

## Türkiye'deki 2000 – 2021 Yılları Arasındaki Bitki Örtüsü Yangınlarının Mekânsal Analizi

### Spatial Analysis of Wildfires in Türkiye between 2000 – 2021

Özer Akyürek<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41001, Kocaeli/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

##### \*Sorumlu yazar:

Özer Akyürek  
oz.er.akyurek@kocaeli.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1179051

##### Yayın süreci

Geliş tarihi: 22.09.2022  
Kabul tarihi: 22.11.2022  
Basım tarihi: 28.03.2023

#### Özet

Doğal veya insani sebeplerden meydana gelen yangınlar, yeryüzünde yaşayan tüm canlıları etkileyen en önemli doğal afetlerden bir tanesidir. Yeryüzünde her yıl ortalama olarak 3-5 milyon km<sup>2</sup>lik ormanlık alan yanmaktadır. Meydana gelen yangınlar, canlıları etkileyen küresel ısınma, atmosferde bulunan hava kirlenici parametrelerin yoğunluğunda artış vb. çeşitli faktörler meydana getirmektedirler. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gelişen günümüz teknolojisinde meydana gelen doğal afetlerin izlenmesinde ve yönetiminde sıklıkla başvurulan araçlardır. Konumsal verileri yönetmedeki başarısı, konumsal analiz yapabilme yeteneği, sonuçları sunabilme ve görselleştirme kapasitesi nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada 2000 – 2021 yılları arasında Türkiye'de ormanlık ve otlak alanlarda meydana gelen bitki örtüsü yangınları mekânsal istatistik yöntemlerle incelenerek analizi yapılmış ve haritalandırılması sağlanmıştır. Analizler sonucunda 21 yıllık süreç içerisinde ormanlık alan yangınlarından en çok etkilenen bölgelerin Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, otlak alan yangınlarından ise İç ve Güneydoğu Anadolu bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Ormanlık alan yangınlarından en çok etkilenen ilin Antalya, otlak alan yangınlarından en çok etkilenen ilin ise Şanlıurfa olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bitki örtüsü yangını, Mekânsal istatistik, FIRMS, Moran's I, Getis Ord Gi\*, Anselin yerel moran's I

#### Abstract

Fires caused by natural or human causes are one of the most important natural disasters that affect all living things on earth. Fires cause an average of 3-5 million km<sup>2</sup> of area to burn annually. Fires that occur, global warming affecting living things, increase in the density of air pollutant parameters in the atmosphere, etc. is caused by various factors. Remote Sensing and Geographic Information Systems are frequently used in the monitoring and management of natural disasters that occur in today's developing technology. It is preferred because of its success in managing spatial data, ability to perform spatial analysis, and capacity to present and visualize results. In this study, vegetation fires that occurred in forest and grassland areas in Türkiye between 2000 and 2021 were analyzed and mapped by using spatial statistical methods. As a result of the analysis, it has been determined that the regions most affected by forest fires in the 21-year period are the Aegean, Mediterranean and Southeastern Anatolia regions and Central and Southeastern Anatolia regions by grassland fires. It has been determined that the province most affected by forest fires is Antalya, and the province most affected by grassland fires is Şanlıurfa.

**Keywords:** Wildfires, Spatial statistics, FIRMS, Moran's I, Getis Ord Gi\*, Anselin local moran's I

## 1. Giriş

Yangınlar, doğal veya insan kaynaklı sebeplerden ortaya çıkan, meydana geldiği bölgede bulunan canlı, cansız varlıklara kısmen veya tamamen zarar veren bir olgu olarak tanımlanmaktadır (Busico vd., 2019; Çetin vd., 2022; Sarı, 2021). Karasal bitki örtüsünü şekillendiren, yeryüzünde bulunan biyomların dağılımını etkileyen ve canlıların evrimine yön veren bir ekosistem süreci olarak da adlandırılabilir (Tavşanoğlu, 2017). Yerküre üzerindeki başlıca bitki örtüsü tipleri; Yarı kurak, Otlak, Savan, Çalılık ve Fundalık, Tundra, Konifer ve Tropikal Yağmur ormanlarıdır. Yağmur ormanlarında yangın miktarı çok fazla kuru materyalin birikmemesinden kaynaklı olarak çok düşük değerlerdedir. Bazı savan ve otlaklarda da yangın miktarları yüksek düzeydeki otçul hayvanın bu bölgelerde yaşamasından kaynaklı olarak düşüktür. Otçul hayvanlar yanıcı madde miktarını azaltmakta ve yangınların oluşmasının önüne geçmektedir. Bunların aksine Akdeniz tipi formasyonlar yüksek yağış miktarına rağmen çok çabuk yanmaktadır. Bu durumun nedeni olarak son derece düşük ayrışım oranına ve düşük otçul hayvan düzeyine sahip olunması gösterilebilir (Arslantürk, 2007; Tavşanoğlu, 2021). Orman alanları dünya kara yüzölçümünün yaklaşık %30'unu oluşturur ve arazi örtüsünde büyük bir paya sahiptir (Sivrikaya ve Küçük, 2022). Orman alanlarının, yeryüzünün doğal yapısını koruması üzerinde atmosferik kirliliği azaltmadan, toprak kaymasına kadar faydalı birçok etkisinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca pek çok doğal zenginliğe ev sahipliği yaparak, ülkelerin ekonomilerine çeşitli katkıları da bulunmaktadır (Arca vd., 2020; Karabacak vd., 2019; Sarı, 2022; Zúñiga-Vásquez vd., 2017). Orman yangınları, paleozoik zamandan itibaren geçen süre içerisinde yeryüzünde var olan karasal ekosistemlerin önemli bir parçası olmuştur (Tüfekçioğlu vd., 2022). Doğal (volkanik faaliyetler, yıldırım ve meteorlar vb.) veya insan kaynaklı nedenler (avcılık, piknik, sigara izmariti, terör saldırıları, sabotaj vb.) orman yangınlarına sebep olmaktadır (Busico vd., 2019; Çolak ve Sunar, 2020a; İban ve Şekertekin, 2022; Novo vd., 2020; Sarı, 2022). Dünyada insan kaynaklı nedenlerle çıkan yangınlar, doğal nedenlerle çıkan yangınlardan çok daha fazladır (Chen ve Yang, 2018; Duran, 2014). Türkiye'de 1937-2018 yılları arasında 1,680,000 ha alanın yangınlara maruz kaldığı tespit edilmiştir. Son 20 yılda Türkiye'de %90'ı insan kaynaklı 63,724 orman yangını çıkmıştır (Çetin vd., 2022; Çolak ve Sunar, 2020a). 2020 yılında 3399 adet orman yangını tespit edilmiş ve bu yangınlar sonucunda 20,971 ha alan yanmıştır. 2021 yılı, orman yangınları açısından Türkiye için en kötü yıl olmuş ve yaklaşık 203,000 ha ormanlık alan tahrip olmuştur. 1937 yılından günümüze kadar geçen sürede Türkiye sınırları içerisinde yaklaşık 2,000,000 ha'lık orman alanı yangına maruz kalmıştır (İban ve Şekertekin, 2022; Tariq vd., 2022; Tüfekçioğlu vd., 2022). Son yıllarda meydana gelen orman yangınlarının en büyük sebebi iklim değişikliği olarak gösterilmektedir. İklim değişikliğinin orman yangını rejimleri üzerindeki etkileri de yıldan yıla daha belirgin hale gelmektedir. Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) raporuna göre; yangın tehlikesi seviyelerinin arttığı, daha uzun yangın mevsimlerinin varlığı, daha sık ve hızlı yayılan mega yangınların sayıları artış göstermektedir (Çolak ve Sunar, 2020b; Gökkaya, 2022; Trucchia vd., 2022). Son yüzyıl içerisinde pek çok nedene (yangınların baskılanması, ağaçlandırma ve sosyal politikalar vb.) bağlı olarak Akdeniz havzasındaki yangın rejimi değişikliğe uğramıştır. Bunun sonucu olarak da iklim değişikliğinden kaynaklı daha şiddetli ve uzun süren sıcak hava dalgaları, bölgede çıkan yangınların olması gerekenden daha büyük ve uzun sürmesine zemin hazırlamaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2022).

Yangınlarla mücadele, yangın öncesi ve sonrası yapılan çeşitli işlem adımlarından oluşmaktadır. Meydana gelen yangınlar öncesinde yapılacak olan işlemler; tespitin gerçekleştirilmesi, erken müdahale adımlarının atılması, oluşturulacak olan risk haritaları ile planlamaların yapılmasını kapsamaktadır. Yangın sonrası yapılacak işlemler ise; meydana gelen zararın araştırılması ve yanan alanların yeniden eski haline geri dönmesi yönünde atılacak olan adımların belirlenmesi olarak sıralanabilir (Gayır ve Arslan, 2018; Novo vd., 2020; Tavşanoğlu, 2021). Yangınların konumsal oluşum örüntüsünü istatistiksel yöntemler ile tanımlamak alınabilecek tedbirler açısından son derece önemlidir (Duran, 2014; Sarı, 2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) afet izleme ve yönetiminin tamamlayıcı birer parçasıdır (Çolak ve Sunar, 2020b; Sivrikaya ve Küçük, 2022). CBS; mekânsal gözlemlerle elde edilen vektör ve sözel bilgilerin; depolanması, analizi ve sonuç ürünlerin kullanıcılara veya karar vericilere sunulması adımlarını bir bütünlük içerisinde gerçekleştirmektedir. CBS içerisindeki mekânsal istatistik analizleri; veri gösterimi, haritalandırılması, grafiklendirilmesi ve çeşitli farklı verilerin birbirleriyle ilişkilendirilerek bir arada gösterilmesi gibi kolaylıkları kullanan ve tüm bunların sonucunda veriler arasındaki ilişkiyi ifade eden analizleri tanımlamaktadır (Chen ve Yang, 2018; Gayır ve Arslan, 2018). UA ise yüksek spektral ve konumsal çözünürlükle topladığı veriler ile afetlerin takibi ve yönetiminde sıklıkla kullanılan bir araç olarak öne çıkmaktadır (Gökkaya, 2022; İban ve Şahin, 2022). Ayrıca zamansal çözünürlük yeteneği ile de afet öncesi ve sonrasındaki etkilerin izlenmesi için kullanışlı bir veri kaynağıdır. Mekânsal istatistik, verilerin konum bilgilerini kullanarak onlara istatistiksel test uygulamayı ve mekânsal desen arayışını temsil etmektedir. Mekânsal istatistiğin öncelikli adımlarından bir tanesi mekânsal dağılımın ölçülmesidir. Veri noktalarının örüntüsünü araştırırken, kümelenme, dağınık veya rastlantısal olduklarına karar verilir (Bae vd., 2015).

Yeryüzü üzerinde meydana gelen yangınların mekânsal istatistik analizlerinin yapıldığı literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Gajovic ve Todorovic (2013), Sırbistan'da 2000 - 2013 yılları arasındaki MODIS yangın verilerini kullanarak mekânsal ve zamansal analizler gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları analizler arasında Getis Ord Gi\*, Global Moran's I, Anselin Yerel Moran's I bulunmaktadır.

Ayrıca yangın verileri ile arazi örtüsü, eğim, bakı, yükseklik ve solar radyasyon arasındaki ilişkileri de incelemişlerdir. Oom ve Pereira (2013), tüm dünya çapında meydana gelen yangınların mekânsal dağılımlarını incelemişlerdir. MODIS uydu platformu tarafından tespit edilen orman yangınları verilerini kullanarak tüm dünya çapında meydana gelen yangınların Anselin Yerel Moran's I tekniği ile analizlerini gerçekleştirerek mekânsal dağılımlarını belirlemişlerdir. Bae vd. (2015), çalışmalarında Kore'nin Gyeonsangnam-do şehrinde 2007 - 2014 yılları arasında meydana gelmiş olan yangın verilerini incelemişlerdir. Yangınlar sonucunda meydana gelen can ve mal kaybı hasarını mekânsal olarak analiz etmiş ve Global Moran's I ve Getis Ord Gi\* tekniklerini kullanarak kümelenme dağılımlarını belirlemişlerdir. Zúñiga-Vásquez vd. (2017), çalışmalarında Meksika'da 2005 - 2015 yılları arasında meydana gelen yangınların mekânsal kümelenmelerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Ulusal Orman Komisyonu (National Forest Commission, CONAFOR) ve MODIS verilerini kullanmışlardır. Her iki veri kümesi için uyguladıkları kümeleme analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Chen ve Yang (2018), Tayvan'ın güneyinde bulunan Tainan şehrindeki yangınların mekânsal analizini gerçekleştirmişlerdir. Yangınların kümelenmiş bir modele sahip olup olmadıklarını belirlemek için Moran's I ve ortalama en yakın komşu analizini kullanmışlardır. Ayrıca yangınların sıcak ve soğuk noktalarının nerelerde olduğunu haritalayabilmek için Getis Ord Gi\* analizinden faydalanmışlardır. Çolak ve Sunar (2020a, 2020b), İzmir'in Menderes bölgesinde meydana gelen yangınlara ait yangın risk haritalarını uydu görüntülerinden faydalanarak oluşturmuşlardır. Oluşturdukları risk haritalarını MODIS ve VIIRS uydularından elde edilen yangın verileri ile karşılaştırarak çalışmalarının validasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Zahran vd. (2020), Brunei Darussalam'da 2007 - 2016 yılları arasındaki yangınların mekânsal analizini gerçekleştirmişlerdir. Yangınların analizleri için Kernel Density Estimation, Anselin Yerel Moran's I ve Getis Ord Gi\* tekniklerini kullanmışlardır. Coşkuner (2022) çalışmasında MODIS ve VIIRS uyduları yardımıyla Türkiye'de tespit edilen yangınların doğruluk performansını incelemiştir. Uydular tarafından tespit edilen yangınları, boyutları ve arazi örtüsü/kullanımı verileri ile karşılaştırarak doğruluk çıkarımında bulunmuştur. İban ve Şekertekin (2022), makine öğrenmesi yöntemleri yardımıyla hazırladıkları Adana ve Mersin illerine ait yangın duyarlılık haritalarının oluşturulması çalışmalarında MODIS yangın verilerinden faydalanmışlardır.

Bu çalışma ile Türkiye'deki 21 yıllık bitki örtüsü yangınlarının mekânsal analizi ve geçen süreç içerisinde meydana gelen yangınların mekânsal örüntüleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu zamana kadar yapılmış benzer çalışmalarda yerel alanlar çalışılmıştır. Özellikle son yıllarda yaz aylarında meydana gelen orman yangınları ile gündemde olan Ege ve Akdeniz'in yerel bölgelerinde benzer çalışmalara rastlamak mümkündür. Ancak literatürde tüm ülke çapında ki yangınların mekânsal olarak analizinin yapıldığı, yangın örüntülerinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, 2000 - 2021 yılları arasında Türkiye sınırları içerisinde meydana gelen 10295 adet bitki örtüsü yangınının mekânsal istatistik yöntemlerle incelenerek yerel ve genel örüntülerinin belirlenmesi ve mekânsal analizinin yapılmasıdır. Oluşturulan yangın veri setine yoğunluk analizi, Global Moran's I, Getis-Ord Gi\* Hot Spot Analizi ve Anselin Yerel Moran's I Kümeleme analizi işlemleri gerçekleştirilerek mekânsal örüntülerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler ile elde edilen sonuçlar yardımıyla grafik haritalar üretilmiş ve yorumlanarak sonuç ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Türkiye ülke sınırları seçilmiştir. Türkiye, Afrika, Asya ve Avrupa kıtaları arasında yerleşmiş ve bu üç kıta arasında jeopolitik olarak büyük öneme sahip bir ülkedir. Bundan dolayı birçok canlı türünün kıtalar arası geçişinin yaşandığı doğal bir köprü konumundadır. Bu yapı değişken arazi yapısıyla birleşince zengin bir bitki türü ve bitki toplumu çeşitliliğinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle 11000'e yakın bitki sınıfı doğal yayılışını Türkiye'de yapmakta ve bunların %35'i endemik olarak sınıflanmaktadır (Aksoy vd., 2014). Türkiye'de 5 ana bitki örtüsü tipi hâkimdir. Bunlar; Orman, Maki, Garig, Step ve Alpin tipleridir. Ülkemizde bulunan en önemli bitki örtüsü tiplerinin başında ormanlık alanlar gelmektedir. Değişik yapı ve özellikteki orman bitki örtüsü ülke alanının yaklaşık % 29.4'ünü oluşturur (OGM, 2021). Maki, Akdeniz bölgesindeki iklim şartlarına ve yetişme ortamına uyum sağlamış, sert yapraklı, sık dallı sürekli yeşil 2 m veya daha boylu çalılardan oluşan bitki topluluğudur. Garig (Frigana); Akdeniz flora alanında, toprağın çok taşlı ve sığ olduğu, çok kurak alanlarda antropojen etkilerle maki bitki örtüsünün yerini alan, 0,5-1 m boyunda olan bodur çalılardan oluşur. Step bitki örtüsünde çok yıllık, derin odunsu köklü yapıda, yastık oluşturan bitkiler yaygındır. İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin en önemli bitki örtüsü tipidir. Alpin bitki örtüsü, yüksek dağlık kesimlerdeki orman ve ağaç sınırında 1700 - 1800 m'den sonra yastık çalılırları ile otsu bitkilerden oluşur. Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu ve özellikle Doğu Karadeniz bölgesindeki yüksek dağlarda, orman sınırından dağların en yüksek kademelerine kadar yayılmaktadır. Türkiye'nin ana vejetasyon tipleri dışında, Anadolu ve Trakya, değişken jeomorfolojik yapıdan ve coğrafik özelliklerinden kaynaklanan, biyolojik çeşitlilik bakımından zengin, nadir özel habitatları içinde barındıran bitki örtüsü tiplerine sahiptir. Bunlar; Longoz, Halofitik, Kıyı kumulları, Kayalık, Riparian, Jipsli alanlar ve Turbalık alanlardır (Aksoy vd., 2014).

Türkiye’de iklim tipi olarak üç farklı türe rastlanmaktadır. Genel anlamda Ege ve Akdeniz kıyılarında Akdeniz iklimi, Karadeniz kıyılarında bir ılıman okyanus iklim tipi olan Karadeniz iklimi ve İç Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri gibi iç kesimlerde karasal iklim görülmektedir. Özellikle Akdeniz çevresinde bulunan ülkelerde son yıllarda artış gösteren yangınların en büyük sebebi olarak iklim değişikliği gösterilmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak sıcak hava dalgalarının sıklığının ve şiddetinin artması sonucunda bitki örtüsü yangınlarının görülme sıklığı da artmıştır. İklim değişikliği nedeniyle aşırı kurak koşullara maruz kalan bitki örtüsü içerisindeki nem miktarının iyice azalması daha kolay yanıcı hale gelmesi sonucunu doğurmaktadır (Sarı, 2022; Tavşanoğlu, 2021; Tüfekçioğlu vd., 2022).

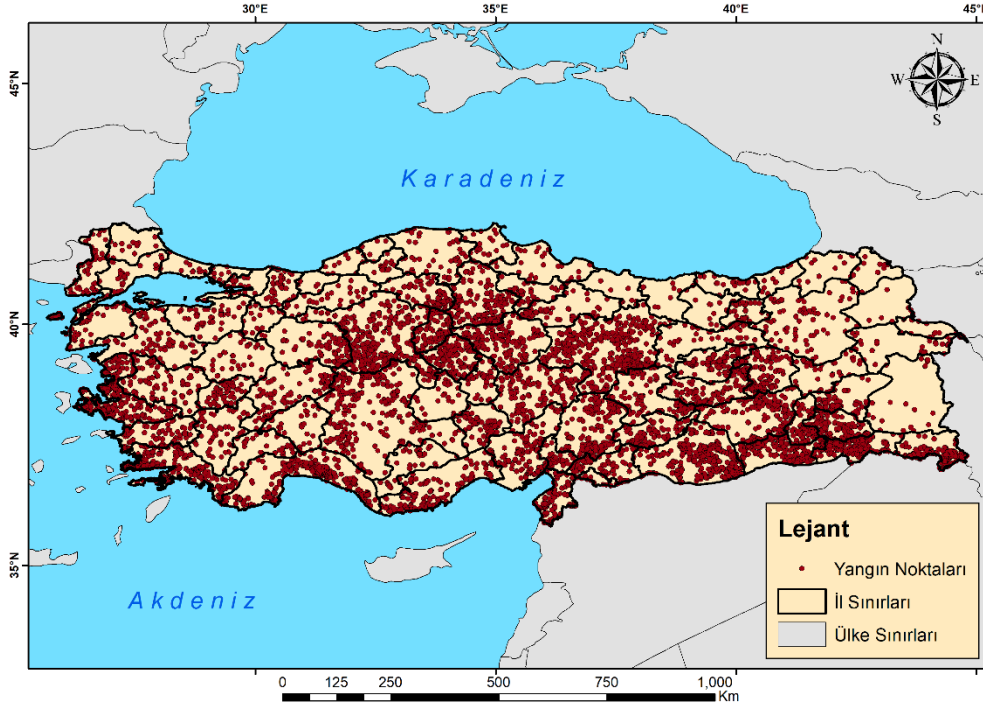
## 2.2 Veriseti

Çalışmada NASA tarafından kontrol edilen Fire Information for Resource Management System (FIRMS) servisinin MODIS platformunun Terra ve Aqua uyduları tarafından tespit edilmiş 11 Kasım 2000’den 31 Aralık 2021 tarihine kadar meydana gelen yangın verileri veri seti olarak kullanılmıştır. MODIS, yangın gözlemi için tasarlanmış spektral ve radyometrik özelliklere ve 1 km'lik konumsal çözünürlüğe sahip uzaktan algılama platformudur. MODIS platformu algılama işlemi, yangınlardan gelen güçlü orta kızılötesi radyasyondan yararlanarak (4 – 11 µm elektromanyetik spektrum kanallarından) elde edilen parlaklık sıcaklıklarına dayanan, daha küçük ve soğuk yangınlara duyarlılığı artıran ve yanlış alarmların oluşumunu azaltan bağlamsal bir algoritma kullanarak gerçekleştirir (Fornacca vd., 2017; Giglio vd., 2016, Giglio vd., 2018; İban ve Şekertekin, 2022; Oom ve Pereira, 2013).

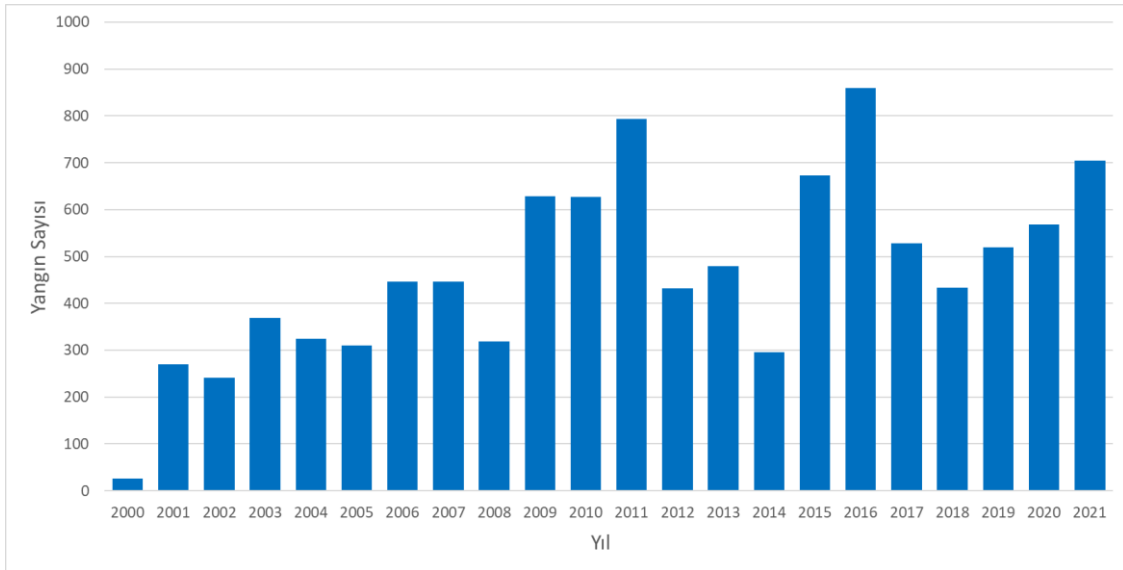
Veri seti içerisindeki tablo bilgilerinde; yangının konumu, Kelvin değeri cinsinden sıcaklık değeri, verinin elde edildiği gün ve saat bilgisi, hangi uydudan elde edildiği, verinin yüzde cinsinden güven (confidence) değeri, megawatt cinsinden yangın ışınimsal güç (fire radiative power) değeri, yangının türü ve gece veya gündüz meydana geldiği bilgisi bulunmaktadır. Coşkuner (2022) ve Giglio vd. (2016), çalışmalarında NASA-FIRMS tarafından yayınlanan MODIS yangın verilerinin çok büyük bölümünün tarım alanlarından yanlış alarm olarak geldiğini ve yanlış değerlendirildiklerini belirtmektedirler. Bu nedenle çalışmada kullanılan yangın verileri için 4 aşamalı bir filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yangın verileri ilk olarak tablo bilgilerinde bulunan yangın türü varsayılan bitki örtüsü yangınına (type=0) göre filtrelenmiştir. İkinci ve en önemli filtreleme işlemi olarak; yangın verileri CORINE 2000, 2006, 2012 ve 2018 arazi örtüsü/kullanımı verilerinde bitki örtüsü sınıfları ile çakışmalarına göre filtrelenmiştir. Böylece tarım arazilerine (anız yangınları vb.) denk gelen yangın noktalarının eliminasyonu sağlanmıştır. Ayrıca bitki örtüsüne denk gelen yangın verileri de kendi içerisinde gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma işlemi CORINE arazi örtüsü verilerinde belirtilen ormanlık alanlara (311: Broad-leaved, 312: Coniferous, 313: Mixed, 323: Sclerophyllous ve 324: Transitional woodland shrub) ve otlak alanlara (321: Natural grassland, 322: Moors and heathland ve 333: Sparsely vegetated) göre yapılmıştır. Her bir CORINE verisine denk gelen aralıklardaki yangın verileri (2000 yılı CORINE verisi için 2000 - 2005 yılı, 2006 yılı CORINE verisi için 2006 - 2011 yılı, 2012 yılı CORINE verisi için 2012 - 2017 yılı ve 2018 yılı CORINE verisi için 2018 - 2021 yıllarına ait yangınlar) ormanlık ve otlak alanlara denk gelmelerine göre gruplandırılmıştır. Sonrasında Tablo 1’de gösterilen piksel güven sınıfları eşik değerlerinden nominal güven sınıfı ve üzeri (%30 ve üzeri) yangınların seçimi yapılmıştır. Son olarak ise özellikle Ege ve Akdeniz bölgesinde bulunan aynı tarihli ve benzer konuma kümelenmiş yangın noktaları yangın ışınimsal gücüne (FRP değeri) göre genelleştirilerek filtrelenmiştir. Filtreleme işlemi sonrası 22 yıllık süreç içerisinde Türkiye sınırları içerisinde 10,295 adet yangın nokta verisi veri seti olarak elde edilerek yapılan analizlerde kullanılmıştır (Şekil 1). Yangın sayılarının yıllara göre dağılımı ise Şekil 2’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Eşik değerlerine göre yangın piksel güven sınıfları

Aralık	Güven Sınıfı
$\% 0 \leq C < \% 30$	Düşük
$\% 30 \leq C < \% 80$	Nominal
$\% 80 \leq C \leq \% 100$	Yüksek



Şekil 1. Çalışma alanı ve yangın nokta konumları

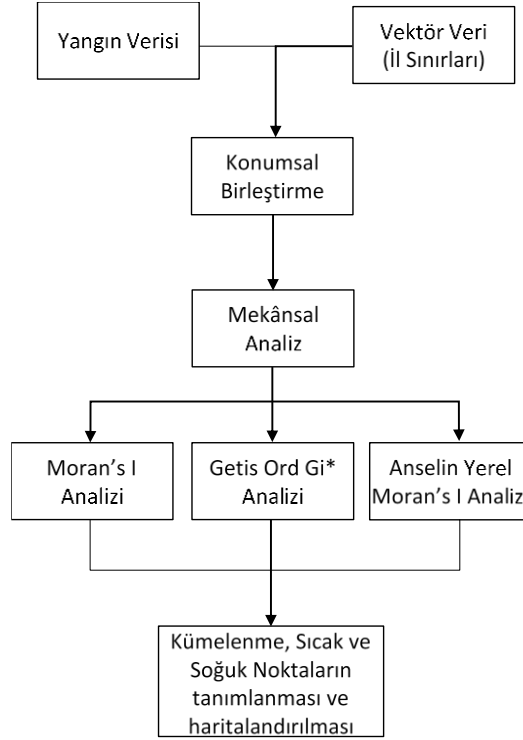


Şekil 2. Yıllara göre yangın sayıları

### 2.3 Yöntem

Mekânsal otokorelasyon bir konumda bulunan veri noktasının komşu konumlarda bulunan veriler ile bağımlı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. Mekânsal otokorelasyon pozitif ya da negatif olabilir. Pozitif değerler komşu konumlardaki özelliklerin doğrusal olarak birbirlerini etkilediğini gösterirken (kümelenme), negatif değerler ise komşu konumlardaki özelliklerin ters olarak birbirlerini etkilediğini (dağılma) göstermektedir (Erdoğan, 2010). Çalışmada ilk olarak illere göre bitki örtüsü yangınlarının dağılımları ve yoğunlukları tespit edilmiştir. Yangın verileri yıl yıl tablolar şeklinde indirildikten sonra birleştirilmiş ve konum bilgilerinden yararlanılarak tüm yangın bilgilerini içeren tek bir özellik sınıfına aktarılmıştır. Filtreleme işlemi sonrasında yangın noktaları ve il sınırları vektör verisi, ortak bir projeksiyona sahip olabilmesi için dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş ve her bir il için yangın yoğunluk değeri hesaplanmıştır.

Yangın yoğunlukları belirlendikten sonra meydana gelen bu yangınlar arasında mekânsal korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için Moran's I yöntemi kullanılmış ve yangınlar arasındaki örüntüler tespit edilmiştir. Moran's I yöntemi hem özellik konumlarına hem de özellik değerlerine göre mekânsal otokorelasyonu aynı anda ölçebilme yeteneğine sahiptir. Çalışma içerisindeki tüm analizlerde ArcGIS 10.7 yazılımından faydalanılmış ve uygulanan iş akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İş akış şeması

### 2.3.1 Moran's I Analizi

Moran's I analizi, veri seti olarak kullanılan noktaların genel uzamsal otokorelasyonunu ölçer ve veri noktaları arasındaki örüntüleri tanımlayama yardımcı olur. Analiz belirli bir nokta örüntüsü için konumsal otokorelasyon veya dağılım derecesini göstermektedir (Affan vd., 2016; Al-Ahmadi vd., 2013; Cheruiyot, 2022).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

$n$  toplam özellik sayısını,  $z_i$   $i$  inci özneliğin ortalama değerinden olan sapmayı,  $w_{ij}$   $i$  ve  $j$  inci değerler arasındaki konumsal ağırlığı ve  $S_0$  tüm ağırlık değerlerinin toplamını temsil etmektedir.

Moran yönteminde I indeks, z skoru ve p değerleri hesaplanır. Hesaplanan I indeks değeri -1 ile +1 arasında değer alabilir. z skoru ve p değeri sıfır hipotezinin mekânsal rasgele modelini reddetme olasılığını belirlemek için kullanılırlar. -2.58'den küçük veya 2.58 den büyük çıkan z skoru ile %99'un üzerinde 0.01 güven düzeyine sahip p değeri sıfır hipotezinin reddedildiğini ve verilerin kümelendiğini göstermektedir.

Analiz yöntemi veri noktalarının kümelenme, dağınık ve rasgele olma durumunu belirler. Eğer Moran's I indeks değeri sıfırdan büyükse (pozitif değerler), veri noktaları kümelendi. Eğer indeks değeri sıfırdan küçükse (negatif değerler), veri noktaları dağınık durumdadır. Eğer indeks değeri sıfıra çok yakın veya sıfırsa, veri noktaları rasgele dağılmıştır (Chen ve Yang, 2018; Cheruiyot, 2022; Ohshima vd., 2022).

### 2.3.2 Getis-Ord Gi\* yöntemi

Bu yöntem Art Getis and Keith Ord tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Getis-Ord Gi\* yöntemi özelliklerin tam uzamsal rastgelelik içinde yapılandırıldığı sıfır hipotezini reddetmek veya reddetmemek için z-skorlarını ve p değerlerini tahmin eden bir analiz yürütmektedir.



Yöntem ile birlikte istatistiksel olarak hesaplanan z skoru ne kadar büyük ise veri seti içerisinde bulunan yüksek değerler o derecede kümelenmişlerdir. Öte yandan hesaplanan z skoru ne kadar küçükse veri setindeki düşük değerler o oranda fazla kümelenmişlerdir (Feng vd., 2018; Rossi ve Becker, 2019; Zhang vd., 2022). Hesaplanan  $G_i^*$  değeri sıfıra yaklaştığında hesaplanan özelliğin komşuluğunda yüksek veya düşük değerlerin olmadığından bahsedilebilir.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (2)$$

$x_j$  veri setindeki  $j$  inci özelliğin değerini,  $w_{i,j}$ ,  $i$  inci ve  $j$  inci veri noktaları arasındaki konumsal ağırlık değerini ve  $S$  ise standart sapmayı tanımlamaktadır.

### 2.3.3 Anselin Yerel Moran's I Analizi

Moran's I yöntemi genel ölçekli olup veri setinin genel dağılımının konumsal bağımlılık düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Ancak veri seti içerisinde dağılımın hangi bölgelerde kümelenmiş yerel olarak belirlenmemektedir. Anselin Yerel Moran's I yöntemi değişkenlerin birbirine benzeyip ve benzemediğini belirlemek için kullanılan yerel bir yöntemdir. Yerel Moran's I işleminden elde edilen sonuçlar, atanan sınıfının çözüm alanı içindeki her gözlemin konumunu görüntüleyen bir Moran dağılım grafiğinde görselleştirilir. Dağılım grafiği içinde, Yerel Moran's I değeri, her kategorinin iki boyutlu çözüm uzayı içindeki  $i$ . gözleminin göreceli konumunu tanımlar. Tüm Moran's I değerlerinin belirli bir güven düzeyi içerisinde uzamsal ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için her nokta için bir anlamlılık testi hesaplanmaktadır. Pozitif bir değer alan Yerel Moran's I değeri, komşu noktalar ile benzer şekilde yüksek veya düşük değerlere sahip olan konumu ifade etmektedir. Bu konum uzamsal küme olarak adlandırılır. Öte yandan, negatif bir yerel Moran's I değeri, çevresindeki konumların değerlerinden farklı olan potansiyel bir uzamsal aykırı değeri göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen Z skoru değeri istatistiksel anlamlılık hakkında bilgi vermektedir (Anselin, 1995; Bone vd., 2013; Yakar, 2011; Yuan vd., 2018). Anselin Yerel Moran's I aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (3)$$

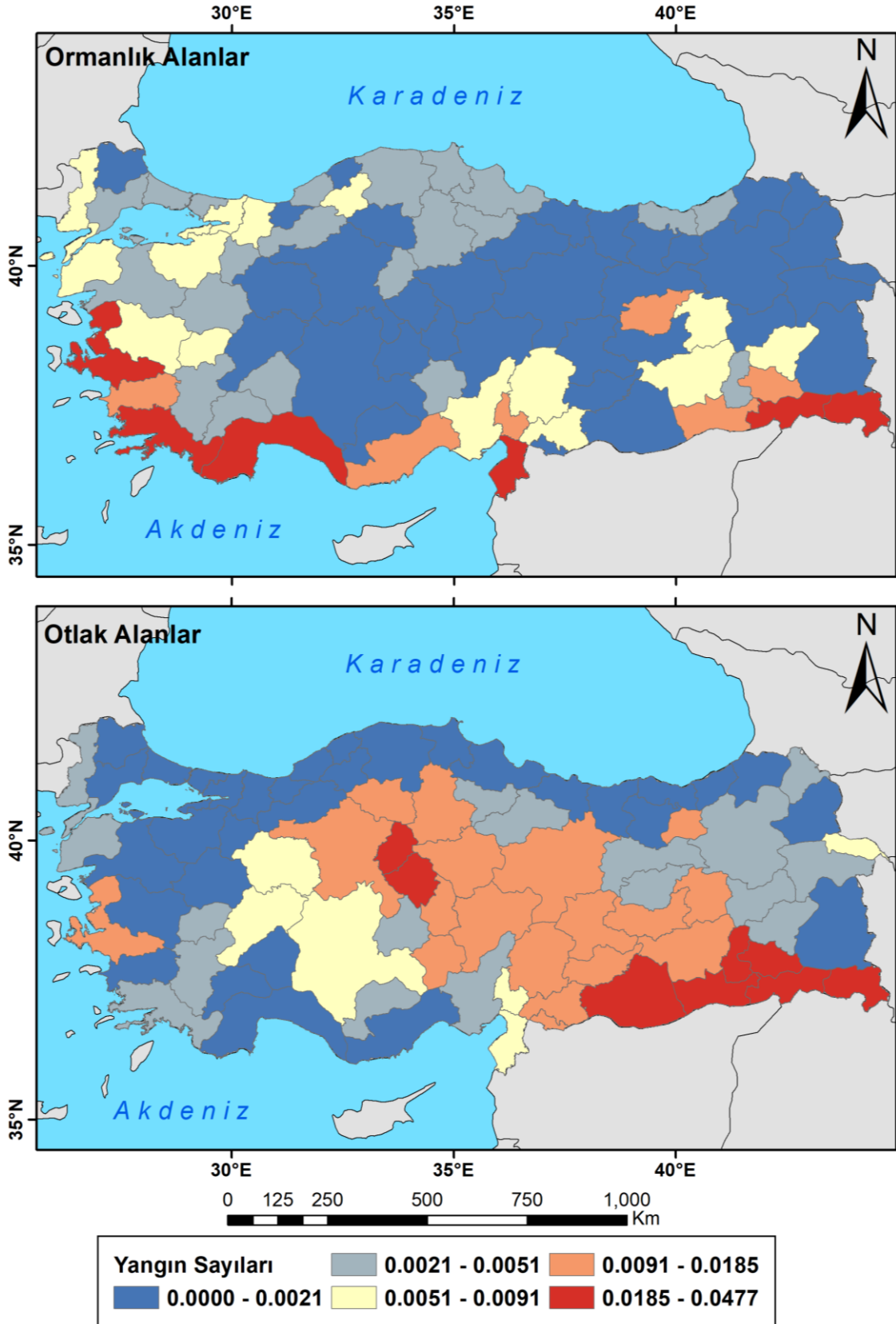
$x_i$  veri setindeki  $i$ . özelliğin değeri,  $\bar{X}$  ilgili değerlerin ortalaması (deprem büyüklüklerinin ortalaması),  $w_{i,j}$ ,  $i$  inci ve  $j$  inci veri noktaları arasındaki ağırlık değerini temsil etmektedir.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n-1} \quad (4)$$

buradaki  $n$  toplan özellik sayısını temsil etmektedir. Farklı komşuluk kriterlerine bağlı olarak tanımlanabilen ve tüm noktalar arasındaki rölatif konum ölçüsünü veren bir konumsal ağırlık matrisi olarak düşünülebilir.

## 3. Bulgular

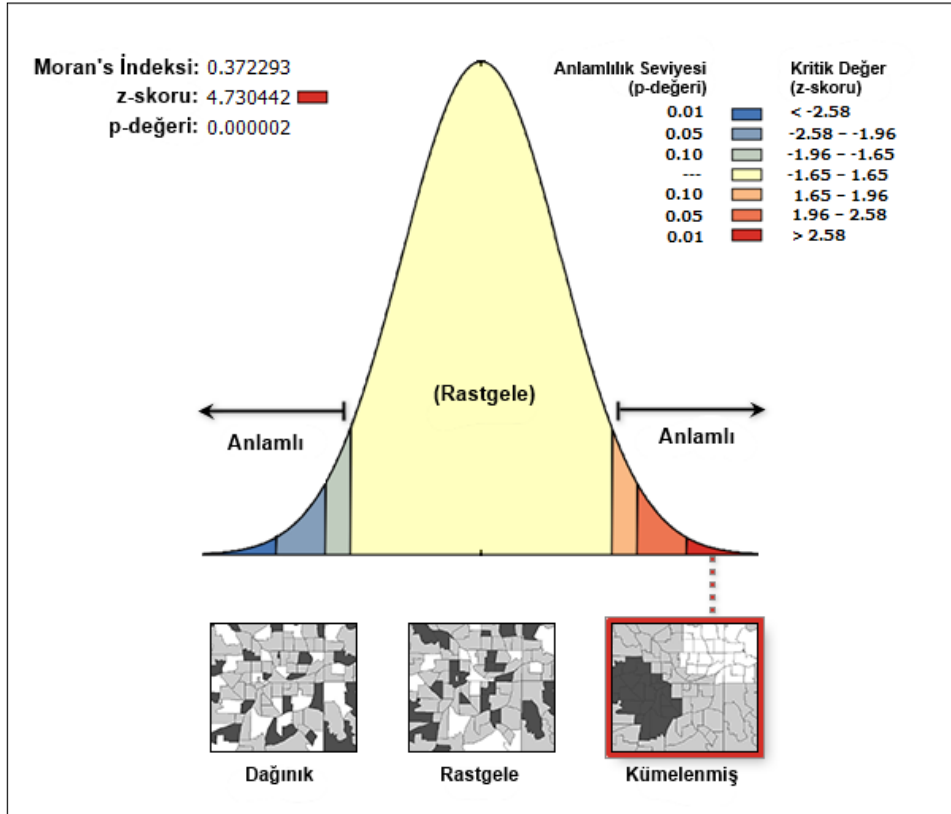
Ormanlık ve otlak alanlara ait yangın verisi ile il sınırlarına ait veri konumsal olarak birleştirilerek (spatially join) hangi ilde kaç adet hangi tür yangının meydana geldiği tespit edilmiştir. İl sınırları içerisine düşen yangın sayılarının belirlenmesinden sonra her bir yangın sayısı ilin yüzölçümü ile normalize edilerek yangın yoğunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Şekil 4'te ormanlık alanlara ait yangın sayıları haritası incelendiğinde en yoğun ormanlık alan yangınına maruz kalan iller Antalya, Muğla, İzmir, Hatay, Şırnak ve Hakkâri olduğu görülmektedir. Orman yangınlarının genellikle Akdeniz ormanlarının bulunduğu sahil şeridindeki illerde yoğunlaştığı görülmektedir. Otlak alanlara ait yangın sayıları incelendiğinde ise en yoğun otlak alanlar yangınına maruz kalan iller Şanlıurfa, Mardin, Batman, Siirt, Şırnak, Hakkâri, Kırıkkale ve Kırşehir olarak sıralanmaktadır. Ayrıca otlak yangınları haritası incelendiğinde genel olarak İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde yoğunluk olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 4. İllerin ormanlık (üst) ve otlak (alt) alanlara göre yangın sayısı dağılımları

Veri seti içerisinde bulunan özelliklerin kümelenmiş, dağılmış ve rastgele olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. Yukarıda oluşturulan yoğunluk haritasındaki değerler kullanılarak gerçekleştirilen Moran's I analizinin sonucu Şekil 5'te gösterilmektedir.



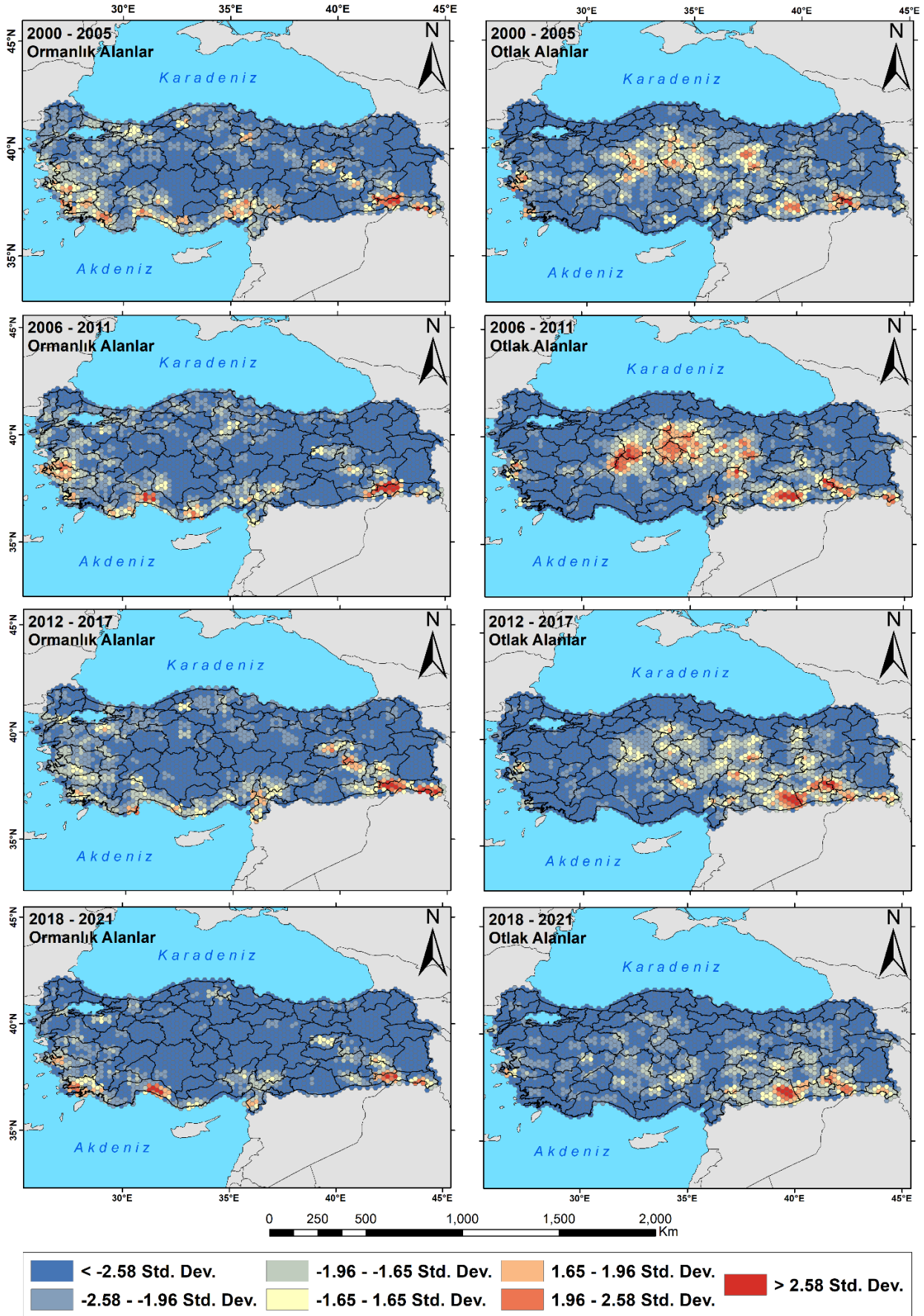


Şekil 5. Moran's I indeks değerleri

Yapılan analiz sonucunda Moran's indeks değeri 0.372293 olarak belirlenmiştir. Moran's I indeks değerinin sıfırdan yüksek çıkması +1 değerine yakın olduğunu ve kullanılan veriler arasında mekânsal otokorelasyonun bulunduğunu göstermektedir. Analiz sonucunda z skoru ise 4.730442 olarak hesaplanmıştır. z skorunun kritik değerden yüksek çıkması verilerin kümelendiğini göstermektedir.

Moran's I analizi ile verilerin kümeleneip kümelendiğinin belirlenmesinden sonra Getis Ord Gi\* analizi gerçekleştirilerek çalışma alanı içerisindeki sıcak ve soğuk noktalar belirlenmiştir. İlk olarak Türkiye sınırları konumsal ölçekteki sorunlarla başa çıkmak için altigenlere (hexel) bölünmüştür. Altigen şekil, veri dağılımını daha doğru bir şekilde modellemesi, dikdörtgen modellere göre daha az belirsizlik içermesi ve verilerin görsel olarak anlaşılması için temel bir altlık sağlaması nedeniyle seçilmiştir (Aftergood ve Flannigan, 2022). En uygun altigen boyutunu bulmak için çeşitli ön analizler (komşuluk analizleri vb.) gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön analizler sonucunda 25 km'lik altigen boyutunun gerçekleştirilecek mekânsal analizler için en uygun boyut olduğuna karar verilmiştir. Boyut belirlendikten sonra çalışma alanında altigen vektör ızgarası oluşturulmuş ve her bir altigenin içerisine düşen yangın nokta sayısı belirlenmiştir. Getis-Ord Gi\* sıcak ve soğuk nokta analizi ile Anselin Yerel Moran's I analizleri için oluşturulan altigen vektör ızgara verisi kullanılmıştır.

Getis Ord Gi\* yöntemiyle oluşturulan haritalar Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'da sol sütunda bulunan haritalar ormanlık alanların, sağ sütunda bulunan haritalar ise otlak alanların farklı dönemlere göre sıcak ve soğuk noktalarını göstermektedir. Buna göre ormanlık alanlardaki sıcak noktalar yoğunlukla Ege ve Akdeniz sahil şeridi ile Şırnak ili genelinde gözlemlenmektedir. Özellikle 2006 - 2011 ve 2018 - 2021 yılları arasında Antalya'da meydana gelen büyük çaplı orman yangınları sebebiyle bu bölgedeki sıcak noktaların varlığında atış göze çarpmaktadır. 21 yıllık süreç içerisinde Güneydoğu Anadolu bölgesindeki özellikle Şırnak ve Hakkâri'deki sıcak nokta örüntülerinin son yıllarda azalma eğiliminde olduğu, buna karşın Akdeniz bölgesindeki yangınların özellikle Muğla, İzmir ve Antalya'da meydana gelen yangınların ise artış gösterdiği görülebilmektedir. Belirtilen bu gölgelerin dışında çeşitli lokal küçük bölgelerde de (Bursa, Sakarya ve Tunceli gibi) sıcak noktalardan söz etmek mümkündür. Otlak alanlar incelendiğinde ise sıcak noktaların genellikle İç Anadolu ile Güneydoğu Anadolu bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. 2000 - 2011 yılları arasındaki dönemde otlak alan yangınlarına ait sıcak noktaların Ankara'nın güneyi ile Konya'nın kuzeyinde, Kırıkkale, Kırşehir ve Yozgat genelinde, Şanlıurfa, Şırnak, Siirt, Batman ve Hakkâri genelinde yoğunlaştığı görülmektedir. 2011 yılı sonrasında ise otlak alan yangınları İç Anadolu bölgesindeki etkinliğini azalttığı, ancak Güneydoğu Anadolu bölgesinde (özellikle Şanlıurfa'da) devamlılık gösterdiği görülmektedir. Yukarıda bahsedilen alanların dışında kalan alanlar, her iki bitki örtüsü tipi yangını içinde soğuk noktalar olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Getis Ord Gi\* yöntemine göre ormanlık ve otlak alanlarda oluşan sıcak ve soğuk noktalar

Son olarak Anselin Yerel Moran's I yöntemi ile Kümelenme ve Aykırı Değer Analizi (Cluster and Outlier Analysis) gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde veri seti içerisindeki birbirine benzeyen ve benzemeyen değişkenlerin durumları incelenmektedir. Bitki örtüsü yangını gibi veri setleri incelenirken bu yöntem, yangın faaliyetlerinin düşük olduğu alanlarla çevrili yüksek yangın faaliyeti olan alanların veya bunun tam tersinin bulunmasına yardımcı olan etkili bir araçtır. Anselin Yerel Moran's I analizleri sonucunda ormanlık ve otlak alanlar için oluşturulan haritalar Şekil 7'de gösterilmektedir. Kırmızı ve mavi olan bölgeler aykırı (Outlier) değerlerdir. Mavi olan bölgeler, yangın aktivitesinin yüksek olduğu alanlara yakın olan düşük yangın faaliyet bölgelerinin temsil etmektedir. Analiz sonrasında mavi renkli bölgelerin, yani yüksek yangın yoğunluğuna komşu düşük yangın yoğunluğu noktalarının, orman yangınları için özellikle Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunduğu görülmektedir. Otlak alanlar için ise mavi bölgeler genellikle İç ile Güneydoğu Anadolu bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kırmızı renk orman yangını aktivitesinin düşük olduğu bölgelerin yakınında, yüksek orman yangın faaliyeti olan bölgeleri göstermektedir. Türkiye'de her iki bitki örtüsü tipi için bu sınıfa giren kümelenmiş olmasa da, çeşitli alanların varlığı tespit edilmiştir. Güneydoğu Anadolu bölgesi hariç her bölgede bu sınıfa giren alanların var olduğu görülmektedir. Şekil 7'ye göre pembe renk ile gösterilen yüksek yangın faaliyetlerinin yanında yine yüksek yangın faaliyetinin olduğu alanlar, ormanlık alanlar için İzmir, Muğla, Şırnak ve Hakkâri illerinde kümelenildiği görülmektedir. Otlak alanlar için ise Ankara, Kırşehir, Kırıkkale, Çorum, Şanlıurfa, Batman, Şırnak ve Hakkâri'de kümelenmeler gösterdiği tespit edilmiştir. Turkuaz renk ile temsil edilen düşük yangın faaliyetlerinin yanında yine düşük yangın faaliyetlerinin ise Türkiye'nin herhangi bir yerinde görülmediği tespit edilmiştir (Şekil 7).

#### 4. Tartışma

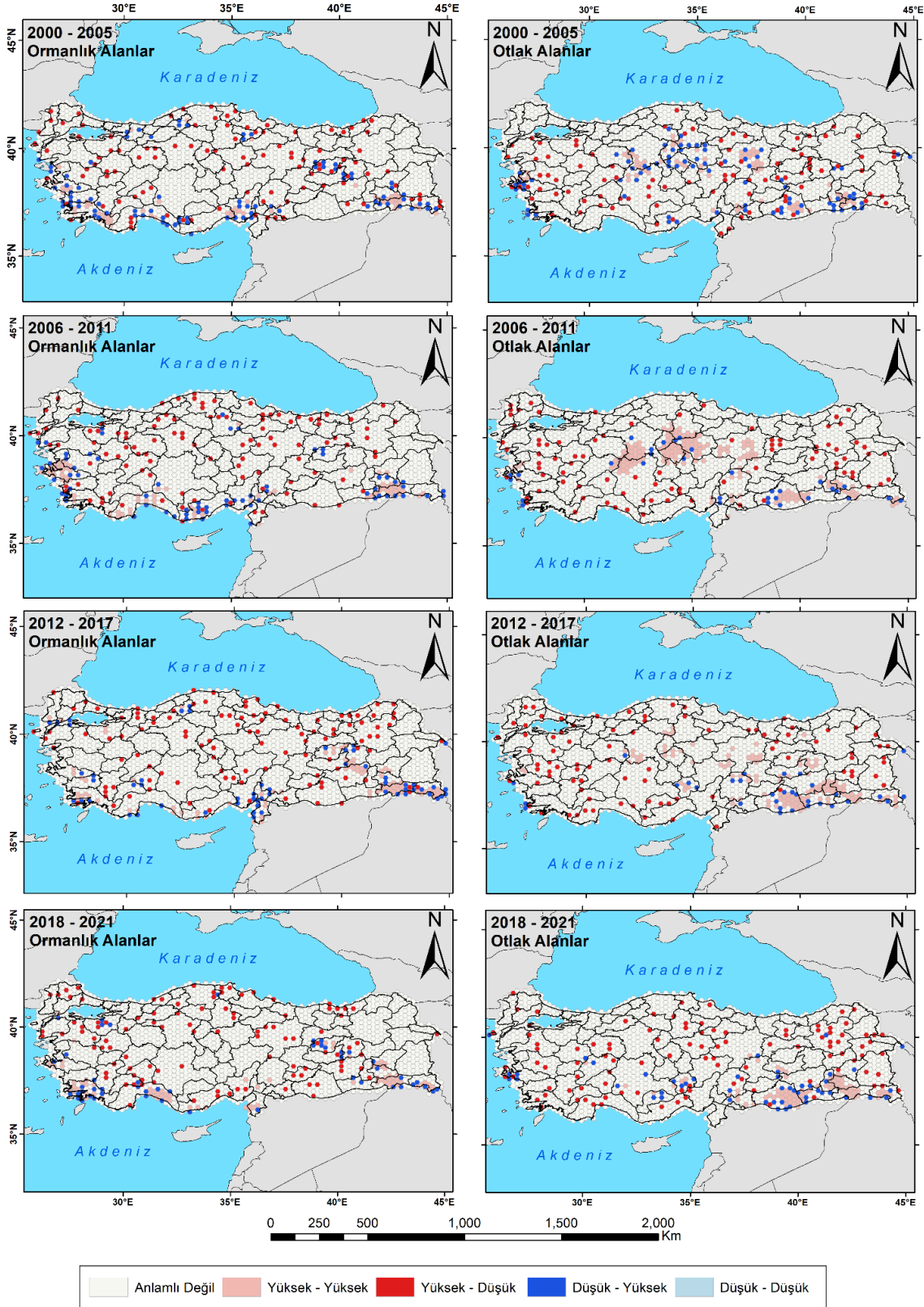
2000-2021 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen bitki örtüsü yangınlarının mekânsal otokorelasyonunu ve kümelenmelerini incelemek için bu çalışmada Moran's I, Getis-Ord  $G_i^*$  ve Anselin Yerel Moran's I analizleri kullanılmıştır. Oom ve Pereira (2013), çalışmalarında Moran's I analizinin pozitif değerlerine göre MODIS yangın verilerinin yüksek mekânsal otokorelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Barreal ve Loureiro, (2015), Moran's I ve LISA istatistiklerini kullanarak Galiçya orman yangınlarının oluşumundaki mekânsal bağımlılığı ortaya çıkarmıştır. Karabacak vd. (2019), Antalya'da meydana gelen yangınların mekânsal otokorelasyonlarını Moran's I ve Anselin yerel Moran's I yöntemleri ile inceleyerek risk analizi gerçekleştirmişlerdir. Mevcut çalışmada da yangın verilerinin otokorelasyonları Moran's I analizi ile araştırılmış ve verilerin diğer çalışmalarda olduğu gibi kümelenildiği, yani mekânsal otokorelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Mekânsal otokorelasyon bilgisi elde edildikten sonra bu kümelerin bölgeleri incelenmiş ve Getis-Ord  $G_i^*$  yöntemi ile sıcak ve soğuk nokta bölgeleri altıgen (hexel) vektör ızgara formuyla incelenmiştir. Aftergood ve Flannigan (2022), Bae vd. (2015), Chen ve Yang (2018), Duran (2014), Gajovic ve Todorovic (2013), Ma vd. (2022) ve Visner vd. (2021) Getis Ord  $G_i^*$  sıcak nokta analizini kullanarak bu yöntemin orman yangınlarının analizinde kullanılabilirliğini göstermiştir. Son olarak Anselin Yerel Moran's I yöntemi kullanılarak yerel otokorelasyonlar belirlenmiştir. Bu analize göre, çalışma alanında yangın yoğunluğunun yüksek olduğu ve bunun tersi olan alanların çevresinde yüksek ve düşük yoğunluklu alanlar belirlenmiştir. Gajovic ve Todorovic (2013), Gayır ve Arslan (2018) ve Karabacak vd. (2019) bu çalışma gibi yerel ölçekte yangın kümelerinin birbirlerine davranışlarını incelemek için bu yöntemi uygulamışlardır. Kullanılan analiz teknikleri sonucunda meydana gelen yangınların kümelenildiği ve aralarında konumsal bir ilişkinin var olduğu literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da tespit edilmiştir.

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada 2000 ile 2021 yılları arasında Türkiye'de ormanlık ve otlak bitki örtüsü alanlarında meydana gelen yangınların mekânsal analizi ve otokorelasyonları incelenmiştir. Çalışmada veri seti olarak MODIS uzaktan algılama platformunun Aqua ve Terra uyduları ile tespit edilmiş olan 10295 adet bitki örtüsü yangını veri seti olarak kullanılmıştır. Veri setini analiz etmek için çeşitli mekânsal istatistik araçları kullanılmıştır. Bunlar; Moran's I mekânsal otokorelasyon analizi, Getis-Ord  $G_i^*$  analizi, Anselin Yerel Moran's I analizidir.

CBS ve UA afetlerin izlenmesinde birlikte kullanılması etkin, doğru ve hızlı sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. CBS ve UA sistemlerinin yangınlar üzerinde birlikte kullanılması olumsuz ve zaman zaman yıkıcı sonuçlar doğuran bu doğal afet türüne karşı önlem alabilmek adına gerekli olan iki araçtır. CBS ile konumsal olarak analiz edilen yangınların örüntülerinin belirlenmesi; – hangi yönde yayılım gösterdiği, meydana gelme periyodu vb.– yapılacak olan afet planlama ve yönetimi çalışmalarında karar vericilere önemli bir bilgi kaynağı oluşturacaktır. Geleceğe yönelik alınacak kararlarda ortaya çıkarılan sonuçlar doğrultusunda adımlar atmak yangın riski bakımından yüksek olan bölgeler üzerinde yaşayanlar için olası zararların azaltılması açısından önemli olacaktır.





Şekil 7. Anselin Yerel Moran's I analizine göre ormanlık ve otlak alanlara ait kümelenme ve aykırı değerler

## Teşekkür

Yazar, MODIS platformunun Terra ve Aqua uyduları ile yangın noktasal verilerini sağlayan NASA FIRMS servisine teşekkür eder.

## Kaynaklar

- Affan, M., Syukri, M., Wahtuna, L., & Sofyan, H. (2016). Spatial Statistic Analysis of Earthquakes in Aceh Province Year 1921-2014: Cluster Seismicity. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(2), 54-62.
- Aftergood, O. S. R., & Flannigan, M. D. (2022). Identifying and analyzing spatial and temporal patterns of lightning-ignited wildfires in Western Canada from 1981 to 2018. *Canadian Journal of Forest Research*, 52, 1399-1411.
- Aksoy, N., Tuğ, G. N., & Eminağaoğlu, Ö. (2014). Türkiye'nin Vejetasyon Yapısı. In Ü. Akkemik (Eds.), *Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları-I* (pp. 54-68), Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A., & See, L. (2013). A Spatial Statistical Analysis of the occurrence of earthquakes along the Red Sea floor spreading: Clusters of Seismicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2893-2904.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
- Arca, D., Hacısalıhoğlu, M., & Kutoğlu, H. (2020). Producing forest fire susceptibility map via multi-criteria decision analysis and frequency ratio methods. *Natural Hazards*, 104(1), 73-89.
- Arslantürk, N. (2007). Yangının vejetasyon üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 29(2), 141-153.
- Bae, G., Jung, Y., & Yoo, H. (2015). An analysis on the characteristics of spatial clustering distribution in the urban fire of Gyeongsangnam-do, Korea. In *ACRS 2015 - 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, 2015. Proceedings*. (pp. 4597-4603). Asian Association on Remote Sensing.
- Barreal, J., & Loureiro, M. L. (2015). Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *Forest Systems*, 24(2), e022. doi: 10.5424/fs/2015242-05713.
- Bone, C., Wulder, M. A., White, J. C., Robertson, C., & Nelson, T. A. (2013). A GIS-based risk rating of forest insect outbreaks using aerial overview surveys and the local Moran's I statistic. *Applied Geography*, 40, 161-170.
- Busico, G., Giuditta, E., Kazakis, N., & Colombani, N. (2019). A hybrid GIS and AHP approach for modelling actual and future forest fire risk under climate change accounting water resources attenuation role. *Sustainability*, 11(24), 7166. doi: 10.3390/su11247166.
- Chen, C. Y., & Yang, Q. H. (2018, March). Hotspot analysis of the spatial and temporal distribution of fires. In *4th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2018)*. Proceedings. (pp. 15-21).
- Cheruiyot, K. (2022). Detecting spatial economic clusters using kernel density and global and local Moran's I analysis in Ekurhuleni metropolitan municipality, South Africa. *Regional Science Policy and Practice*, 14(2), 307-327.
- Çetin, M., Isik Pekkan, Ö., Ozenen Kavlak, M., Atmaca, I., Nasery, S., Derakhshandeh, M., & Cabuk, S. N. (2022). GIS-based forest fire risk determination for Milas district, Turkey. *Natural Hazards*. doi: 10.1007/s11069-022-05601-7.
- Çolak, E., & Sunar, F. (2020a). Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, İzmir. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101479. doi: 10.1016/j.ijdrr.2020.101479.
- Çolak, E., & Sunar, F. (2020b). Spatial pattern analysis of post-fire damages in the Menderes District of Turkey. *Frontiers of Earth Science*, 14(2), 446-461.
- Coşkuner, K. A. (2022). Assessing the performance of MODIS and VIIRS active fire products in the monitoring of wildfires: a case study in Turkey. *IForest*, 15(2), 85-94.
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 1(1A), 38-49.
- Erdoğan, S. (2010). Epidemiyolojide CBS Uygulamaları: Konumsal Kümeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması-Menenjit Örneği. *Harita Teknolojileri Elektrik Dergisi*, 2(2), 23-31.
- Feng, Y., Chen, X., Gao, F., & Liu, Y. (2018). Impacts of changing scale on Getis-Ord Gi\* hotspots of CPUE: a case study of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific Ocean. *Acta Oceanologica Sinica*, 37(5), 67-76.
- Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2017). Performance of Three MODIS fire products (MCD45A1, MCD64A1, MCD14ML), and ESA Fire\_CCI in a mountainous area of Northwest Yunnan, China, characterized by frequent small fires. *Remote Sensing*, 9(11), 1131. doi: 10.3390/rs9111131.
- Gajovic, V., & Todorovic, B. (2013). Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000-2013. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 63(3), 297-312.
- Gayır, B., & Arslan, O. (2018). Orman Yangınlarının CBS Tabanlı Konumsal İstatistik Analizi: 2011 -2015 Yılları Arasında Muğla Orman Bölge Sınırları İçerisinde Çıkan Yangınlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 44-60.
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., & Justice, C. O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 217, 72-85.
- Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178(2016), 31-41.
- Gökkaya, K. (2022). Burned Area and Fire Severity Prediction of a Forest Fire Using a Sentinel 2-Derived Spectral Index

- in Çanakkale, Turkey. *Turkish Journal of Bioscience and Collections*, 6(2), 37-44.
- İban, M. C., & Sekertekin, A. (2022). Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS: A case study of Adana and Mersin provinces, Turkey. *Ecological Informatics*, 69, 101647. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101647.
- İban, M. C., & Şahin, E. (2022). Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in summer 2021. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 487-497.
- Karabacak, K., Türkşen, Ö., & Bayar, R. (2019, June). Spatial statistics analysis of forest fires in Antalya province. In *1st Istanbul International Geography Congress, 2019. Proceedings*. (pp. 615-630). Istanbul: Istanbul University Press.
- Ma, C., Pu, R., Downs, J., & Jin, H. (2022). Characterizing Spatial Patterns of Amazon Rainforest Wildfires and Driving Factors by Using Remote Sensing and GIS Geospatial Technologies. *Geosciences*, 12(6), 237. doi: 10.3390/geosciences12060237.
- Novo, A., Fariñas-álvarez, N., Martínez-Sánchez, J., González-Jorge, H., Fernández-Alonso, J. M., & Lorenzo, H. (2020). Mapping forest fire risk—a case study in Galicia (Spain). *Remote Sensing*, 12(22), 3705. doi: 10.3390/rs12223705.
- OGM. (2021, Kasım 2). *2020 Türkiye Orman Varlığı*. Retrieved from <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>
- Ohyama, T., Hanyu, K., Tani, M., & Nakae, M. (2022). Investigating crime harm index in the low and downward crime contexts: A spatio-temporal analysis of the Japanese Crime Harm Index. *Cities*, 130, 103922. doi: 10.1016/j.cities.2022.103922.
- Oom, D., & Pereira, J. M. C. (2013). Exploratory spatial data analysis of global MODIS active fire data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 326-340.
- Rossi, F., & Becker, G. (2019). Creating forest management units with Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi\*) over a forest affected by mixed-severity fires. *Australian Forestry*, 82(4), 166-175.
- Sarı, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118644
- Sarı, F. (2022). Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models. *Journal of Forestry Research*. doi: 10.1007/s11676-022-01502-4.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. doi: 10.1016/j.ecoinf.2021.101537.
- Tariq, S., ul-Haq, Z., Mariam, A., Mehmood, U., & Ahmed, W. (2022). Assessment of air quality during worst wildfires in Mugla and Antalya regions of Turkey. *Natural Hazards*, 115, 1235-1254.
- Tavşanoğlu, Ç. (2017). Yangın Coğrafyası: Vejetasyon Yangınlarının ve Ekolojik Sonuçlarının Alansal Dağılımı. *Kebikeç (İnsan Bilimleri İçin Kaynak Araştırmaları Dergisi)*, 43, 289-300.
- Tavşanoğlu, Ç. (2021). *Akdeniz Bölgesindeki Büyük Orman Yangınlarının Sebepleri ve Yangın Sonrası Yapılması Gerekenler*. Teknik Rapor, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Trucchia, A., Meschi, G., Fiorucci, P., Gollini, A., & Negro, D. (2022). Defining Wildfire Susceptibility Maps in Italy for Understanding Seasonal Wildfire Regimes at the National Level. *Fire*, 5(1), 30. doi: 10.3390/fire5010030.
- Tüfekçioğlu, İ., Ergan, G., Kaynaş, B., Aktepe, N., & Tavşanoğlu, Ç. (2022). Akdeniz iklim bölgesindeki alt yükselti orman ve çalılıklarında yangın sonrası hızlı ekolojik değerlendirme ile restorasyon önerilerinin geliştirilmesi: Datça-Bozburun Özel Çevre Koruma Bölgesi örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 23(3), 163-177.
- Visner, M., Shirowzhan, S., & Pettit, C. (2021). Spatial analysis, interactive visualisation and GIS-based dashboard for monitoring spatio-temporal changes of hotspots of bushfires over 100 years in New South Wales, Australia. *Buildings*, 11(2), 37. doi: 10.3390/buildings11020037.
- Yakar, M. (2011). Nüfus Dağılımının Mekansal Analizi: Afyonkarahisar ili Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(19), 389-406.
- Yuan, Y., Cave, M., & Zhang, C. (2018). Using Local Moran's I to identify contamination hotspots of rare earth elements in urban soils of London. *Applied Geochemistry*, 88, 167-178.
- Zahran, E. S. M. M., Shams, S., & Said, S. N., Matullah B. M. (2020). Validation of forest fire hotspot analysis in GIS using forest fire contributory factors. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(12), 249-255.
- Zhang, L., Tao, Z., & Wang, G. (2022). Assessment and determination of earthquake casualty gathering area based on building damage state and spatial characteristics analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102688. doi: 10.1016/j.ijdr.2021.102688.
- Zúñiga-Vásquez, J. M., Cisneros-González, D., Pompa-García, M., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Verdín, G. (2017). Modelación espacial de incendios forestales en México: Una integración de dos bases de datos. *Bosque*, 38(3), 563-574.