlar için ana yangın etmeni olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’deki yıldırım ve insan kaynaklı yangınları tetikleyen faktörlerin birbiriyle benzerlik ve farklılıklarının ortaya konulmuş olması, doğal ve antropojen yangınların sebeplerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle net birincil üretimin yıldırım kaynaklı yangınlarda önemli bir değişken olarak ortaya çıkması, ancak insan kaynaklı yangınların ortaya çıkışında çok düşük bir role sahip olması, yıldırım yangınlarının doğal yangın rejimlerinden beklenen yangın örüntülerini daha iyi göstermekte olduğunu ortaya koymaktadır.

Yıldırım yangınlarının doğal yangınlar olarak ele alınarak söndürülmeleri konusunda daha çekingen davranılması, hem doğadaki yanıcı madde yükünün azaltılması ile gelecekteki mega yangınların önüne geçilmesine katkı sağlaması, hem de Türkiye’de yaklaşık yüz yıldır baskılanmış olan doğal yangın rejimlerinin restore edilmesi anlamında faydalı olacaktır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında yıldırım ve insan kaynaklı yangınlar konusunda elde edilen bulgular, ülkemizdeki yangın rejimlerinin şekillenmesinde doğal ve antropojen faktörlerin görece etkisinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, ülkemizin özellikle Akdeniz ekosistemlerinde yangınların doğadaki rolü konusundaki olumsuz yöndeki algının değişmesine de katkı sunacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Balch, J.K., Bradley, B.A., 2016. Controls on interannual variability in lightning-caused fire activity in the western US. *Environ. Res. Lett.* 11, 045005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/045005>
- Anselin, L., 1995. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geogr. Anal.* 27, 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Attiwill, P.M., Adams, M.A., 2013. Mega-fires, inquiries and politics in the eucalypt forests of Victoria, south-eastern Australia. *For. Ecol. Manag.* 294, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.015>
- Avcı, M., Korkmaz, M., 2020. Türkiye’de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. *Türkiye Ormancılık Dergisi.* 22, 229–240. <https://doi.org/10.18182/tjf.942706>
- Barrett, T., Dowle, M., Srinivasan, A., 2023. *data.table*: Extension of `data.frame`.
- Bekar, İ., 2016. Akdeniz ekosistemlerinde günümüz yangın rejimlerinin şekillenmesinde doğal ve antropojen faktörlerin rolü. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., 2017. Modelling the drivers of natural fire activity: the bias created by cropland fires. *Int. J. Wildland Fire* 26, 845–851. <https://doi.org/10.1071/WF16183>
- Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., Pezzatti, B. G., Vacik, H., Pausas, J. G., Bugmann, H., Petter, G. 2020. Cross-regional modeling of fire occurrence in the Alps and the Mediterranean Basin. *Int. J. Wildland Fire* 29, 712-722.
- Bond, W.J., Woodward, F.I., Midgley, G.F., 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytol.* 165, 525–538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>
- Brun, P., Zimmermann, N.E., Hari, C., Pellissier, L., Karger, D.N., 2022. Global climate-related predictors at kilometer resolution for the past and future. *Earth System Science Data* 14, 5573–5603. <https://doi.org/10.5194/essd-14-5573-2022>
- Cattau, M.E., Wessman, C., Mahood, A., Balch, J.K., 2020. Anthropogenic and lightning-started fires are becoming larger and more frequent over a longer season length in the U.S.A. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 29, 668–681. <https://doi.org/10.1111/geb.13058>

- Chavardès, R.D., Daniels, L.D., Gedalof, Z., Andison, D.W., 2018. Human influences superseded climate to disrupt the 20th century fire regime in Jasper National Park, Canada. *Dendrochronologia* 48, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.01.002>
- Chen, B., Jin, Y., 2022. Spatial patterns and drivers for wildfire ignitions in California. *Environ. Res. Lett.* 17, 055004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac60da>
- Chen, B., Wu, S., Jin, Y., Song, Y., Wu, C., Venevsky, S., Xu, B., Webster, C., Gong, P., 2024. Wildfire risk for global wildland–urban interface areas. *Nat Sustain* 7, 474–484. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01291-0>
- Coogan, S.C.P., Aftergood, O., Flannigan, M.D., Coogan, S.C.P., Aftergood, O., Flannigan, M.D., 2022. Human- and lightning-caused wildland fire ignition clusters in British Columbia, Canada. *Int. J. Wildland Fire* 31, 1043–1055. <https://doi.org/10.1071/WF21177>
- Dunnington, D., Pebesma, E., 2023. geos: Open Source Geometry Engine ('GEOS') R API.
- Dunnington, D., Vanderhaeghe, F., Caha, J., Muenchow, J., Barja, A., Lovelace, R., Nowosad, J., 2024. qgisprocess: Use “QGIS” Processing Algorithms.
- Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Ghosh, T., Hsu, F.-C., Taneja, J., 2021. Annual Time Series of Global VIIRS Nighttime Lights Derived from Monthly Averages: 2012 to 2019. *Remote Sensing* 13, 922. <https://doi.org/10.3390/rs13050922>
- Erinç, S., 1969. *Klimatoloji ve metodları*. İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü, Yayın No: 35, İstanbul.
- European Space Agency, Airbus, 2022. Copernicus Dem. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Fernandes, P.M., Santos, J.A., Castedo-Dorado, F., Almeida, R., 2021. Fire from the sky in the Anthropocene. *Fire* 4, 13. <https://doi.org/10.3390/fire4010013>
- Finney, D. L., Doherty, R. M., Wild, O., Stevenson, D. S., MacKenzie, I. A., Blyth, A. M., 2018. A projected decrease in lightning under climate change. *Nature Climate Change*, 8(3), 210–213. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0072-6>

- Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., Lampin, C., 2013. A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environ. Manage.* 51, 651–662. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z>
- Gilardi, A., Lovelace, R., Rowlingson, B., Potter, N., 2023. *osmextract: Download and Import Open Street Map Data Extracts*.
- Gültekin, Y.S., Gültekin, P., 2024. Forest Fire Risk Management at the Country Scale: The Case of Turkey, in: Rodrigo-Comino, J., Salvati, L. (Eds.), *Fire Hazards: Socio-Economic and Regional Issues*. Springer International Publishing, Cham, pp. 43–52. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50446-4_4
- Hanes, C.C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M.-A., Little, J.M., Flannigan, M.D., 2019. Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Can. J. For. Res.* 49, 256–269. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0293>
- Hantson, S., Andela, N., Goulden, M.L. et al., 2022. Human-ignited fires result in more extreme fire behavior and ecosystem impacts. *Nat. Commun.* 13, 2717. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30030-2>
- Hijmans, R.J., 2023. *terra: Spatial Data Analysis*.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J., 2023. *dismo: Species Distribution Modeling*.
- Houtman, R.M., Montgomery, C.A., Gagnon, A.R., Calkin, D.E., Dietterich, T.G., McGregor, S., Crowley, M., 2013. Allowing a wildfire to burn: estimating the effect on future fire suppression costs. *Int. J. Wildland Fire* 22(7), 871-882. <http://doi.org/10.1071/WF12157>
- Janssen, T.A., Jones, M., Finney, D., Werf, G., van Wees, D., Xu, W., Veraverbeke, S., 2023. Extratropical forests increasingly at risk due to lightning fires. *Nat. Geosci.* 16, 1136-1144. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01322-z>
- Kavgacı, A., Başaran, M.A., 2023 (eds.). *Orman Yangınları [Forest Fires]*. Türkiye Ormancılar Derneği, Ankara, ISBN: 978-605-71791-4-2.
- Keeley, J.E., Syphard, A.D., 2018. Historical patterns of wildfire ignition sources in California ecosystems. *Int. J. Wildland Fire* 27, 781. <https://doi.org/10.1071/WF18026>

- Komarek, E. V., 1968. Lightning and lightning fires as ecological forces. In: Proceedings of the Tall Timbers fire ecology conference (Vol.8, pp. 169-197).
- Kreider, M.R., Higuera, P.E., Parks, S.A., Rice, W.L., White, N., Larson, A.J., 2024. Fire suppression makes wildfires more severe and accentuates impacts of climate change and fuel accumulation. *Nat. Commun.* 15, 2412. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46702-0>
- Küçükosmanoğlu, A., 1993. Türkiye orman yangınlarına ait bazı verilerin değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.* 43, 85–102. <https://doi.org/10.17099/jffiu.47076>
- Larjavaara, M., Pennanen, J., Tuomi, T.J., 2005a. Lightning that ignites forest fires in Finland. *Agric. For. Meteorol.* 132, 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.005>
- Larjavaara, M., Kuuluvainen, T., Rita, H., 2005b. Spatial distribution of lightning-ignited forest fires in Finland. *For. Ecol. Manag.* 208, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.12.005>
- Liu, Z., Wimberly, M.C., 2015. Climatic and landscape influences on fire regimes from 1984 to 2010 in the western United States. *Plos One*, 10(10), e0140839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140839>
- Menezes, L.S., de Oliveira, A.M., Santos, F.L., Russo, A., de Souza, R.A., Roque, F.O., Libonati, R., 2022. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Sci. Total Environ.* 820, 153021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153021>
- Moraga, P., 2023. *Spatial Statistics for Data Science: Theory and Practice with R*. CRC Press.
- Moran, P.A.P., 1948. The Interpretation of Statistical Maps. *J. R. Stat. Soc. Ser. B Methodol.* 10, 243–251.
- Moran, P.A.P., 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika* 37, 17–23. <https://doi.org/10.2307/2332142>
- Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M.A., Moreno, J.M., Pereira, J.M.C., Catry, F.X., Armesto, J., Bond, W., González, M.E., Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L., Price, O., Pausas, J.G., Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoğlu, C., Vallejo, V.R., Van Wilgen,

- B.W., Xanthopoulos, G., Fernandes, P.M., 2020. Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. *Environ. Res. Lett.* 15, 011001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e>
- Müller, M.M., Vacik, H., Diendorfer, G., Arpacı, A., Formayer, H., Gossow, H., 2013. Analysis of lightning-induced forest fires in Austria. *Theor. Appl. Climatol.* 111, 183–193. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0653-7>
- OpenStreetMap contributors., 2017. *Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>.*
- Parisien, M.-A., Moritz, M.A., 2009. Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological Monographs* 79, 127–154. <https://doi.org/10.1890/07-1289.1>
- Pausas J.G., 2022. Pyrogeography across the western Palearctic: a diversity of fire regimes. *Global Ecol. Biogeogr.* 32(10), 1923-1932. <https://doi.org/10.1111/geb.13569>
- Pausas J.G., Fernández-Muñoz S. 2012. Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change* 110, 215-226. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>
- Pausas J.G., Keeley J.E., 2021. Wildfires and global change. *Front. Ecol. Environ.* 19(7), 387-395. <https://doi.org/10.1002/fee.2359>
- Pausas, J.G., Lamont, B.B., 2018. Ecology and biogeography in 3D: the case of the Australian Proteaceae. *J. Biogeogr.* 45(7), 1469-1477. <https://doi.org/10.1111/jbi.13348>
- Pausas J.G., Ribeiro E. 2013. The global fire-productivity relationship. *Global Ecol. & Biogeogr.* 22: 728-736. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12043>
- Pausas, J.G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *Int. J. Wildland Fire* 17, 713–723. <https://doi.org/10.1071/WF07151>
- Pebesma, E., 2018. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *R J.* 10, 439–446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pebesma, E., Bivand, R.S., 2023. *Spatial Data Science With Applications in R.* Chapman & Hall.

- Pérez-Invernón, F.J., Gordillo-Vázquez, F.J., Huntrieser, H., Jöckel, P., 2023. Variation of lightning-ignited wildfire patterns under climate change. *Nat. Commun.* 14, 739. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36500-5>
- Phillips, S.J., Dudík, M., Schapire, R.E., 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling, in: *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, ICML '04*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, p. 83. <https://doi.org/10.1145/1015330.1015412>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pietruszka, B M., Young, J.D., Short, K.C., St. Denis, L.A., Thompson, M.P., Calkin, D.E., 2023. Consequential lightning-caused wildfires and the “let burn” narrative. *Fire Ecol.* 19(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00208-0>
- Pineda, N., Altube, P., Alcasena, F. J., Casellas, E., San Segundo, H., Montanyà, J., 2022. Characterising the holdover phase of lightning-ignited wildfires in Catalonia. *Agr. For. Meteo.*, 324, 109111. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109111>
- R Core Team, 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramos-Neto, M.B., Pivello, V.R., 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environ. Manag.*, 26, 675-684. <https://doi.org/10.1007/s002670010124>
- Romps, D.M., Seeley, J.T., Vollaro, D., Molinari, J., 2014. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science* 346, 851–854. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>
- Romps, D. M., 2019. Evaluating the future of lightning in cloud-resolving models. *Geophysical Research Letters*, 46(24), 14863–14871. <https://doi.org/10.1029/2019GL085748>
- Sari, F. 2023. Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models. *J. For. Res.* 34, 355-371. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01502-4>

- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lexer, M.J., 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Glob. Change Biol.* 17, 2842–2852. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02452.x>
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R., 2002. Large forest fires in Canada, 1959–1997. *J. Geophys. Res.* 108(D1), 8149. <https://doi.org/10.1029/2001JD000484>
- Şahan, E.A., Köse, N., Güner, H.T., Trouet, V., Tavşanoğlu, Ç., Akkemik, Ü., Dalfes, H.N., 2022. Multi-century spatiotemporal patterns of fire history in black pine forests, Turkey. *For. Ecol. Manag.* 518, 120296. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120296>
- Şekercioğlu, Ç.H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö.E., Semiz, G., Tavşanoğlu, Ç., Yokeş, M.B., Soyumert, A., İpekdal, K., Sağlam, İ.K., Yücel, M., Nüzhet Dalfes, H., 2011. Turkey's globally important biodiversity in crisis. *Biol. Conserv.* 144, 2752–2769. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.06.025>
- Soyumert, A., Ertürk, A., Tavşanoğlu, Ç. (2019) The importance of lagomorphs for the Eurasian lynx in Western Asia: results from a large scale camera-trapping survey in Turkey. *Mammal. Biol.* 95, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2019.01.003>
- Tavşanoğlu, Ç., 2017. Disturbance regimes proceeding in Anatolian steppe ecosystems. *Kebikeç* 43, 259-288. (in Turkish with English abstract)
- Tavşanoğlu, Ç., Pausas, J.G., 2022. Turkish postfire action overlooks biodiversity. *Science* 375, 391–391. <https://doi.org/10.1126/science.abn5645>
- Taylor, A. R., 1974. Ecological aspects of lightning in forests. In: *Proceedings of the Tall Timbers fire ecology conference* (Vol. 13, pp. 455-482).
- Turner, R., Roberts, N., Jones, M.D., 2008. Climatic pacing of Mediterranean fire histories from lake sedimentary microcharcoal. *Glob. Planet. Change* 63, 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.07.002>
- Van Wagendonk, J.W., 2007. The history and evolution of wildland fire use. *Fire Ecol.* 3(2), 3-17. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0302003>
- Vázquez de la Cueva, A., Moreno, J., 1998. Patterns of Lightning-, and People-Caused Fires in Peninsular Spain. *Int. J. Wildland Fire* 8, 103–115. <https://doi.org/10.1071/WF9980103>

- Vecín-Arias, D., Castedo-Dorado, F., Ordóñez, C., Rodríguez-Pérez, J.R., 2016. Biophysical and lightning characteristics drive lightning-induced fire occurrence in the central plateau of the Iberian Peninsula. *Agr. For. Meteo.*, 225, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.003>
- Veraverbeke, S., Rogers, B.M., Goulden, M.L., Jandt, R.R., Miller, C.E., Wiggins, E.B., Randerson, J.T., 2017. Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nat. Clim. Change* 7, 529–534. <https://doi.org/10.1038/nclimate3329>
- Warren, D.L., Matzke, N.J., Cardillo, M., Baumgartner, J.B., Beaumont, L.J., Turelli, M., Glor, R.E., Huron, N.A., Simões, M., Iglesias, T.L., Piquet, J.C., Dinnage, R., 2021. ENMTools 1.0: an R package for comparative ecological biogeography. *Ecography* 44, 504–511. <https://doi.org/10.1111/ecog.05485>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T., Miller, E., Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., 2019. Welcome to the tidyverse. *J. Open Source Softw.* 4, 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Williams, E. R. (2005). Lightning and climate: A review. *Atmos. Res.*, 76(1), 272–287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.11.014>

EKLER

Ek Tablo 1. Altı seçili orman bölge müdürlüğü ve tüm Türkiye'de (satırlar) çeşitli yangın büyüklüğü sınıflarına (sütunlar) göre yangın sayısı ve yanan alan oranı. Bu tablonun kısa bir versiyonu Tablo 3'de sunulmuştur.

			Yangın büyüklüğü (ha)						
Bölge	Yangın Kaynağı								
			0-10⁰	10⁰-10¹	10¹-10²	10²-10³	10³-10⁴	10⁴-10⁵	
Türkiye	İnsan	sıklık (%)	39.17	8.96	1.57	0.28	0.04	0.01	
		alan (%)	1.62	4.44	6.95	13.41	25.55	16.05	
	Yıldırım	sıklık (%)	11.50	0.74	0.07	0.01	-	-	
		alan (%)	0.26	0.35	0.30	0.61	-	-	
	Bilinmeyen	sıklık (%)	29.27	7.13	1.05	0.18	0.02	0	
		alan (%)	1.24	3.61	4.68	7.61	9.87	3.45	
	Toplam	sıklık (%)	79.93	16.82	2.69	0.48	0.07	0.01	
		alan (%)	3.12	8.4	11.93	21.63	35.42	19.5	
	Muğla	İnsan	sıklık (%)	35.85	4.41	1.11	0.22	0.05	0.02
			alan (%)	0.78	1.28	2.84	5.32	17.49	17.85
Yıldırım		sıklık (%)	29.12	0.76	0.06	0.03	-	-	
		alan (%)	0.33	0.2	0.19	0.33	-	-	
Bilinmeyen		sıklık (%)	24.11	3.22	0.65	0.3	0.08	0.02	
		alan (%)	0.45	0.97	2.05	7.11	27.79	15.02	
Toplam		sıklık (%)	89.08	8.39	1.82	0.55	0.13	0.03	
		alan (%)	1.55	2.45	5.08	12.76	45.28	32.87	
Bolu		İnsan	sıklık (%)	27.63	9.7	1.35	0.13	-	-
			alan (%)	3.88	9.84	20.33	13.7	-	-
	Yıldırım	sıklık (%)	21.16	2.96	0.4	-	-	-	
		alan (%)	1.63	3.61	3.27	-	-	-	
	Bilinmeyen	sıklık (%)	27.49	8.49	0.27	0.4	-	-	
		alan (%)	3.56	9.46	3.44	27.27	-	-	
	Toplam	sıklık (%)	76.28	21.16	2.02	0.54	-	-	
		alan (%)	9.08	22.91	27.03	40.98	-	-	
	İstanbul	İnsan	sıklık (%)	42.37	4.07	0.37	-	-	-
			alan (%)	9.61	20.18	14.4	-	-	-
Yıldırım		sıklık (%)	0.97	0.03	-	-	-	-	
		alan (%)	0.28	0.17	-	-	-	-	
Bilinmeyen		sıklık (%)	48.51	3.37	0.23	0.07	-	-	
		alan (%)	12.68	15.26	13.33	14.11	-	-	
Toplam		sıklık (%)	91.85	7.48	0.6	0.07	-	-	
		alan (%)	22.57	35.6	27.73	14.11	-	-	
İzmir		İnsan	sıklık (%)	74.91	13.78	2.55	0.58	0.06	-
			alan (%)	3.62	8.41	15.65	42.74	28.08	-

	Yıldırım	sıklık (%)	5.7	0.52	0.02	-	-	-
		alan (%)	0.12	0.28	0.06	-	-	-
	Bilinmeyen	sıklık (%)	1.48	0.33	0.04	0.02	-	-
		alan (%)	0.08	0.15	0.25	0.55	-	-
	Toplam	sıklık (%)	82.09	14.63	2.61	0.61	0.06	-
		alan (%)	3.82	8.84	15.97	43.29	28.08	-
Erzurum	İnsan	sıklık (%)	20.12	15.92	4.2	-	-	-
		alan (%)	1.84	12.33	17.19	-	-	-
	Yıldırım	sıklık (%)	0.9	1.2	-	-	-	-
		alan (%)	0.03	0.79	-	-	-	-
	Bilinmeyen	sıklık (%)	27.93	23.72	5.41	0.6	-	-
		alan (%)	3.05	14.44	30.25	20.08	-	-
	Toplam	sıklık (%)	48.95	40.84	9.61	0.6	-	-
		alan (%)	4.92	27.55	47.44	20.08	-	-
Elazığ	İnsan	sıklık (%)	11.56	8.84	2.21	0.09	-	-
		alan (%)	0.94	5.95	10.05	5.8	-	-
	Yıldırım	sıklık (%)	2.81	0.43	0.09	-	-	-
		alan (%)	0.21	0.45	0.24	-	-	-
	Bilinmeyen	sıklık (%)	43.54	26.11	4.08	0.26	-	-
		alan (%)	3.7	18.35	22.94	31.37	-	-
	Toplam	sıklık (%)	57.91	35.37	6.38	0.34	-	-
		alan (%)	4.85	24.75	33.22	37.18	-	-

EK 1 - Tezden Türetilmiş Yayınlar

Öztürk, M.G., Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., 2024. Rethinking lightning-induced fires: Spatial variability and implications for management policies. *Forest Ecology and Management* 572, 122262. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122262>

EK 2 - Tezden Türetilmiş Bildiriler

Öztürk, M. G., Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., 2024. Rethinking lightning-induced fires: Spatial variability and implications for management policies. In: Proceedings of the 10th Ecology and Evolutionary Biology Symposium, Çanakkale, Türkiye.