

## Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi

Yasin Demirel<sup>1</sup> , Tarık Türk<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.

**Öz:** Dünyada orman yangınlarının can ve mal kaybına neden olan sosyal, ekonomik ve ekolojik olmak üzere maddi ve manevi birçok sonuçları vardır. Son yıllarda dünya genelinde orman yangınlarında hem sıklık hem de büyüklük açısından önemli bir artış gözlemlenmektedir. Bu nedenle ekolojik düzenin istikrarlı bir şekilde devam etmesi için orman yangınlarının analiz edilmesi ve buna karşı gerekli tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Bu bağlamda orman yangınlarının zaman içerisindeki mekânsal dağılımının modellenmesi ve risk faktörü oluşturan bölgelerin incelenmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının il sınırı seviyesinde mekânsal ve zamansal dağılımı yangının coğrafi konum ve çıkış nedeni arasındaki ilişki dikkate alınarak Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında analiz edilmiş ve mekânsal istatistiksel testler (Global Moran’s I, Anselin Local Moran’s I ve Getis-Ord Gi\*) kullanılarak yıl bazındaki kümelenmeler ortaya konmuştur. Böylece orman yangınlarına yönelik alınması gereken önlemler ve karar vericilere sağlanacak destekler konularında önemli sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Orman yangını, Kümeleme analizi, Mekânsal istatistikler, Mekânsal-zamansal analiz, Coğrafi bilgi sistemi

### Spatiotemporal analysis of forest fires occurring in Türkiye between 2015 and 2022 with geographical information systems

**Abstract:** Forest fires in the world have many material and moral consequences, including social, economic and ecological, which cause loss of life and property. In recent years, a significant increase has been observed in forest fires worldwide in terms of both frequency and size. For this reason, it is extremely important to analyze forest fires and take the necessary measures against it in order to maintain the ecological order in a stable manner. In this context, modeling the spatial distribution of forest fires over time and examining the risk factors are critical. In this study, the spatial and temporal distribution of forest fires that occurred between 2015 and 2022 in Türkiye at the provincial border level was analyzed in the Geographical Information System environment, taking into account the relationship between the geographical location and the cause of the fire, and clusters on a yearly basis were revealed by using spatial statistical tests (Global Moran’s I, Anselin Local Moran’s I ve Getis-Ord Gi\*). Thus, important results have been obtained in terms of measures to be taken against forest fires and the support to be provided to decision makers.

**Keywords:** Forest fire, Cluster Analysis, Spatial statistics, Spatiotemporal analysis, Geographical information system

## 1. Giriş

Ormanlar dünyanın karasal alanlarının üçte birini kapsamaktadır. Doğal dengenin sağlanması, ekosistem faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, su kaynaklarının düzenlenmesi ve besin döngüsü gibi faktörler sebebiyle orman alanları tüm canlılar için hayati öneme sahiptir (Kavzoğlu, 2021; Knopp, Wieland, Rättich, & Martinis, 2020; Şeker, 2021). Ayrıca biyoçeşitlilik ve iklim açısından, sera gazı etkisine karşı karbon depolama işlevleri, sel ve erozyon tehlikelerine karşı set oluşturmalarındaki rolleri nedeniyle ormanlar dünyamız için en önemli varlıklardan birisidir (Şeker, 2021; Zhang vd., 2021). Bu eşsiz varlıkları yok eden orman yangınları, orman meşcerelerinin azalmasına yol açarlar, orman sağlığını ve biyolojik çeşitliliği bozarlar ve küresel karbon miktarı üzerinde etkileri olan aerosoller ve diğer sera gazlarını yayarlar (Knopp vd., 2020).

Orman yangınlarının kolay bir şekilde başlamasının ve hızlıca yayılmasının en önemli nedeni küresel ölçekte iklim değişikliği ve onun neticesinde küresel ısınma olarak gösterilebilir. Özellikle son yüzyılda tarım, sanayi, hayvancılık, lojistik gibi faaliyetler esnasında ortaya çıkan sera gazları iklim değişikliğinin temel nedeni olmuştur. Yazları sıcak ve kurak olan Akdeniz iklimi yangın riskini artırmakta, çıkan yangınların geniş alanlarda ve uzun süreli olmasına neden olmaktadır (Kavzoğlu, 2021; Şeker, 2021). Ülkemiz ve dünyamız son yıllarda ihmal, kaza, kasıt gibi faktörlerin de sebep olduğu birçok orman yangınına maruz kalmıştır (Kavzoğlu, 2021). Türkiye'nin yaklaşık 23 milyon hektar alanı ormanlarla kaplıdır. Ülkemizde büyük yangın olarak nitelendirilen 500 hektar ve üzeri yangınların son on yıldaki toplamı 25 adet iken, ülkemiz sadece 2021 yılında 16 adet büyük yangına maruz kalmıştır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nde (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) sanayi öncesi dönemden bu yana 1.2 °C artış gösteren küresel sıcaklığın artan sayıda kuraklık ve orman yangınına sebep olduğu ortaya konulmuştur (Kavzoğlu, 2021; Knopp vd., 2020). Kritik ve küresel bir olay olan orman yangınları, iklim değişikliğinin de etkisiyle şiddetlenmekte ve her yıl çok fazla ekonomik ve çevresel hasara neden olan bir felaket haline dönüşmektedir (Zhang vd., 2021).

Türkiye'de ihmal, kaza, doğal nedenler ve kasıt gibi faktörler orman yangınlarına sebep olmakta ve birçok orman yangınının nedeni ise bilinmemektedir. Yangınların mekânsal olarak incelenmesinde ve yangının çıkış nedeni ile çıkış konumu arasındaki ilişkinin ortaya konmasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) oldukça önemlidir. Bununla birlikte yangınların hangi bölgede kümelendiğinin mekânsal istatistiklerle analiz edilmesi ilgili bölgelerde gerekli tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilecek niteliktedir. Böylece ülkemiz ve dünyamız için hayati öneme sahip ormanlık alanların korunmasına yönelik hızlı, etkin ve verimli tedbirler alınabilecektir.

Literatürde, dünyanın doğal dengesinin sağlanması ve ekosistem faaliyetlerinin sürdürülebilirliği bakımından hayati öneme sahip orman yangınlarına ilişkin özellikle son yıllarda birçok farklı çalışma yapılmıştır. Kavzoğlu, Çölkesen, Tonbul ve Öztürk (2021) Manavgat, Marmaris ve Bodrum'da 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanan orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çok zamanlı uydu görüntüleriyle analiz edilmesini ve hasar gören alanlara ait sınırların tespit edilmesini amaçlamıştır. Musaoğlu, Yanalak, Güngöroğlu, ve Özcan (2021) tarafından orman yangınlarına hazırlıklı olmada doğru bilgi üretimi ve güncel bilginin önemi vurgulanmıştır. Bu bağlamda, güncel verilerle yangından etkilenebilirliğin belirlenmesinde ve risk analizinin yapılmasında uzaktan algılama verileri ve CBS'nin öneminden bahsetmişlerdir. Knopp vd. (2020) tarafından yanmış ormanlık alanların rehabilitesinde kullanılmak üzere Sentinel 2 uydu görüntülerinin NIR ve SWIR bantları kullanılarak oluşturulan veri seti ile derin öğrenme çerçevesinde yanmış alanların segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Dabanlı (2021) tarafından orman yangınlarının iklim değişikliği ile ilişkisi üzerinde durulmuştur. Mısır, M. ve Mısır, N. (2021) tarafından ise yangına hassasiyeti olan bölgelerde yangın risklerinin yangın indeksleri kullanılarak önceden belirlenmesine, meydana gelecek yangınların önlenmesine ve oluşacak zararların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Ayrıca literatür incelendiğinde mekânsal istatistik çalışmaları kullanılarak CBS tabanlı birçok farklı analizin gerçekleştirildiği görülmektedir (Doğru vd., 2017; Güneşli & Ahmed, 2023; İslam vd., 2021; Rossi & Becker, 2019; Şener & Türk, 2021, 2023). İslam vd. (2021), Covid-19 vakalarının Bangladeş'te nasıl kümelendiğini ve zamansal olarak küme modellerini CBS ile tahmin etmek amacıyla mekânsal otokorelasyon, sıcak nokta, ters mesafe ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting, IDW), coğrafi ağırlıklı regresyon (Geographically Weighted Regression, GWR), Moran's I ve Getis-Ord  $G_i^*$  istatistiklerini kullanmışlardır. Doğru vd. (2017) Türkiye'de farklı yaş grubundaki çocuklarda meydana gelen Hepatit A hastalığının dağılımını CBS ve mekânsal istatistiksel yöntemlerle incelemişlerdir. Şener ve Türk (2021), Türkiye'de 2009-2018 yılları arasında il düzeyinde meydana gelen kardiyovasküler hastalık mortalitesinin mekânsal ve zamansal olarak ortaya konulabilmesi amacıyla Global Moran's I, Getis-Ord General G, Anselin Local Moran's I ve Getis-Ord  $G_i^*$  gibi mekânsal istatistiksel yöntemleri ve CBS'yi kullanarak analiz etmişlerdir. Güneşli ve Ahmed (2023), Anadolu levhası boyunca deformasyon yönlü dağılımı tespit etmek için iki strateji kullanmışlardır. İlk olarak CBS tabanlı mekânsal istatistik analiz yöntemiyle önemli sıcak ve soğuk nokta kümeleri yardımıyla aktif sismik alanları belirlemişlerdir. İkinci olarak Python programlama dilini kullanarak deformasyon dağılımını hesaplamışlardır. Gelişmiş geoistatistiksel araçlar ile çalışma alanı içerisindeki anormal sismik tehlike bölgelerinin varlığını ve üç boyutlu deformasyon yönünü ortaya koymuşlardır. Tedim vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, Güney ve Güneydoğu Avrupa'da orman yangınlarının nedenleri Likert ölçeğinin kullanımıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Rossi ve Becker (2019) tarafından, uzaktan algılama ve CBS kullanılarak sıcak nokta analizi (Getis-Ord  $G_i^*$ ) ile orman yönetim birimleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fu, Jiang, Zhou ve Zhao (2014), orman ekosistemiyle ilgili karbon miktarı gibi çevresel değişkenlerin mekânsal örüntülerini incelemek amacıyla CBS ortamında Moran's I ve geoistatistik araçlarını kullanmışlardır. Akyürek (2023), MODIS platformunun 2000 ile 2021 yılları arasındaki Terra ve Aqua uydularından elde edilen veri setini kullanarak Türkiye' de ormanlık ve otlak alanlarda meydana gelen bitki örtüsü yangınlarını mekânsal istatistiksel yöntemlerle analiz ederek haritalarını üretmiştir. Bölgedeki araziler Corine verisine göre ormanlık ve otlak alan olarak sınıflandırılmıştır. Toplam yangın verileri değerlendirilirken 2000-2005, 2006-2011, 2012-2017 ve 2018-2021 aralığında periyotlara ayrılarak kümelenecekler analiz edilmiştir. 21 yıllık süreç sonunda ormanlık alan yangınlarından en çok etkilenen bölgelerin Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, ormanlık alanlardan en çok etkilenen ilin Antalya, otlak alan yangınlarından en çok etkilenen ilin ise Şanlıurfa olduğu belirlenmiştir.

Karabacak, Türkşen ve Bayar (2019) tarafından yapılan çalışmada, CBS yazılımı ile mekânsal istatistiksel analizler (Mekânsal Nokta Örüntü Analizleri, Mekânsal Betimsel İstatistik, Mekânsal Otokorelasyon Analizleri) yardımıyla Antalya'da meydana gelen orman yangınlarının incelenmesi ve orman yangını risk bölgelerinin oluşturularak derecelendirilmesi amaçlanmıştır. 2013 yılına ait 321 ve 2018 yılına ait 242 yangın verisi CBS yazılımına aktarılmış, yangın çıkış noktalarının konumlarına bağlı Mekânsal İstatistik modülü aracılığıyla betimleyici istatistikler (merkezi eğilimin ölçülmesi, dağılımın ölçülmesi) hesaplanarak, mekânsal desen analizi (kuadrat analizi, en yakın komşuluk analizi) ve mekânsal otokorelasyon (global mekânsal otokorelasyon, yerel mekânsal otokorelasyon) yöntemleri ile veriler hem konum hem de özniteliklerine göre değerlendirilmiştir. Kuadrat analizi sonucu bir risk bölgesi elde edilmiştir. Mekânsal otokorelasyon sonuçlarına göre sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızının en yüksek kümelenecek gösterdiği alanlar da ayrı bir risk bölgesi oluşturmuştur. Bu iki istatistiksel risk alanının çakıştırılması ile elde edilen sonuç; Antalya ilinde yerel olarak orman yangını riski taşıyan bölgeleri ortaya çıkarmıştır.

Gayır ve Arslan (2018) tarafından Muğla bölgesinde 2011 ile 2015 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarında sadece konumların kullanıldığı nokta örüntü analizleri- kuadrat analizi, Ripley's k fonksiyonu testi, ortalama en yakın komşuluk analizi ile kümelenecekler araştırılmıştır. Getis-Ord  $G_i^*$ , Moran I ve Anselin Local Moran I ile yangınların rüzgâr ve sıcaklık ölçütleri dikkate alınarak kümelenecekler ortaya konulmuştur.

Duran (2014), Mersin Orman Bölge Müdürlüğü kayıtlarındaki 2001 ile 2013 yılları arasında meydana gelen 1038 orman yangınının başlangıç noktalarını esas alarak mekânsal dağılımlarını belirlemiştir. Yangın sayısına göre, kategorik olarak sınıflandırılmış ve ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Sıcak Nokta Analizi (Hot Spot Analysis) ile Mersin’de meydana gelen orman yangınlarının kümelenmelerini analiz etmiştir. Vejetasyon tipi, tarım ve işlem alanlarına uzaklık, yol ağına uzaklık, yükseklik, eğim ve bakı gibi faktör haritaları yardımıyla, potansiyel orman yangınları için yangına hassas bölgeler sınıflandırılmıştır.

Yukarıdaki çalışmalardan da anlaşılacağı üzere orman yangınları ve mekânsal istatistikler birçok farklı araştırmaya konu olmuştur. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, orman yangınlarının istatistiksel analizi ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Türkiye çalışma alanında güncel orman yangını verileri ve mekânsal istatistiksel analizler yardımıyla kümelenmelerin ortaya konulduğu ve bu çalışmada izlenen adımlar doğrultusunda ele alınan bir çalışmanın literatürde yer almadığı saptanmıştır. Bu çalışmada 2015 ile 2022 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre il bazında analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca meydana gelen orman yangını sayısının anlamlı olduğu her bir yıl için kümelenme analizi (Cluster and Outlier Analysis) ve sıcak nokta (Getis-Ord Gi\*) konumsal istatistik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen istatistiksel bulgular doğrultusunda yangınların kümелendiği alanlar tespit edilmiş ve tartışılmıştır.

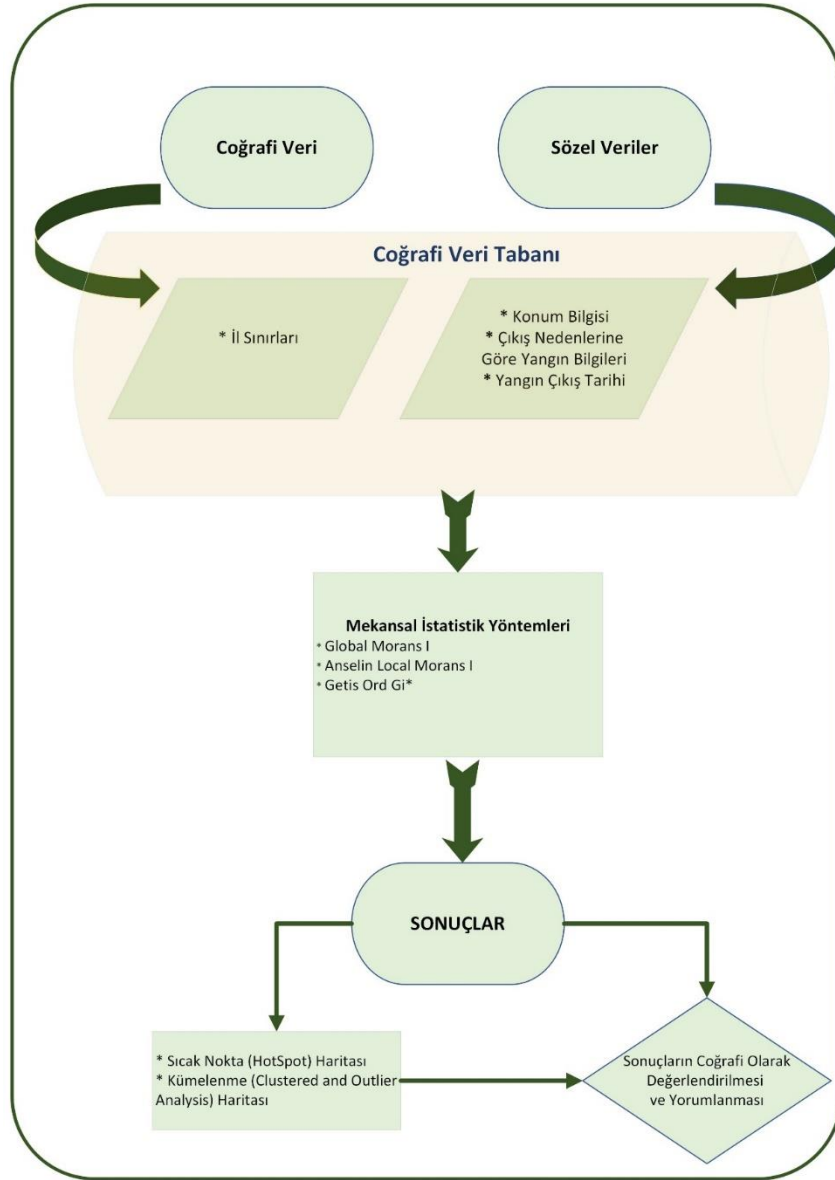
## 2. Çalışma Alanı

Bu çalışma 36° ile 42° kuzey enlemi ve 26° ile 45° doğu boylamı arasında uzanan Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Türkiye, yaklaşık 23 milyon hektarlık alanı ormanlarla kaplı olan ve Marmara, Akdeniz, Karadeniz, Ege, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu olmak üzere yedi coğrafi bölgeden oluşan bir ülkedir. Bölgelere göre ılıman kuşak ile subtropikal iklim kuşağı arasında yer almaktadır. Çalışma alanını temsil eden Şekil 1’de Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency, EEA) tarafından koordine edilen, Copernicus Land Monitoring Service çerçevesinde üretilen ve arazi örtüsü hakkında tutarlı ve tematik olarak ayrıntılı bilgiler sağlayan Corine Land Cover veri setleri kullanılarak çalışma alanındaki ormanlık bölgelere dikkat çekilmiştir.



### 3. Yöntem

Bu çalışmada il sınırlarını gösteren coğrafi veriler ile birlikte Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanan 2015 ile 2022 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen orman yangını verileri kullanılmıştır. Orman yangını verileri yıllara göre, il bazında ve çıkış nedenine göre ESRI ArcGIS 10.6.1 yazılımı ile analiz edilmiş ve mekânsal istatistiksel analizler yardımıyla kümelenmeler ortaya konulmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanan veriler incelendiğinde meydana gelen orman yangınlarının genel olarak doğal nedenler, kasıt, ihmal ve dikkatsizlik, kaza ve nedeni bilinmeyen şeklinde sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada izlenen iş adımları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2: Çalışmada izlenen işlem adımları

#### 3.1 Mekânsal-Zamansal İstatistik

Değişkenler arası konumsal ilişkileri değerlendirmek için konumsal örüntü kavramını temel almak son derece önemlidir. Kümelenmiş alanların analizi ve değerlendirilmesi, yangın çıkış nedenlerinin mekânsal modelini ve zaman içindeki değişimini incelemek için bir kılavuздur. Mekânsal otokorelasyon yöntemi, belirli bir konumdaki veri noktasının komşu konumlarda kullanılan veriler ile bağımlılığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Mekânsal otokorelasyon pozitif veya negatif değerde olabilir. Pozitif değerler kümelenmenin varlığını, yani komşu bölgelerdeki konumların birbirini etkilediğini

gösterirken negatif değerler komşu konumlardaki detayların ters olarak birbirini etkilediğini yani dağıldığını ifade etmektedir (Akyürek, 2023). Bu doğrultuda yapılan çalışmada CBS tabanlı mekânsal otokorelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Yangın çıkış nedenlerinin genel mekânsal dağılımının kümelenme, saçılma ve rastgelelik durumlarının belirlenmesi için Global Moran's I istatistik analizi, kümelerin hangi coğrafi konuma göre dağıldığını belirlemek için Anselin Local Moran's I istatistik testi, kümelerin güven düzeyini belirlemek için ise Getis-Ord Gi\* istatistik testi kullanılmıştır. Ayrıca, 2015 ile 2022 yılları arasındaki sekiz yıllık periyot için ülke genelinde meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı da incelenerek çıkış nedenleri ile yangınlar arasında bir bağlantı kurulmuştur. Aşağıda, çalışma kapsamında kullanılan analizlere ilişkin açıklamalar sunulmuştur.

Global Moran I: Global Moran's I analizi, veri seti olarak kullanılan genel mekânsal otokorelasyonu ölçer ve veri noktaları arasındaki örüntüleri tanımlamaya yardımcı olur. Analizin neticesinde belirli bir nokta örüntüsü için mekânsal otokorelasyon veya dağılımın derecesi belirlenmektedir. Bu doğrultuda yöntem yangın çıkış nedenlerinin konumsal dağılım modeli (kümeleme, rastgele ve dağınıklık) hakkında bilgi elde etmek amacıyla kullanılmıştır (Eşitlik 1 ve 2).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (1)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \quad (2)$$

$n$  toplam detay sayısını,  $Z_i$   $i$ 'inci özneteliğin ortalama değerinden olan sapmayı,  $W_{i,j}$   $i$  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. Moran's I değeri -1 ile +1 arasında değişir ve pozitif/ negatif otokorelasyona işaret eder. Sıfır değeri ise mekânsal otokorelasyon olmadığını göstermektedir (Islam vd., 2021). Konumsal otokorelasyon analizinde  $Z$  skoru ve  $p$  değeri sıfır hipotezinin mekânsal rastgele modelini reddetme olasılığını belirlemek için kullanılır. 2.58'den büyük çıkan  $Z$  skoru ve 0.01 değerinden küçük çıkan  $p$  değeri %99 güven düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiğini ve verilerin kümelendiğini göstermektedir (Akyürek, 2023).

Anselin Local Morans I: Moran's I yöntemi genel ölçekli olup veri setinin genel dağılımının konumsal bağımlılık düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Anselin Local Moran's I yöntemi değişkenlerin birbirine benzeyip benzemediğini belirlemek için kullanılan yerel bir kümelenme analizi (cluster and outlier analysis) yöntemidir. Local 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 amacıyla her nokta için bir anlamlılık testi yapılmaktadır. Pozitif bir değer alan Local Moran's I değeri, komşu noktalar ile benzer şekilde yüksek veya düşük değerlere sahip olan konumu ifade etmektedir. Bu konum uzamsal küme olarak da adlandırılır. Öte yandan, negatif bir Local 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 (Akyürek, 2023; Anselin, 1995; Bone, Wulder, White, Robertson, & Nelson, 2013; Yakar, 2011; Yuan, Cave, & Zhang, 2018). Anselin Local Moran's I aşağıdaki şekilde tanımlanır.

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

Burada;  $x_i$ ,  $i$  konumundaki değişkenin değeri;  $\bar{X}$  81 ildeki orman yangınlarının sayısını;  $x_j$ ,  $x$  değişkeninin diğer tüm

konumlardaki değerini ( $j \neq i$ );  $S_i^2$ ,  $x$  değişkeninin varyansını ve  $w_{i,j}$  ise detay  $i$  ve  $j$  arasındaki uzamsal ağırlığı ifade etmektedir. Bu yöntemdeki pozitif değer, bir özelliğin yüksek veya düşük aynı nitelik değerlerine sahip komşu özelliklere sahip olduğunu gösterir (Affan, Syukri, Wahyuna, & Sofyan, 2016; Anselin, 1995). Değer kümeleri, yüksek değeri (High-High) ve düşük değeri (Low-Low) içerir. Ek olarak,  $w_{i,j}$  bir mesafe bandı veya eşik mesafesi kullanılarak belirlenebilir. Alana bir uzaklık bandı içinde aynı ağırlık verilirken, uzaklık bandının dışında kalanlara 0 ağırlık değeri verilir (Zhang, Luo, Xu, & Ledwith, 2008).

Analiz yöntemi veri noktalarının kümelenme, dağınık ve rastgele olma durumunu belirler. Eğer Moran's I indeks değeri sıfırdan büyükse (pozitif değerler), veri noktaları kümelenmiştir. Eğer indeks değeri sıfırdan küçükse (negatif değerler), veri noktaları dağınık durumdadır. Eğer indeks değeri sıfıra çok yakın veya sıfırsa, veri noktaları rastgele dağılmıştır (Chen & Yang, 2018; Cheruiyot, 2022; Ohyama, Hanyu, Tani, & Nakae, 2022).

Getis-Ord  $G_i^*$ : Bu yöntem Sıcak Nokta Analiz aracını kullanarak yüksek veya düşük kümelerin değerini bir derece güvenle ölçer (Affan vd., 2016; Mitchell & Griffin, 2021; Ord & Getis, 1995). Getis-Ord  $G_i^*$  yöntemi özelliklerin tam mekânsal rastgelelik içinde yapılandırıldığını, sıfır hipotezini reddetmek veya reddetmemek için Z skorlarını ve p değerlerini tahmin eden bir analiz yürütmektedir (Akyürek, 2023).

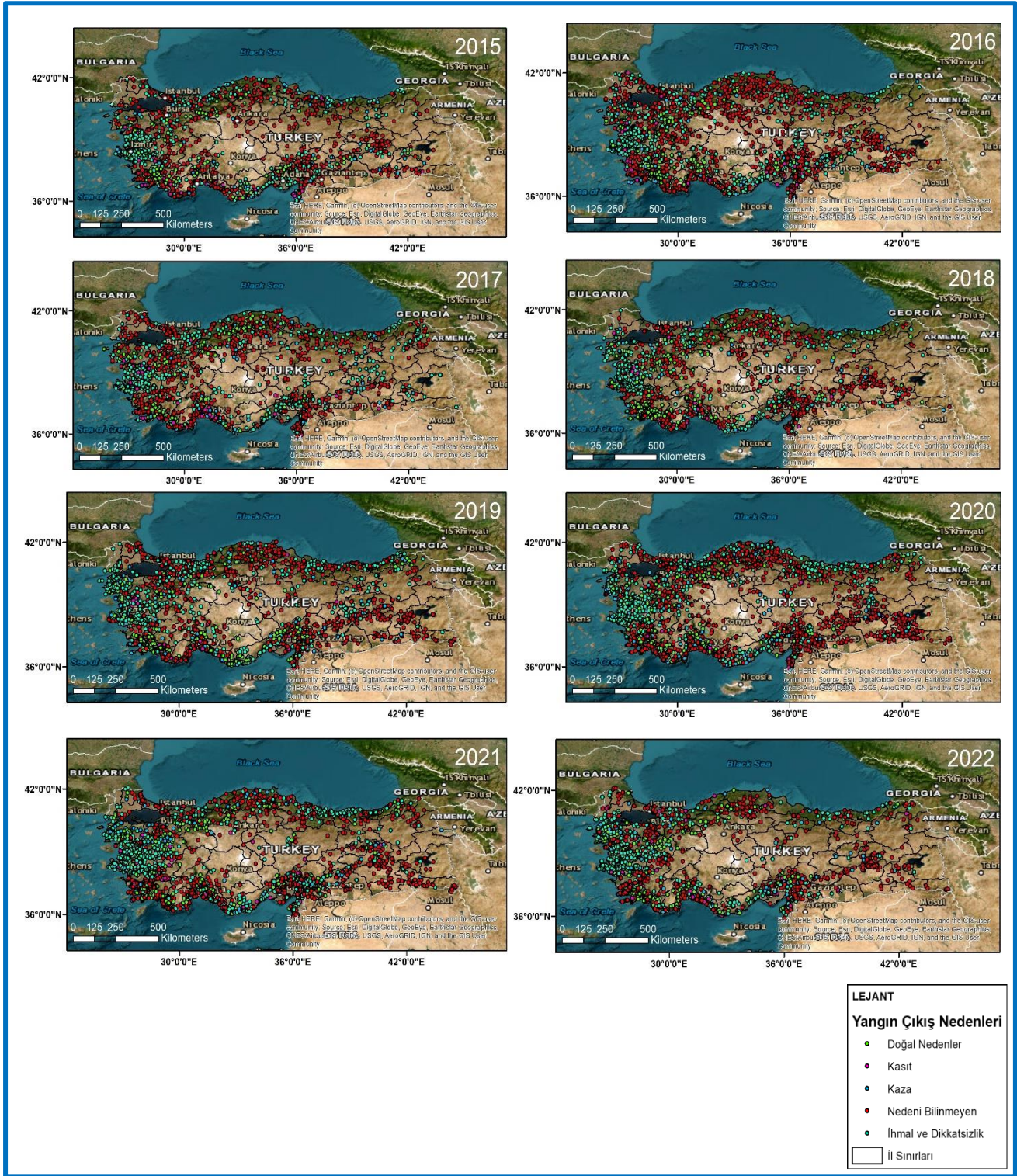
Bu bağlamda istatistiksel olarak hesaplanan Z skoru ne kadar büyük ise veri setinde bulunan yüksek değerler o derece kümelenmiştir. Benzer şekilde hesaplanan Z skoru ne kadar küçükse veri seti içerisindeki düşük değerler o derece fazla kümelenmiştir. Hesaplanan  $G_i^*$  değeri sıfıra yaklaştığında hesaplanan detayın komşuluğunda yüksek veya düşük değerlerin olmadığı anlaşılır (Akyürek, 2023; Feng, Chen, Gao, & Liu, 2018; Rossi & Becker, 2019; Zhang, Tao, & Wang, 2022).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (4)$$

Burada  $w_{ij}$   $i$  ve  $j$  poligonları arasındaki konumsal ağırlık matrisidir;  $x_j$  veri setindeki  $j$ 'inci detayın değerini,  $S$  standart sapmayı ve  $n$  toplam detay sayısını belirtir.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

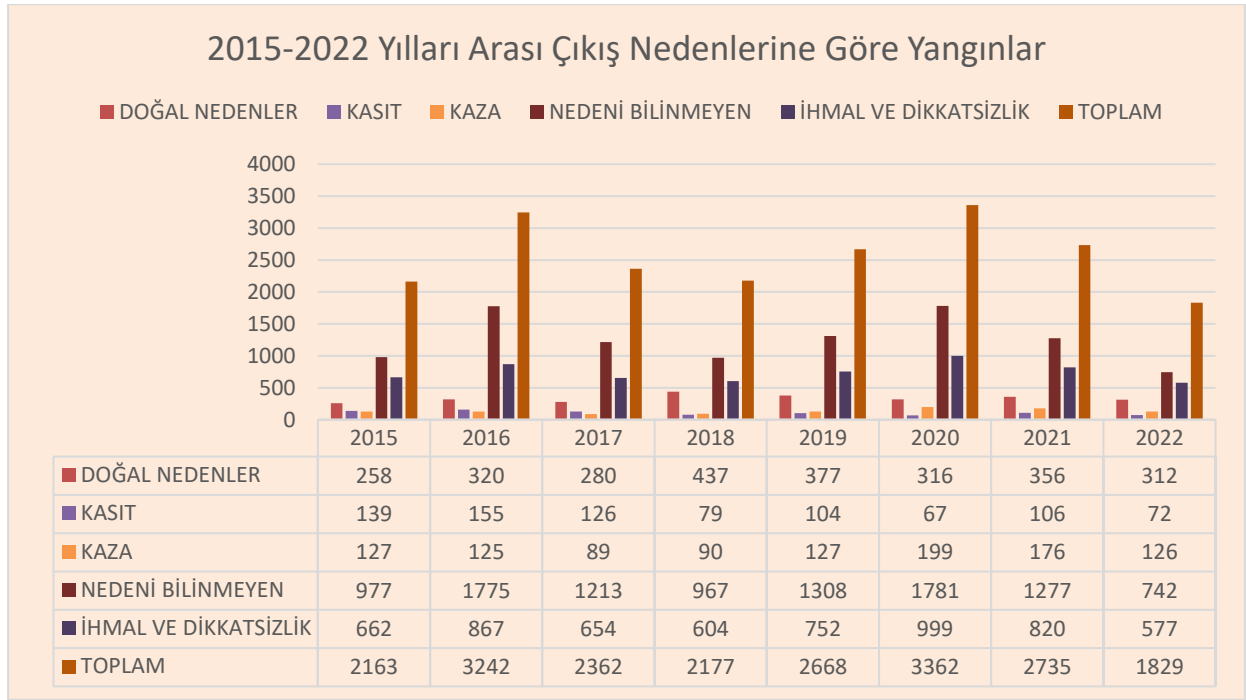
Türkiye genelinde 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınları, yıl bazında çıkış nedenlerine göre istatistiksel olarak analiz edilmiş ve haritaları üretilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Türkiye’de meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı

Ayrıca 2015 ile 2022 yılları arasındaki sekiz yıllık periyot için ülke genelinde meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı grafiksel olarak da analiz edilerek mevcut durumu ortaya konmuştur (Şekil 4).

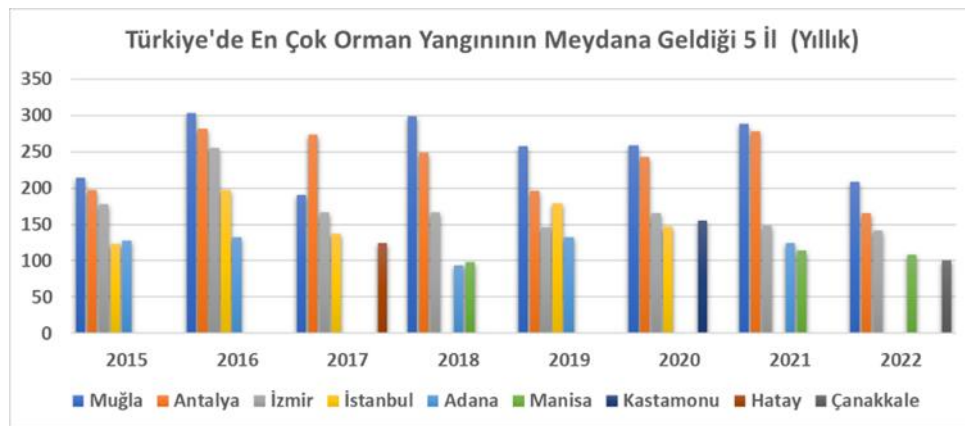




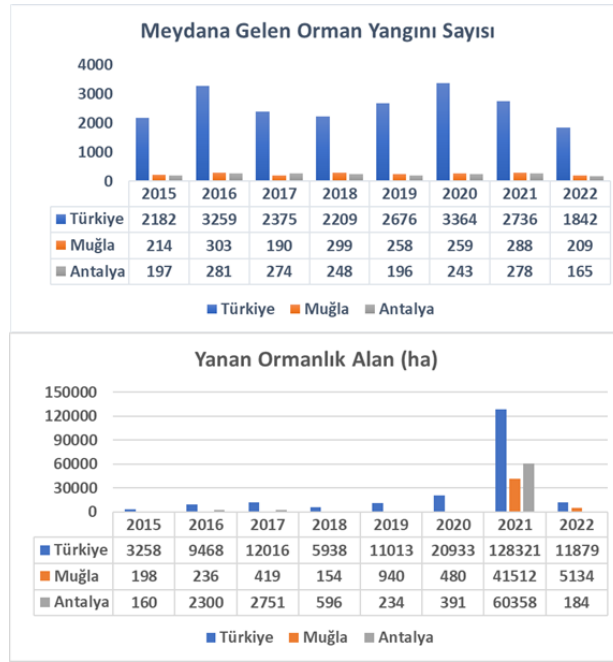
Şekil 4: 2015-2022 yılları arasında çıkış nedenlerine göre meydana gelen orman yangınları

Bu veriler incelendiğinde 2015 ile 2020 yılları arasında meydana gelen toplam orman yangını sayılarının 2016 ve 2017 yılları hariç her yıl bir önceki yıla göre sistematik olarak arttığı, 2021 ile 2022 yıllarında ciddi oranda azaldığı ve en az orman yangınının 2022 yılında meydana geldiği görülmektedir. Bu azalışlarda COVID-19 pandemi sürecindeki sokağa çıkma kısıtlamalarının yanı sıra İnsansız Hava Aracı (İHA) ve teknolojik çözümlerden faydalanılarak alınan önlemlerin de etkili olabileceği düşünülmektedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen 8 yıllık (2015-2022) orman yangını verileri değerlendirildiğinde orman yangınının en çok meydana geldiği beş il arasında ormanlık alan bakımından oldukça zengin olan Muğla ve Antalya'nın yer aldığı (Şekil 5), özellikle 2021 yılında Antalya'da 2022 yılında ise Muğla'da en fazla yanmış ormanlık alanın bulunduğu açıkça görülmektedir (Şekil 6). Diğer taraftan her yıla ait yanmış ormanlık alanların büyüklüğü karşılaştırıldığında, sadece 2021 yılında, COVID-19 nedeniyle farklı tarihlerde sokağa çıkma kısıtlaması olmasına rağmen Antalya'da tüm yılların toplamından (2021 yılı hariç) yaklaşık 9 kat fazla, Muğla'da ise tüm yılların toplamından (2021 yılı hariç) yaklaşık 5.5 kat fazla ormanlık alanın yanmış olduğu gerçeği dikkat çekmektedir (Şekil 6).

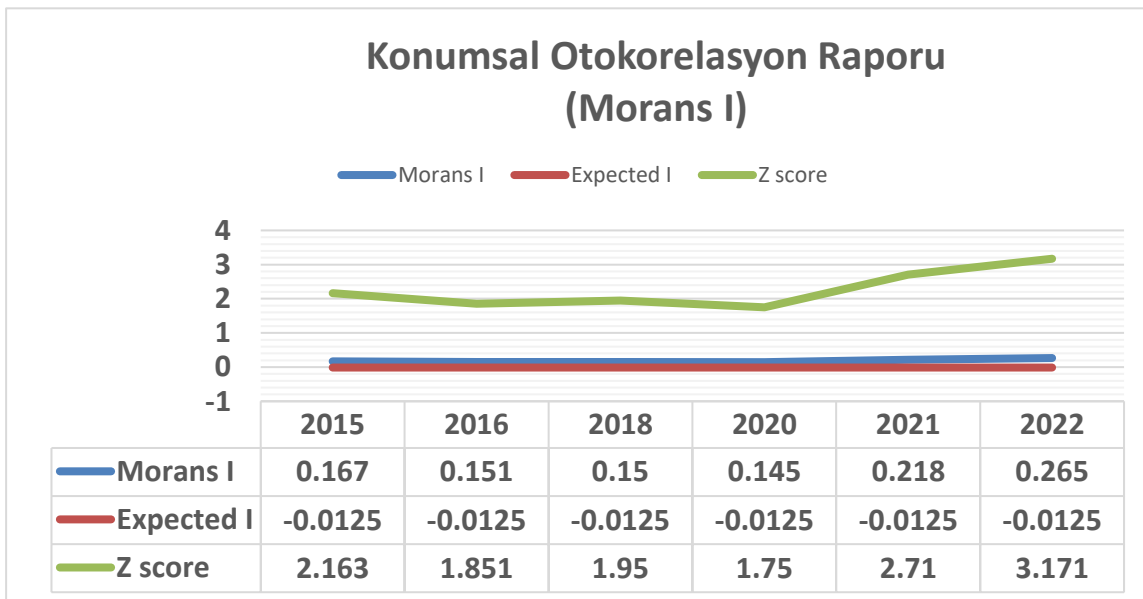


Şekil 5: Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında en çok orman yangını meydana gelen 5 il



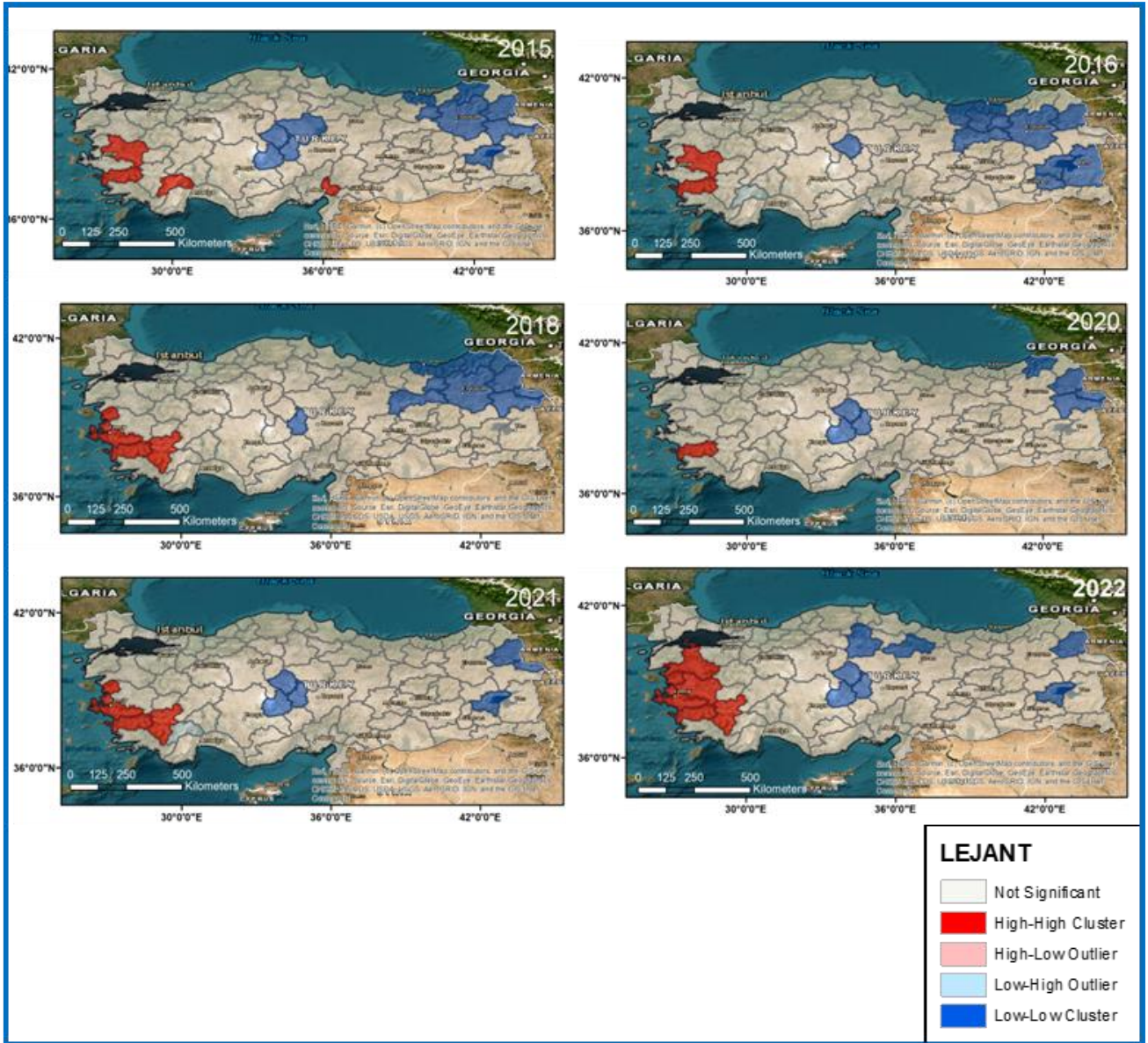
**Şekil 6:** 2015 ile 2022 yılları arasında Türkiye'de, Muğla'da ve Antalya'da meydana gelen orman yangını sayıları ve yanmış ormanlık alanlar (hektar)

Bu çalışmada Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının mekânsal örüntüleri de analiz edilmiştir. Moran's I istatistiğine göre sekiz yıllık periyotta hangi yıllarda kümelenme meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca bir diğer değerlendirme ölçütü olarak Z skoru kullanılmaktadır. Z skoru değersel olarak -1.65 ile -2.58 arasında bir değer aldığı ters olarak birbirini etkilediği, -1.65 ile +1.65 değeri aralığında rastgele dağıldığı ve 1.65 ile 2.58 aralığında ise kümelenme olduğu bilinmektedir. Kümelenmenin olduğu aralıklar 1.65 ile 1.96, 1.96 ile 2.58 ve 2.58'den büyük değerler olmak üzere düşükten yükseğe doğru kümelenme kategorisini belirlemektedir. Benzer şekilde Moran I değeri +1'e yaklaştıkça kümelenmenin artması söz konusudur (Akyürek, 2023). Moran's I ve Z değerleri dikkate alınarak mekânsal otokorelasyon raporlarının sonuçları incelendiğinde, 2017 ve 2019 yıllarında yangınların rastgele olarak dağıldığı, 2015, 2016, 2018, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında kümelenmenin meydana geldiği ve özellikle 2021 ve 2022 yıllarında oldukça yoğun bir kümelenmenin oluştuğu tespit edilmiştir.



**Şekil 7:** Orman yangın kümelenmesi meydana gelen yıllara ait analiz değerleri

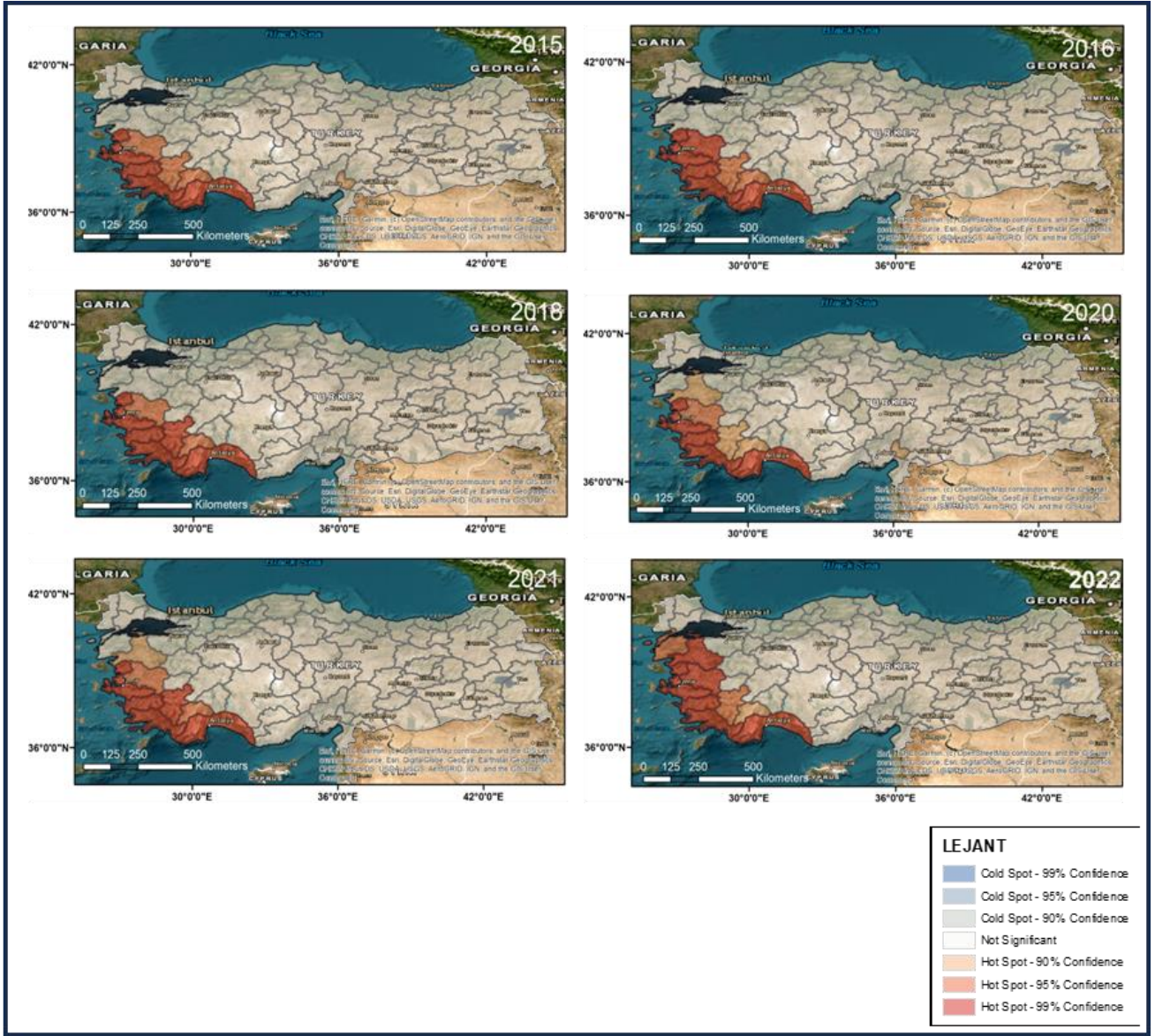
Kümelenme meydana gelen yıllara ait orman yangınları Kümelenme Analizi (Cluster and Outlier Analysis) ve Sıcak Nokta Analizi yöntemleri ile analiz edilerek haritaları üretilmiştir. Anselin Local Moran's I ile analizin sonucunda kümelenmenin boyutu yüksekten düşüğe doğru seviyelerine göre (High-High, High-Low, Low-High ve Low-Low) sınıflandırılırken Getis-Ord  $G_i^*$  yönteminde Soğuk Nokta (%90, 95, 99) ve Sıcak Nokta (%90, 95, 99) olarak sınıflandırılmaktadır. Elde edilen bulgular tüm yıllar için değerlendirildiğinde yüksek güven aralığında, orman yangınlarına ait yoğun mekânsal kümelenmenin ormanların sıklıkla bulunduğu Ege ve Akdeniz bölgelerini kapsadığı söylenebilir. Özellikle Muğla, İzmir, Balıkesir ve Antalya yakınlarını kapsayan bölgede son yıllarda yüksek kümelenmeler tespit edilmiştir. Nispeten ormanlık alanların daha az olduğu İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise düşük mekânsal kümelenmeler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Anselin Local Moran's I analizi sonucu elde edilen mekânsal kümelenme haritaları

Getis-Ord  $G_i^*$  istatistiklerinde pozitif Z değerlerinin yoğun bir şekilde kümelenmiş olması mevcut verilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu istatistik, güven aralığı ile birlikte yüksek ve düşük değerlerde kümelenmiş alanları ölçer. Bu kapsamda çalışma alanı içerisinde %90, %95 ve %99 güven aralıklarında birçok kümelenmiş il söz konusudur (Şekil 9). Yüksek ve düşük kümelenmelerin tespit edildiği Akdeniz ve Ege bölgelerinde aynı alanlarda tekrar eden

pozitif yüksek konumsal kümelenmeler gözlemlenmektedir. Özellikle Antalya ve Muğla bölgelerinde %99 güven düzeyinde sıcak nokta kümeleri belirlenmiştir.



Şekil 9: Sıcak Nokta Analizi sonucu elde edilen kümelenme haritaları

Tüm çalışma alanında kümeler tüm yıllar için incelenmiş ve farklı küme boyutlarında zaman içindeki değişimler gözlemlenmiştir. Çalışma alanında yangın çıkış nedenleri incelendiğinde birçok yangının nedeni bilinmeyen kategorisinde olduğu görülmektedir. Ülkemizin terörden muzdarip olması nedeniyle “nedeni bilinmeyen” yangınların bazılarının “kasıt” kategorisinde yer alıp almadığı ayrıntılı olarak araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların, orman yangınlarının yoğun olarak kümelendiği yerlerde gerekli tedbirlerin alınması sürecinde yol gösterici potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Özellikle yangın çıkış nedeni kasıt olan alanlarda gerekli tedbirlerin alınması, söndürme ekiplerinin yoğunluğunun artırılması, söndürme sürecinde insansız sistemler gibi teknolojik olanaklardan faydalanılması ve orman yangınlarının CBS tabanlı sistemler ile sürekli olarak izlenmesi gibi önlemlerle ormanların korunması sağlanabilir.

Son yıllarda ülkemizde özellikle kasıtlı ve nedeni bilinmeyen olarak sınıflandırılan orman yangını sayılarının oldukça artmış olması nedeniyle bu yangınlar birçok farklı araştırmaya konu olmuştur. Literatür detaylı incelendiğinde araştırmacılar

tarafından orman yangınlarının farklı açıdan değerlendirilmesine ve bu yangınlara çözüm aranmasına yönelik çalışmaların gerçekleştirildiği, mekânsal istatistik çatısı altında ise hastalıkların dağılımı, trafik kazalarının analizi ve levha hareketleri gibi birçok farklı araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Ancak, Türkiye'de orman yangınlarının mekânsal istatistik analiz yöntemleriyle incelenmesine yönelik çalışmalara sınırlı sayıda rastlanmaktadır (Akyürek, 2023; Gayır ve Arslan, 2018; Karabacak vd., 2019).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Akyürek (2023) tarafından, MODIS platformunun Terra ve Aqua uydularından veri elde edilerek CORINE verisine göre ormanlık ve otlaklık alanlar sınıflandırılmıştır. Ayrıca, 2000-2005, 2006-2011, 2012-2017 ve 2018-2021 aralığındaki veriler kendi aralarında gruplandırılarak küme analizi gerçekleştirilmiştir. Karabacak vd. (2019) tarafından 2013 ile 2018 yıllarına ait Antalya ilindeki orman yangınlarının yangın çıkış noktalarının konumlarına bağlı olarak mekânsal istatistik modülü aracılığıyla mekânsal desen analizi (kuadrat analizi, en yakın komşuluk analizi) ve mekânsal otokorelasyon (global mekânsal otokorelasyon, yerel mekânsal otokorelasyon) yöntemleri ile veriler hem konum hem de özniteliklerine göre değerlendirilmiştir. Kuadrat analizi sonucu bir risk bölgesi elde edilmiştir. Mekânsal otokorelasyon sonuçlarına göre sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızının en yüksek kümelenme gösterdiği alanlarda ayrı bir risk bölgesi oluşturulmuştur. Benzer şekilde Gayır ve Arslan (2018), Muğla bölgesinde 2011 ile 2015 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarını kümelenme analizi ile araştırmıştır. Duran (2014), Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde meydana gelen orman yangınlarının başlangıç noktalarını esas alarak Sıcak Nokta analizi ile kümelenmeler tespit etmiştir. Ayrıca, meydana gelen bu yangınlar sayılarına göre kategorik olarak sınıflandırılmış ve ağırlıkları hesaplanarak potansiyel orman yangınları için yangına hassas bölgeler ortaya konmuştur.

Yukarıda incelenen çalışmalara dikkat edildiğinde söz konusu çalışmalardan farklı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınları, Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen veriler doğrultusunda her yıl ayrı ayrı olmak üzere ve il bazında tüm ülke için kümelenmeler ve sıcak noktalar ortaya konularak ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Son yıllarda dünyada orman yangınlarında hem boyut hem de sıklık açısından ciddi bir artış gözlenmektedir. Sebebi her ne olursa olsun doğal veya insan kaynaklı orman yangınları, doğayı ve canlı ekosistemini tehdit eden önemli bir felakettir. Türkiye özellikle son yıllarda ciddi birçok yangın felaketine maruz kalmıştır. Bu nedenle CBS tabanlı sistemlerle bölgesel yangın sıklığının, yangın çıkış nedenlerinin ve kümelenmelerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilecek çalışmaların oldukça önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada mekânsal istatistiksel yöntemler kullanılarak Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının yıllara göre il bazında kümelenmesine odaklanılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda gelecekte bu yangınların azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlanacağı öngörülmektedir. Yerel kümelenme oluşumları ve yıllara göre değişimleri incelendiğinde Akdeniz ve Ege Bölgeleri civarında yüksek konumsal kümelenmenin özellikle son yıllarda yüksek bir güven aralığı ile tekrar ettiği ortaya konulmuştur. Böylece, nedeni bilinmeyen yangınların sebeplerinin daha derinlemesine araştırılarak bölgesel bazda özel tedbir amaçlı ne tür çalışmaların yapılabileceğine dair kapsamlı bir bakış açısı sağlanmıştır.

## Yazar Katkısı

**Yasin Demirel:** Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Tarık Türk:** Fikir, Tasarım, Veri toplama, Makale değerlendirme, Denetleme, Yazım.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Affan, M., Syukri, M., Wahyuna, 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.
- Akyürek, Ö. (2023). Türkiye'deki 2000–2021 Yılları Arasındaki Bitki Örtüsü Yangınlarının Mekânsal Analizi. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(1), 33-46.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- 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.
- Chen, C. Y., & Yang, Q. H. (2018). Hotspot Analysis of the Spatial and Temporal Distribution of Fires. *GISTAM*, 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 & Practice*, 14(2), 307-327.
- Dabanlı, İ. (2021). İklim Değişikliği ve Artan Orman Yangınları İlişkisi Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Doğru, A. Ö., David, R. M., Uluğtekin, N., Göksel, C., Şeker, D. Z., & Sözen, S. (2017). GIS based spatial pattern analysis: Children with Hepatitis A in Turkey. *Environmental research*, 156, 349-357.
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 1(1 A), 38-49.
- Feng, Y., Chen, X., Gao, F., & Liu, Y. (2018). Impacts of changing scale on Getis-Ord  $G_i^*$  hotspots of CPUE: a case study of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific Ocean. *Acta Oceanologica Sinica*, 37, 67-76.
- Fu, W. J., Jiang, P. K., Zhou, G. M., & Zhao, K. L. (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. *Biogeosciences*, 11(8), 2401-2409.
- Gayır, B., & Arslan, O. (2018). Orman yangınlarının CBS tabanlı konumsal istatistik analizi: 2011-2015 yılları arasında Muğla orman bölge sınırları içerisinde çıkan yangınlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 46-62.
- Güneyli, H., & Ahmed, S. M. S. (2023). Detecting abnormal seismic activity areas of Anatolian plate and deformation directions using Python Geospatial libraries. *Heliyon*, 9(3).
- Islam, A., Sayeed, M. A., Rahman, M. K., Ferdous, J., Islam, S., & Hassan, M. M. (2021). Geospatial dynamics of COVID-19 clusters and hotspots in Bangladesh. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(6), 3643-3657.
- Karabacak, K., Türkşen, Ö., & Bayar, R. (2019). Spatial statistics analysis of forest fires in Antalya province. *1st Istanbul International Geography Congress, 2019. Proceedings*, 615-630.
- Kavzoğlu, T. (2021). *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul H., & Öztürk M. Y. (2021). *Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları* Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Knopp, L., Wieland, M., Rättich, M., & Martinis, S. (2020). A deep learning approach for burned area segmentation with Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(15), 2422.

- Mısır, M., & Mısır, N. (2021). *Orman Yangınlarının İklim Değişikliği Açısından Değerlendirilmesi* Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Mitchell, A., & Griffin, L. S. (2021). *The Esri Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics, second edition*. ESRI.
- Musaoğlu, N., Yanalak, M., Güngöroğlu, C., & Özcan, O. (2021). *Orman yangınlarının yönetiminde bilgi teknolojilerinin katkıları* Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- 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.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
- 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.
- Şeker, M. (2021). Sunuş. Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Şener, R., & Türk, T. (2021). Spatiotemporal analysis of cardiovascular disease mortality with geographical information systems. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 14(4), 929-945.
- Şener, R., & Türk, T. (2023). Spatiotemporal and seasonality analysis of sheep and goat pox (SGP) disease outbreaks in Turkey between 2010 and 2019. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 65.
- Tedim, F., Leone, V., Lovreglio, R., Xanthopoulos, G., Chas-Amil, M. L., Ganteaume, A., Efe, R., Roye, D., Fuerst-Bjeliš, B., Nikolov, N., Musa, S., Milenkovic, M., Correia, F., Conedera, M., & Boris Pezzatti, G. (2022). Forest fire causes and motivations in the southern and South-Eastern Europe through experts' perception and applications to current policies. *Forests*, 13(4), 562.
- Yakar, M. (2011). Nüfus dağılımının mekânsal 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.
- Zhang, C., Luo, L., Xu, W., & Ledwith, V. (2008). Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of the total environment*, 398(1-3), 212-221.
- Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Liu, C., & Du, Z. (2021). Towards a deep-learning-based framework of Sentinel-2 imagery for automated active fire detection. *Remote Sensing*, 13(23), 4790.
- 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.