

Türkiye’de Kuş Gözlemlerinin Konumsal – Zamansal Desenlerinin Mekânsal İstatistik Yöntemleriyle İncelenmesi

An Analysis of the Spatial–Temporal Patterns of Bird Observations in Türkiye Using Spatial Statistical Methods

Özer Akyürek^{1*} 

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

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Özer Akyürek
ozerakyurek@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1915286

Yayın süreci

Geliş tarihi: 24.03.2026
Kabul tarihi: 17.06.2026
Basım tarihi: 24.09.2026

Özet

Biyoçeşitliliğin izlenmesi ve ekosistem dinamiklerinin anlaşılması açısından tür gözlemlerinin konumsal ve zamansal dağılımının incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda vatandaş bilimi projeleri kapsamında toplanan geniş ölçekli veri setleri, tür dağılımı analizleri için önemli bir veri kaynağı haline gelmiştir. Bu çalışmada, Türkiye sınırları içerisinde 1900–2024 yılları arasında gerçekleştirilen kuş gözlemlerinin konumsal ve zamansal dağılımı analiz edilmiştir. Araştırmada, Cornell Ornitoloji Laboratuvarı tarafından geliştirilen eBird veri tabanından elde edilen toplam 3.316.876 kuş gözlem noktası kullanılmıştır. Konumsal kümelenme eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla Getis–Ord Gi* sıcak nokta analizi uygulanmış, gözlemlerin zaman içindeki değişimini ortaya koymak için ise Space-Time Pattern Mining kapsamında Emerging Hot Spot Analizi kullanılmıştır. Sonuçlar, kuş gözlem aktivitelerinin Türkiye genelinde rastlantısal dağılmadığını, örnekleme eforunun ve gözlemci yönelimlerinin etkisiyle özellikle Marmara Bölgesi ile Kuzeybatı Anadolu’da güçlü sıcak nokta kümelenmeleri oluştuğunu göstermektedir. Buna karşılık Doğu Anadolu ve Orta Anadolu’nun doğu kesimleri çoğunlukla soğuk nokta alanları olarak belirlenmiştir. Ayrıca sıcak noktaların büyük ölçüde sulak alan ekosistemleri ile örtüştüğü görülmektedir. Bulgular, vatandaş bilimi verilerinin konumsal istatistik yöntemleri ile birlikte kullanıldığında biyoçeşitlilik desenlerinin belirlenmesinde önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Kuş gözlemleri, Getis–Ord Gi*, Emerging hot spot analizi

Abstract

Investigating the spatial and temporal distribution of species observations is of paramount importance for monitoring biodiversity and understanding ecosystem dynamics. In recent years, large-scale datasets collected through citizen science projects have become a significant data source for species distribution analyses. This study analyzes the spatial and temporal distribution of bird observations conducted within the borders of Turkey between 1900 and 2024. A total of 3,316,876 bird observation points obtained from the eBird database, developed by the Cornell Lab of Ornithology, were utilized in the research. The Getis–Ord Gi* hot spot analysis was applied to determine spatial clustering trends, and Emerging Hot Spot Analysis within the scope of Space-Time Pattern Mining was used to reveal the temporal changes of the observations. The results indicate that bird watching activities are not randomly distributed across Turkey; instead, due to the influence of sampling effort and observer preferences, strong hot spot clusters are formed particularly in the Marmara Region and Northwestern Anatolia. Conversely, Eastern Anatolia and the eastern parts of Central Anatolia were mostly identified as cold spot areas. Furthermore, it is observed that the hot spots largely overlap with wetland ecosystems. The findings demonstrate that citizen science data, when combined with spatial statistical methods, offers significant potential for determining biodiversity patterns.

Keywords: Bird observations, Getis–Ord Gi*, Emerging hot spot analysis

1. Giriş

Antropojenik faaliyetler, özellikle habitat dönüşümü ve bozulması, küresel ölçekte karasal biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olan temel itici güçlerdir (Falcucci vd., 2007; Newbold vd., 2015). Araştırmalar, en kötü etkilenen habitatlarda bu baskıların örneklem içi tür zenginliğini ortalama %76.5, toplam bolluğu ise %39.5 oranında azalttığını ortaya koymaktadır (Newbold vd., 2015). Yerel biyolojik çeşitlilikteki bu azalmalar, ekosistem işlevleri ve hizmetlerinin uzun vadeli güvenliği için ciddi bir tehdit oluştururken, her zamanki gibi devam senaryosu altında 2100 yılına kadar yerel tür zenginliğinin küresel olarak %3.4 daha azalacağını öngörmektedir (Newbold vd., 2015).

Biyolojik çeşitlilikteki değişimlerin izlenmesi ve anlaşılmasında geleneksel saha gözlemlerinin maliyeti ve uzman ihtiyacı, büyük ölçekli veri toplamayı zorlaştırmaktadır (Osborne vd., 2001; Kelling vd., 2015). Bu noktada, gönüllü gözlemcilerin katılımıyla yürütülen vatandaş bilimi (citizen science) projeleri, geniş konumsal ve zamansal ölçeklerde veri toplamak için verimli bir yol olarak ortaya çıkmıştır (Sullivan vd., 2009; Sullivan vd., 2014; Lagoze, 2014). eBird, gözlemlerini küresel olarak erişilebilir tek bir veritabanında toplayan, yöneten ve saklayan kuş gözlemcilerinden oluşan, web tabanlı bir topluluk oluşturmaktadır. eBird platformu, yılda milyonlarca gözlem içeren, neredeyse gerçek zamanlı bir kuş veri kaynağı oluşturmuştur (Sullivan vd., 2009; Lagoze, 2014). Vatandaş bilimi projeleri aracılığıyla toplanan Gönüllü Coğrafi Bilgiler, konumsal ekoloji için devasa bir veri hacmi sunsa da metodolojik açıdan önemli bir örnekleme yanlılığı barındırmaktadır (Goodchild, 2007). Geleneksel sistematik örnekleme tasarımlarının aksine, gönüllü gözlemcilerin veri toplama eforu; kentsel alanlara yakınlık, ulaşım ağlarının erişilebilirliği ve sosyo-demografik nüfus yoğunluğu ile doğrudan korelasyon göstermektedir (Johnston vd., 2021). Bu nedenle, bu tür veri setleri üzerinden yapılan nokta yoğunluğu analizlerinde elde edilen kümelenmeler, mutlak bir ekolojik tür yoğunluğundan ziyade, antropojenik ve lojistik faktörlerin şekillendirdiği bir 'konumsal gözlem eforu' deseni olarak yorumlanmalıdır. Bu konumsal yanlılıkların mekânsal istatistik yöntemleriyle deşifre edilmesi, ham verilerin doğrudan kullanılmasıyla hatalı sonuçlar üretebilecek Tür Dağılım Modellerinin daha sonraki aşamalarda istatistiksel olarak kalibre edilmesi ve ağırlıklandırılması açısından kritik bir teşhis aracı işlevi görmektedir (Heim vd., 2020).

eBird veritabanında bulunan veriler literatürdeki pek çok çalışmada veriseti olarak kullanılmıştır. Sullivan vd. (2009) çalışmalarında, eBird'ün biyolojik bilimlerde ağ tabanlı kuş gözlemlerinin nasıl yapılandırıldığını anlatmaktadırlar. Yaptıkları çalışma, eBird'ün amatör gözlemcilere veri toplama fırsatı sunduğu ve gözlemlerini küresel erişime açık bir veritabanında toplanmasına olanak tanıdığını vurgulamaktadır. eBird sisteminin veri kalitesini sağlamak amacıyla otomatik filtreler ve bölgesel uzmanlar kullandığı, bu sayede kuşların dağılımı, göç zamanlaması ve nispi bolluğu hakkında gerçek zamanlı veriler sağlandığını belirtmektedirler. Lagoze (2014), çalışmasında eBird'e katılan gönüllü katılımcıların birer sensör görevi gördüğünü belirtmektedir. Ayrıca eBird'ün veri kalitesini artırmak için kullandığı üç stratejiyi özetlemiştir. Veri giriş anındaki otomatik filtreleme işlemleri, nadir kayıtların alanında uzman kişilerce incelenmesi ve gözlemci deneyimini ölçen Doluluk Algılama Deneyimi (ODE) modeli hakkında bilgilendirme yapmıştır. Ayrıca, bilimsel kullanım için sunulan EOD, EBD, ERD ve STEM gibi farklı veri ürünlerini de detaylandırmıştır. Sullivan vd. (2014) çalışmalarında, eBird'ün basit bir vatandaş bilimi projesinden disiplinlerarası bir işletmeye dönüşümünü ele almışlardır. Kuş gözlemcilerinin ihtiyaçlarını karşılayan araçların geliştirilerek veri miktarının nasıl artırıldığını açıklamışlardır. eBird verilerinin, kuşların tüm yıllık döngülerini anlamak ve koruma politikalarını yönlendirmek için nasıl kullanıldığı vurgulamışlardır. Kelling vd. (2015) çalışmalarında, eBird'deki verilerin kalitesini artırmak için büyük veri tekniklerinin kullanımına odaklanmışlardır. Gözlemci değişkenliğini kontrol etmek için sensör kalibrasyonu yaklaşımı geliştirilerek, gözlemcilerin tür biriktirme oranlarına göre uzmanlık endeksleri oluşturmuşlardır. Bu uzmanlık verilerinin, tür dağılım modellerinin doğruluğunu artırmak için kullanıldığını belirtmişlerdir. La Sorte ve Somveille (2020) çalışmalarında eBird veri tabanındaki kuş gözlemlerinin küresel ölçekteki envanter tamlığını ölçmeyi amaçlamışlardır. Verilerin en yoğun olduğu bölgelerin Kuzey Amerika, Avrupa, Hindistan ve Avustralya olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, zamansal ve konumsal çözünürlük arttıkça envanter tamlığının nasıl değiştiğini analiz ederek, hangi bölgelerde daha fazla gözleme ihtiyaç duyulduğunu belirlemektedir. Johnston vd. (2021) çalışmalarında, eBird verileriyle yapılan ekolojik çıkarımların sağlamlığını artırmak için analitik yönergeler sunmuşlardır. eBird sisteminde, tam kontrol listelerinin kullanılmasının ve gözlem çabasını (süre, mesafe, zaman) tanımlayan değişkenlerin modele dahil edilmesinin model performansını en çok artıran unsurlar olduğunu kanıtlamışlardır. Heim vd. (2020) çalışmalarında, Doğu Asya gibi kuş gözlem verisinin az olduğu bölgelerde eBird tabanlı tür dağılım modellerinin (SDM) geçerliliğini test ederek, eBird verilerini halkalama ve takip cihazı (geolocator) verileriyle karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular, eBird verilerinin uzak bölgelerde bile, özellikle kuşların yerleşik olduğu dönemlerde, mevsimsel dağılımı tahmin etmede yararlı olduğunu göstermiştir.

Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileriyle desteklenen mekansal modelleme yaklaşımları, ekosistem bütünlüğünü korumak, habitat yönetim stratejilerini optimize etmek ve büyük veri niteliğindeki biyoçeşitlilik kayıtlarını konumsal olarak anlamlandırmak için vazgeçilmez araçlardır (Osborne vd., 2001; Fink vd., 2021). Özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, dijital yükseklik modelleri ve CBS tabanlı jeostatistiksel analizler, yeryüzündeki mikroklimatik/çevresel değişkenler ile canlı popülasyonlarının konumsal dağılımları arasındaki karmaşık

ilişkilerin topolojik olarak çözülmesinde en güçlü metodolojiler arasında yer almaktadır (Bacaro vd., 2011). Vatandaş bilimi projelerinden elde edilen konumsal veriler, CBS ortamında topolojik ve istatistiksel filtrelerle tabi tutulduğunda, makro ölçekli konumsal otokorelasyon analizlerinden dinamik trend tahminlerine kadar geniş bir yelpazede yüksek hassasiyetli coğrafi çıktılar sunmaktadır (Anselin, 1995; Johnston vd., 2021). Literatürde vatandaş bilimi verileri ile CBS entegrasyonuna dayalı bölgesel ve küresel çalışmalar hızla artmaktadır. Danacıoğlu ve Öngül (2024), Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, eBird veri tabanından alınan yaklaşık 2 milyon kuş gözlem noktasını kullanarak yapay ışık kirliliği ile kuş gözlem sayıları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Space Time Pattern Analizi CBS tekniğiyle yapılan analizler sonucunda, özellikle büyük şehirlerde (İstanbul, İzmir, Ankara vb.) yapay ışık değişiminin yüksek olduğu alanlarla kuş gözlem sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki ve artış trendi tespit etmişlerdir. Kocaman ve Arslan (2023), çalışmalarında eBird açık verilerini kullanarak Türkiye'deki kuş gözlemciliği faaliyetlerini coğrafi açılarından değerlendirmişlerdir. Çakıcı ve Harman (2006), çalışmalarında Türkiye'deki kuş gözlemcilerinin profilini oluşturmayı amaçlamışlardır. Türkiye'deki kuş gözlemcilerinin büyük çoğunluğunun genç ve bekar olan erkeklerin olduğu ve gittikleri bölgelerde ortalama olarak 2,54 gece konaklama yaptıklarını tespit etmişlerdir. Uysal vd. (2025), çalışmalarında Çanakkale Boğazı çevresindeki sulak alanlardaki kuş türü çeşitliliğinin aylık değişimlerini incelemişlerdir. Göç yollarında önemli duraklar olan sulak alanların kuşlar için ne kadar önemli olduğunu ve bu alanların korunması için gerekli tüm önlemlerin alınmasına dikkat çekmişlerdir. Bacaro vd. (2011), Toskana bölgesindeki yerel bir izleme programı verileriyle kuş tür zenginliğini jeostatistiksel modeller kullanarak haritalamışlardır. Brotons vd. (2004), kuş habitatlarını tahmin etmek için yalnızca varlık ve varlık-yokluk modellerini karşılaştırmış ve veri toplama yönteminin model başarısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Osborne vd. (2001), büyük toy kuşlarının dağılımını CBS ve Uzaktan Algılama ile modelleyerek saha çalışması çabasını azaltmayı hedefleyen yöntemler geliştirmişlerdir.

Türkiye'de biyoçeşitlilik verileri üzerine yapılan çalışmalar genellikle tür listeleri ve habitat tanımlamaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Vatandaş bilimi tabanlı kuş gözlem verilerinin konumsal-zamansal örüntülerini ülke ölçeğinde inceleyen çalışmaların sayısı halen sınırlıdır. Özellikle uzun dönemli (1900–2024) gözlem kayıtlarının mekansal istatistik yöntemleriyle analiz edilerek sulak alan ekosistemleriyle ilişkilendirilmesi konusunda önemli bir literatür boşluğu bulunmaktadır. Türkiye'nin üç kıta arasındaki biyocoğrafik geçiş konumu nedeniyle kuş göç yolları açısından kritik bir coğrafyada bulunması, bu tür analizlerin ekolojik planlama ve habitat koruma çalışmaları açısından önemini artırmaktadır. Bu çalışmada 1900 – 2024 yılları arasında Türkiye ülke sınırları içerisinde vatandaş bilimi yardımıyla gözlemlenmiş olan kuş gözlemlerinin zamansal desenlerinin konumsal analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Konumsal analiz yöntemleri sayesinde gözlemlenen kuş noktalarının hangi bölgelerde kümelenmeler gösterdiği ve bu kümelenmelerin nedenlerinin neler olduğu araştırılmıştır. Ayrıca gözlemlenen kuş noktalarının zamansal değişim desenlerinin nasıl olduğu ve nasıl değişkenlik gösterdiği de araştırılmıştır.

Literatür incelendiğinde, Türkiye'deki eBird verilerini konumsal istatistik yöntemleriyle değerlendiren güncel çalışmalar (Danacıoğlu & Öngül, 2024) bulunmakla birlikte, bu çalışma veri boyutu, kapsadığı zaman serisi ve çevresel ilişkilendirme parametreleri açısından mevcut literatürden ayrılmaktadır. İlgili çalışmada 2000-2022 yılları arası için 1.9 milyon veri ve yapay ışık kirliliği ilişkisi incelenirken; bu çalışmada veri seti yaklaşık %65 oranında genişletilerek (3.3 milyon gözlem) zaman serisi eBird'ün retrospektif verilerini de kapsayacak şekilde 1900 yılına kadar uzatılmıştır. Ayrıca, konumsal kümelenmelerin ekolojik gerekçelerini ortaya koymak adına altı farklı zaman periyodu için Getis-Ord Gi* analizi ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen sıcak noktaların Türkiye'nin sulak alan/Ramsar envanteri ile mekansal örtüşme dinamikleri detaylı bir şekilde modellenerek literatüre özgün bir katkı sunulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak tüm Türkiye sınırları seçilmiştir. Türkiye, Eski Dünya karaları olarak bilinen Asya, Avrupa ve Afrika'nın birbirine en çok yaklaştığı noktada yer alan, fiziki ve beşeri özellikleri bakımından kıtalararası bir köprü niteliği taşıyan bir ülkedir. Bu benzersiz konum, ülkenin iklim çeşitliliğini ve buna bağlı olarak zengin bir bitki örtüsü (flora) yapısını beraberinde getirmektedir. Türkiye, matematiksel konumu itibarıyla 36°– 42° Kuzey enlemleri ve 26° – 45° Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bu konum, Türkiye'yi orta kuşakta yer alan bir ülke yapmakta ve belirgin mevsim geçişlerinin yaşanmasına olanak tanımaktadır. Türkiye'nin iklimi, bulunduğu enlem, etrafındaki denizlerin etkisi, yeryüzü şekilleri ve basınç merkezlerinin mevsimsel hareketlerine bağlı olarak şekillenmektedir. Türkiye genel olarak Akdeniz iklim kuşağında yer alsa da yerel faktörler nedeniyle farklı iklim tipleri de görülebilmektedir (Şensoy vd., 2008).

Türkiye, dünya üzerinde bitki çeşitliliği ve biyoçeşitlilik açısından en zengin ülkelerden biridir. Bunun temel nedeni, üç farklı fitocoğrafya bölgesinin kesişim noktasında bulunmasıdır. Buna bağlı olarak da tür çeşitliliğinin artış göstermesi ve farklı kuş türlerinin gözlemlenebilmesi mümkün hale gelmektedir (Danacıoğlu & Öngül, 2024). Avrupa kıtasının tamamında yaklaşık 12.000 bitki türü varken, sadece Türkiye'de yaklaşık 12.000 tür ve alt tür bulunmaktadır ve bunların yaklaşık %32'si endemiktir (Davis, 1965; Davis, 1985; Avcı, 2005). Kuzey Anadolu ve Marmara'nın kuzeyini kapsayan

Avrupa– Sibiryta fitocoğrafyası Karadeniz ikliminin nemli ve yağışlı karakterine uyum sağlamış bitkilerden oluşmaktadır (Atalay & Efe, 2010). Akdeniz, Ege ve Güney Marmara kıyılarını kapsayan Akdeniz fitocoğrafyasına kurak yaz dönemine dayanıklı bitkiler hâkimdir (Akman, 1993). İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun büyük bir kısmını kapsayan İran – Turan fitocoğrafyası, Türkiye'nin en geniş fitocoğrafya bölgesidir. Karasal iklimin hüküm sürdüğü bu alanlarda step (bozkır) formasyonu hakimdir (Ekim vd., 2000).

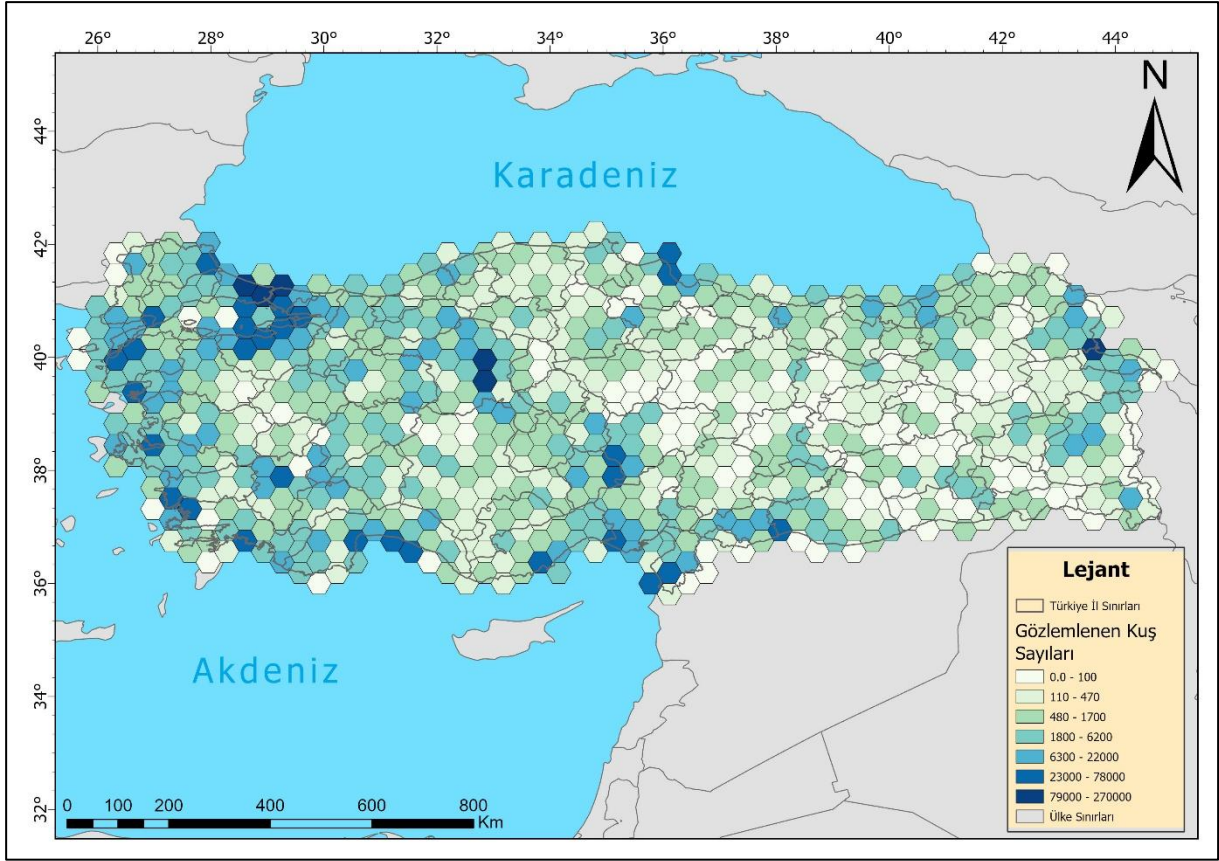
2.2. Veriseti

Bu çalışmada, kuş gözlem kayıtlarının konumsal ve zamansal dağılımını analiz etmek amacıyla, Cornell Ornitoloji Laboratuvarı (Cornell Lab of Ornithology) tarafından yönetilen küresel vatandaş bilimi projesi eBird veri tabanı kullanılmıştır (Sullivan vd., 2009). eBird gönüllü coğrafi bilgi projesi, kuş gözlemcilerine ve bilim insanlarına, gözlemlerini kaydetmeleri, paylaşmaları ve analiz edebilmeleri için önemli bir kaynak sunmaktadır (Wood vd., 2011). Gönüllü katılımcıların standartlaştırılmış protokoller aracılığıyla kuş gözlem verilerini (kontrol listeleri) sisteme girdiği, gerçek zamanlı ve çevrimiçi bir biyoçeşitlilik izleme platformudur. Veriler, katılımcıların belirli bir zaman ve konumdaki gözlemlerini içeren kontrol listeleri formatında toplanmaktadır. Her bir veriseti; taksonomik tanımlama, gözlem sayısı, coğrafi koordinatlar (enlem/boylam), tarih, saat ve gözlemlere (gözlem süresi, kat edilen mesafe, gözlemci sayısı) ait parametreleri içermektedir (Danacıoğlu & Öngül, 2024).

Vatandaş bilimi verileri, doğası gereği heterojen ve gürültülü bir yapıya sahiptir; bu durum analiz süreçlerinde konumsal taraflılık, değişken gözlem çabası ve tür raporlama yanlılığı gibi zorluklar yaratmaktadır (Kelling vd., 2015; Heim vd., 2020; Johnston vd., 2021). Veri güvenilirliğini sağlamak amacıyla eBird, otomatik filtreleme algoritmaları ve uzman incelemesinden oluşan iki aşamalı bir doğrulama süreci uygulamaktadır. İlk aşamada, girilen veriler tarihsel ve coğrafi olasılık filtrelerinden geçirilmektedir. İkinci aşamada ise, olağandışı kayıtlar (nadir türler, beklenmeyen sayılar veya sezon dışı kayıtlar), bölgesel uzman editörler tarafından kanıt (fotoğraf, ses kaydı veya detaylı açıklama) talep edilerek manuel olarak doğrulanmaktadır (Sullivan vd., 2009, 2014; Kelling vd., 2015). Analitik olarak, gözlemcilerin tespit ettikleri tüm türleri raporladıkları tam kontrol listelerinin kullanımı ve gözlemlenmeyen türlerin istatistiksel olarak tespit edilemedi şeklinde yorumlanması model güvenilirliğini artırmak için gerçekleştirilen eylemlerdendir (Lagoze, 2014; Kelling vd., 2015; Johnston vd., 2021).

Çalışmada 1900 – 2024 yılları arasında Türkiye sınırları içerisinde gözlenmiş olan toplam 3.316.876 adet kuş gözlem noktası kullanılmıştır. eBird platformundan ham veri kümesi virgül ile ayrılmış .csv formatında temin edilmiştir. Söz konusu büyük veri seti, Açık kaynak kodlu bir Yazılım olan R programlama dili yardımıyla ön işleme tabi tutulmuş; hatalı, eksik ve topolojik olarak geçersiz ve çalışmada kullanılmayacak olan kayıtlar ayıklandıktan sonra .xlsx formatında kaydedilmiştir. Enlem ve boylam öznitelik sütunları referans alınarak CBS ortamına ArcGIS Pro 3.5.4 yazılımı ile nokta detay geometrisinde aktarılmıştır. Veriler ham halde coğrafi koordinat sisteminde (WGS 1984 - EPSG:4326) elde edilmiş olup, konumsal analizlerin jeodezik doğruluğunu sağlamak amacıyla bu koordinat sisteminin izdüşüm (projeksiyon) koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

Ayrıca Türkiye genelinde gerçekleştirilen konumsal analizlerde, çalışma alanının eşit büyüklükte konumsal birimlere bölünmesi analiz sonuçlarının karşılaştırılabilirliği ve istatistiksel güvenilirliği açısından önemli bir yöntemsel yaklaşımdır. Bu çalışmada Türkiye sınırları yaklaşık 1000 km² büyüklüğünde altıgen gridlere ayrılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Altıgen gridlerin tercih edilmesinin temel nedeni, kare gridlere kıyasla komşuluk ilişkilerini daha dengeli temsil etmesi ve konumsal süreçlerin yönsele yanlılıktan daha az etkilenmesini sağlamasıdır. Altıgen hücrelerin tüm komşularının merkez noktaya eşit uzaklıkta bulunması, özellikle konumsal yoğunluk ve sıcak nokta analizlerinde daha homojen bir konumsal yapı sunmaktadır. Ayrıca bu yaklaşım, idari sınırlar kullanılarak yapılan analizlerde ortaya çıkabilen Değiştirilebilir Alansal Birim Problemi etkisini azaltarak veri setlerinin standart konumsal birimler üzerinden değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Yaklaşık 783.562 km² yüzölçümüne sahip Türkiye'nin 1000 km² büyüklüğündeki altıgen gridlere bölünmesi, geniş konumsal veri setlerinin yönetilebilir analiz birimlerine indirgenmesini sağlamakta ve özellikle vatandaş bilimi verileri gibi düzensiz konumsal dağılım gösteren gözlem kayıtlarının yoğunluk ve kümelenme örüntülerinin daha sağlıklı biçimde ortaya konmasına katkı sağlamaktadır. 1000 km²'lik ölçek seçimi, Türkiye genelindeki makro-ekolojik sulak alan sistemlerinin geometrik büyüklükleri ile 124 yıllık zaman serisindeki veri sürekliliği arasında optimum bir denge kurmak amacıyla yapılmıştır (Hurlbert & Jetz, 2007). Hücre boyutunun daha küçük seçilmesi, özellikle dijital vatandaş bilimi platformlarının henüz var olmadığı ve veri kayıtlarının oldukça seyrek, dağınık ve lokal gözlem notlarına dayandığı 1900-1999 tarihsel baz periyodunda istatistiksel analizlerin gücünü azaltan aşırı sıfır değer yığılmasına neden olmaktadır. 1900-1999 döneminin geniş tutulması, yerel konumsal otokorelasyon analizleri için gerekli olan minimum örneklem büyüklüğünü ve istatistiksel varyansı güvence altına alarak, 2000 sonrası ortaya çıkan dijital Gönüllü Coğrafi Bilgiler veri patlaması öncesinde homojen bir tarihsel referans yüzeyi oluşturulmasını sağlamıştır. Bu nedenle altıgen tabanlı konumsal örnekleme yaklaşımı, biyoçeşitlilik gözlemleri ve ekolojik dağılım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan etkili bir konumsal analiz yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Şekil 1'de yapılan gridleme ve bu gridlerin içerisine düşen kuş sayıları gösterilmektedir.



Şekil 1. Türkiye’de 1900-2024 yılları arasında gözlenen kuş sayıları

Ayrıca kuşların göç rotalarını tahminleyebilmek ve bölge yoğunluklarının nedenini anlayabilmek amacıyla Türkiye sınırları içerisinde bulunan RAMSAR alanlarının sınırları ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Ulusal ve Mahalli Önele Haiz Sulak Alanların sınırları da yapılan analizlerde veri seti olarak kullanılmıştır (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2026; Ramsar Sites Information Service, 2026).

Üretilen tematik ve istatistiksel haritaların konumsal doğruluğunu ve kartografik standartlarını sağlamak amacıyla, Türkiye mülki idari sınırları, komşu ülke sınırları ve kıyı çizgisi verileri ArcGIS açık veri tabanından temin edilmiştir. Ulusal ve Mahalli Önele Haiz Sulak Alanların sınır bilgileri Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü web sitesinden, RAMSAR Alanlarının sınır bilgileri ise Ramsar Alanları Bilgi Servisi web sitesinden açık kaynaklı olarak temin edilmiştir.

2.3. Yöntem

Konumsal verilerin analizi, yalnızca nerede sorusuna cevap vermekle kalmayıp, verilerin konumsal dağılımındaki sistematik ilişkileri, kümelenmeleri ve zaman içindeki değişimleri anlamayı hedeflemektedir. Bu durumda, yerel konumsal otokorelasyonun tespiti için kullanılan Getis-Ord G_i^* istatistiği ve bu istatistiğin zamansal boyuta taşınmış hali olan Emerging Hot Spot Analizi, konumsal karar verme süreçlerinde kritik rol oynamaktadır. Çalışmada veri setinin ön işleme, filtrelenmesi ve öznitelik sorgulamaları R yazılımı ortamında; altıgen gridlerin üretilmesi, Getis-Ord G_i^* sıcak nokta analizleri, Uzak-Zaman Küpü oluşturma, Emerging Hot Spot Analizleri ve coğrafi kesişim sorgulamaları ESRI ArcGIS Pro v3.5.4 CBS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Getis-Ord G_i^* İstatistiği (Hot Spot Analizi)

Getis-Ord G_i^* istatistiği, bir veri setindeki yüksek veya düşük değerlerin konumsal olarak istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde kümelenip kümelenmediğini belirlemek için kullanılan yerel bir konumsal otokorelasyon ölçütüdür. Bu yöntem, her bir coğrafi ögeyi komşularıyla birlikte değerlendirmektedir. Temel prensip, bir öznitelik değerinin sadece kendi konumunda yüksek olmasının sıcak nokta (hot spot) olması için yeterli olmamasıdır. Bir noktanın istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta olabilmesi için, hem kendi değerinin yüksek olması hem de komşu değerlerinin yüksek olması gerekmektedir. Matematiksel olarak, bir detayın yerel toplamı ile tüm detayların toplamı karşılaştırılır.

Eğer bu yerel toplam, rastgele bir dağılımdan beklenenden çok daha farklıysa (yüksek veya düşük), istatistiksel bir anlamlılık ortaya çıkmaktadır. Yapılan analiz sonucunda her bir coğrafi detay için üç temel çıktı üretilmektedir. Z-skoru, standart sapma biriminden hesaplanan değerdir. p-değeri, olasılık değeridir. Son olarak da verinin güven düzeyi yüzde olarak sunulmaktadır (Dereli & Polat, 2018; Hazaymeh vd., 2022).

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

şeklinde formüle edilen Getis–Ord G_i^* da x_j veri setindeki j inci özelliğin (bu çalışmada söz konusu grid içerisindeki kuş gözlem sayısını) değerini, $w_{i,j}$, i inci hedef nokta ile j inci komşu nokta arasındaki konumsal ağırlık matrisini değerini, n veri setindeki (analize dahil edilen) toplam özellik veya gözlem noktası sayısını, $\bar{X}$ tüm özellik değerlerinin genel ortalamasını, S ise tüm özellik değerlerinin genel standart sapmasını tanımlamaktadır (Getis & Ord, 1992; England, 2014; Akyürek & Arslan, 2018).

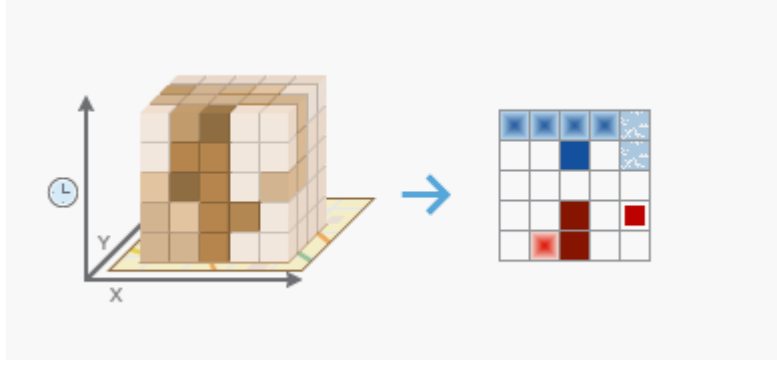
Pozitif ve yüksek bir Z-skoru, yüksek değerlerin kümelenmesini (hot spot) göstermektedir. Negatif ve düşük bir Z-skoru ise düşük değerlerin kümelenmesini (cold spot) ifade etmektedir. Z-skorunun sıfıra yakın olması, konumsal bir kümelenme olmadığını ve dağılımın rastgele (random) olduğunu göstermektedir (Lovic–Obradovic vd., 2020).

Bu çalışmada 1900 – 2024 yıllarına ait vatandaş bilimi verisi olarak elde edilen eBird kuş gözlem noktaları verileri kullanılmıştır. Veri seti altı farklı zaman periyoduna ayrılarak dönemsel değişkenliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Analizlerde veri setinin altı farklı döneme (1900-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019, 2020-2024) ayrılmasının metodolojik gerekçesi, Türkiye’deki kuş gözlemciliği faaliyetlerinin ve dijital vatandaş bilimi altyapısının kullanım yoğunluğundaki asimetrik kronolojik artıştır. 1900-1999 yılları arasındaki ilk dönem, dijital öncesi ve erken internet evresini kapsadığı için veri yoğunluğunun görece homojen ve düşük olduğu uzun bir tarihsel arka planı temsil etmektedir. 2000 sonrasında ise küreselleşen eBird kullanımı, GPS entegreli akıllı telefonların ve mobil CBS uygulamalarının yaygınlaşması veri akışını logaritmik olarak artırmıştır. Bu nedenle, 2000 yılından itibaren veriler beşer yıllık homojen periyotlara bölünerek hem gözlem teknolojilerindeki sıçramaların etkisi kontrol altına alınmış hem de zamansal çözünürlük yüksek tutularak konumsal trendlerin hassas takibi sağlanmıştır. Şekil 3–8’de verilen Getis–Ord G_i^* istatistiği kullanılarak üretilen konumsal sıcak nokta (hot spot) analizi haritaları, 1900–2024 yılları arasında gözlemlenen kuş sayılarının Türkiye genelindeki konumsal kümelenme eğilimlerini dönemler bazında ortaya koymaktadır. Getis–Ord G_i^* analizinde konumsal komşuluk ilişkilerinin tanımlanması için Sabit Mesafe Bandı (Fixed Distance Band) konsepti tercih edilmiştir. Bu yöntemde, belirlenen eşik mesafe içerisindeki tüm komşu detaylar analize eşit ağırlıkla katılırken, eşik mesafenin dışındaki detaylar analize dahil edilmemektedir. Mesafe ölçümü olarak Öklid mesafesi kullanılmış olup, eşik mesafe değeri, her bir altıgen gridin en az bir komşuya sahip olmasını garanti edecek şekilde mekansal otokorelasyonun (Global Moran's I) en yüksek Z-skorunu verdiği değer 36.129 km olarak belirlenmiştir. Konumsal otokorelasyon analizinde, özellikle de Getis–Ord G_i^* tekniğinde, Z-skoru değerleri gözlemlenen konumsal desenin rastlantısal olup olmadığını belirleyen temel istatistiksel ölçüttür. Z-skoru, bir değer in veri setinin ortalamasından kaç standart sapma uzaklıkta olduğunu temsil etmektedir. $Z > 2.58$ veya $Z < -2.58$, %99 güven düzeyinde istatistiksel anlamlılığı gösterirken ($p < 0.01$), $1.96 < Z < 2.58$ veya $-2.58 < Z < -1.96$, %95 güven düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ($p < 0.05$) ve $1.65 < Z < 1.96$ veya $-1.96 < Z < -1.65$ ise %90 güven düzeyinde istatistiksel anlamlılığı göstermektedir ($p < 0.10$). Z-skorunun değeri ne kadar uç değerlere sahipse, konumsal kümelenmenin rastlantısal olma ihtimali o kadar düşüktür ve analiz edilen olgunun arkasında yatan çevresel veya sistematik bir neden olduğu varsayımını güçlendirmektedir.

2.3.2. Space-Time Pattern Mining: Emerging Hot Spot Analizi

Emerging Hot Spot Analizi (EHSA), geleneksel sıcak nokta analizini üçüncü bir boyuta, yani zaman boyutuna taşıyan ileri düzey bir konumsal veri madenciliği tekniğidir. Bu yöntem, verilerin zaman içindeki eğilimlerini (trend) analiz ederek, sıcak veya soğuk noktaların karakteristiklerini sınıflandırır.

Analizin temeli, verilerin bir Uzak–Zaman küpü içerisinde organize edilmesine dayanır. Bu küp yapısında x ve y eksenleri veri noktalarının coğrafi konumunu temsil ederken, z eksen ise zamanı temsil etmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Emerging Hot Spot analizinin gösterimi (ESRI, 2026)

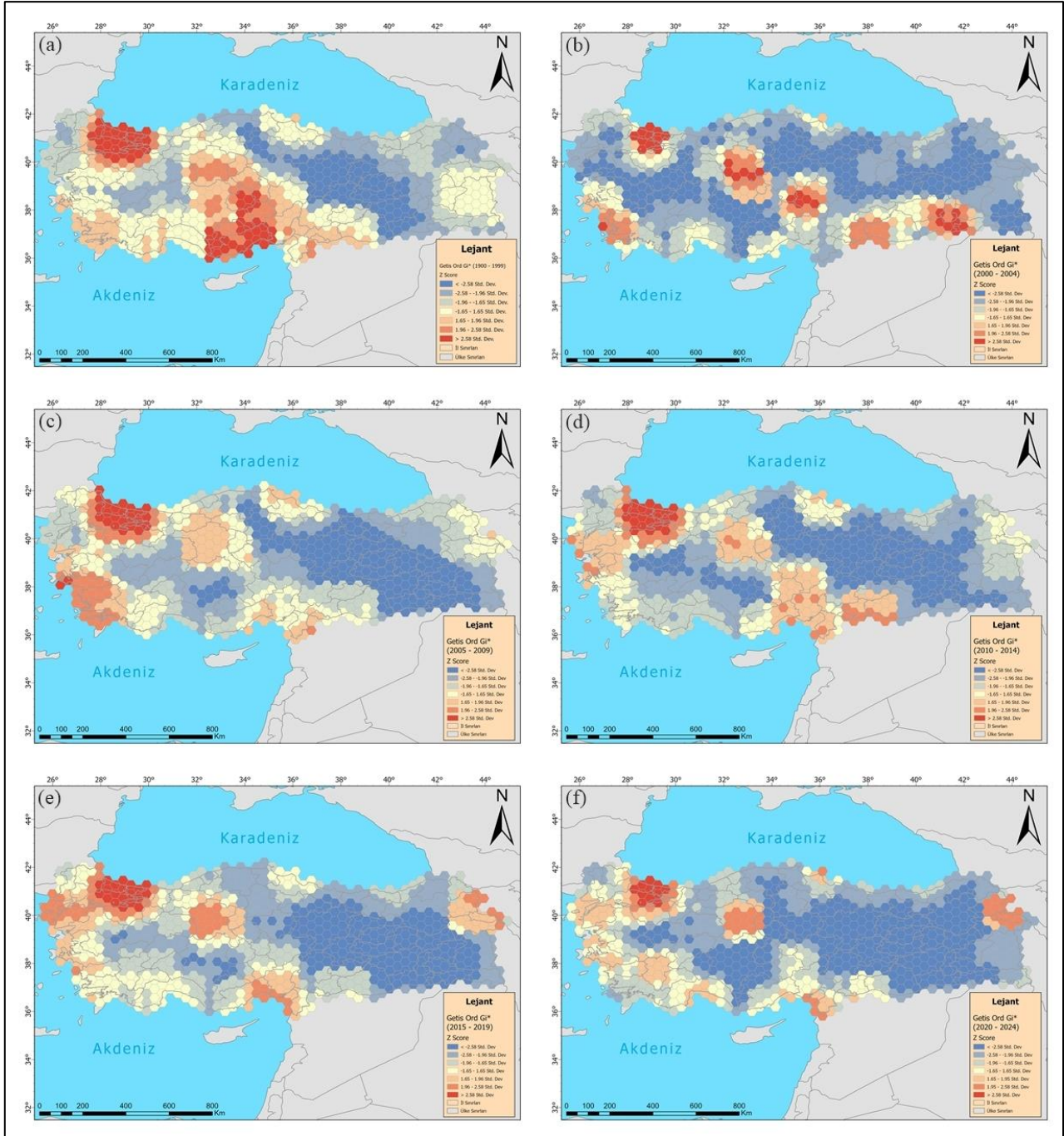
Her bir konum, zaman adımları boyunca üst üste dizilmiş bin (kutu) yapılarından oluşur. EHSA, bu küp üzerindeki her bir kutu için ayrı ayrı Getis-Ord G_i^* istatistiğini hesaplar. Ardından, her bir konum için zaman boyunca elde edilen z-skorlarının eğilimini değerlendirmek üzere Mann-Kendall Trend Testi uygulanır. Analiz sonucunda, her bir konumun zaman içindeki davranışı belirli kategorilere ayrılır. Toplamda yeni, ardışık, şiddetlenen, kalıcı, azalan, sporadik ve salınımlı olmak üzere sıcak ve soğuk noktalar için 17 farklı kategori elde edilir (De Cos vd., 2021; Naqvi vd. 2021; Yalçınkaya & Ruhbas, 2022; Singh vd., 2022; Kim vd., 2023; ESRI, 2026). EHSA için oluşturulan Uzak-Zaman Küpü parametreleri, verinin zamansal ve konumsal çözünürlüğüne uygun olarak optimize edilmiştir. Konumsal kutu (spatial bin) boyutu, çalışma alanının grid yapısına uygun olarak altıgen hücre boyutunda tutulurken, zamansal kutu (time step interval) aralığı 1 ay olarak belirlenmiştir. Komşuluk mesafesi, Getis-Ord G_i^* analizinde tespit edilen eşik mesafe ile uyumlu olarak tanımlanmış olup, komşuluk zaman adımı ise ardışık eğilimleri yakalayabilmek amacıyla 1 zaman adımı (1 ay) olarak ayarlanmıştır.

3. Bulgular

Türkiye'deki kuş gözlem kayıtlarının konumsal–zamansal (spatio–temporal) evrimini gösteren Getis-Ord G_i^* analizi sonuçları, verilerin rastlantısal olmayan ve dönemsel olarak değişkenlik gösteren bir konumsal otokorelasyon deseni sergilediğini göstermektedir. Oluşturulan haritalarda kırmızı tonlar yüksek değerlerin istatistiksel olarak anlamlı kümeleniği sıcak noktaları (pozitif G_i^* Z-skoru), mavi tonlar ise düşük değerlerin yoğunlaştığı soğuk noktaları (negatif G_i^* Z-skoru) temsil etmektedir. Açık tonlar daha düşük istatistiksel anlamlılık düzeylerini gösterirken koyu tonlar daha güçlü konumsal otokorelasyonu ifade etmektedir. Yapılan analiz sonuçları, kuş gözlemlerinin zaman içerisinde belirli coğrafi bölgelerde yoğunlaşma eğilimi gösterdiğini ve bu kümelenmelerin dönemsel olarak konumsal kaymalar sergilediğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada ilk olarak Şekil 1'de sunulan ham gözlem sayılarının konumsal dağılımı incelenmiştir. Ham verilere ait grid dağılımı, gözlemlerin Marmara, Ege ve İç Anadolu'nun belirli metropol alanlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu ham yoğunluk haritası, yerel otokorelasyon analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; ham veri sayısının yüksek olduğu alanların Getis-Ord G_i^* analizinde de yüksek pozitif Z-skorları üreterek sıcak noktalara dönüştüğü görülmektedir. Ancak, ham veri sayısının nispeten düşük olduğu bazı kırsal/sulak alan geçiş koridorlarında da (örneğin; Göksu Deltası çevresi) komşuluk matrisi sayesinde istatistiksel olarak anlamlı sıcak noktaların belirmesi, Getis-Ord G_i^* yönteminin ham yoğunluk haritalarındaki gözlemci yoğunluğu gürültüsünü filtreleyerek gerçek konumsal kümelenmeleri tespitteki üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

1900 – 1999 dönemine ait Şekil 3(a)'da gösterilen G_i^* analiz sonuçları incelendiğinde, özellikle Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde belirgin bir yüksek değerli konumsal kümelenme (hot spot) olduğu görülmektedir. Marmara ve Batı Karadeniz geçiş bölgesinde yoğunlaşan bu yüksek G_i^* Z-skorları, uzun dönemli kuş gözlemlerinin bu bölgede istatistiksel olarak anlamlı biçimde kümeleniğini göstermektedir. Buna karşılık İç Anadolu'nun doğu kesimleri ile Doğu Anadolu'nun geniş bir bölümünde negatif Z-skorlarının hakim olduğu soğuk nokta (cold spot) alanları dikkat çekmektedir. Bu durum, söz konusu bölgelerde gözlenen kuş sayılarının konumsal olarak düşük değerler etrafında kümeleniğini ve gözlem yoğunluğunun sınırlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Çalışma dönemlerine göre Getis–Ord Gi* Analizi sonuçları: a) 1900–1999, b) 2000–2004, c) 2005–2009, d) 2010–2014, e) 2015–2019, f) 2020–2024

2000 – 2004 döneminin gösterildiği Şekil 3(b)'de konumsal desen kısmen değişim göstermektedir. Kuzeybatı Anadolu'daki güçlü sıcak nokta karakteri devam etmekle birlikte, Orta Anadolu'nun bazı kesimlerinde ve Akdeniz kıyı kuşağında yeni yerel sıcak nokta kümelenmeleri olduğu görülmektedir. Sıcak noktaların Marmara Bölgesi ve Ankara gibi belirli merkezler etrafında daha lokalize bir yapıya büründüğü gözlemlenmektedir. Buna karşılık Doğu Anadolu ve Orta Anadolu'nun doğu kesimlerinde geniş bir negatif konumsal otokorelasyon alanının belirginleşerek genişlediği görülmektedir.

2005 – 2009 dönemine ait analiz sonuçlarının görüldüğü Şekil 3(c)'de, sıcak nokta alanlarının batı bölgelerde devam ettiği ancak konumsal dağılımın daha parçalı bir yapı kazandığı görülmektedir. Marmara Bölgesi çevresindeki güçlü kümelenmeye ek olarak Ege ve İç Anadolu'nun bazı kesimlerinde orta düzeyde pozitif Gi* değerleri gözlenmektedir. Buna karşılık Doğu Anadolu ve Orta Anadolu'nun doğu kesimlerinde geniş ve süreklilik gösteren soğuk nokta kümelenmesi dikkat çekmektedir.

Şekil 3(d)'de gösterilen 2010 – 2014 döneminde sıcak nokta alanlarının konumsal yayılımında belirli bir genişleme gözlenmektedir. Kuzeybatı Anadolu'daki güçlü kümelenme korunurken, Batı Anadolu ve Doğu Akdeniz kıyı kuşağında orta düzeyde pozitif Z–skorlarının arttığı görülmektedir. Buna karşın Orta Anadolu'nun doğu kesimleri ile Doğu Anadolu'da negatif G_i^* değerlerinin oluşturduğu geniş soğuk nokta bölgesi devam etmektedir. Bu durum, kuş gözlemlerinin konumsal olarak batı ve kıyı bölgelerde yoğunlaştığını, iç ve doğu kesimlerde ise görece daha düşük yoğunluklu bir dağılım sergilediğini göstermektedir.

2015 – 2019 döneminde sıcak nokta alanlarının konumsal yoğunluğu özellikle kuzeybatı Anadolu'da belirgin şekilde korunmaktadır (Şekil 3(e)). Marmara ve Batı Karadeniz geçiş bölgesindeki yüksek G_i^* Z–skorları bu alanın sürekli bir sıcak nokta çekirdeği olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak Orta Anadolu'nun bazı kesimlerinde ve Akdeniz kıyılarında yerel sıcak nokta kümelenmeleri görülmektedir. Bununla birlikte Doğu Anadolu ve Orta Anadolu'nun doğu kesimlerinde devam eden geniş negatif Z–skoru alanları, bu bölgelerin uzun dönem boyunca kalıcı soğuk nokta alanları olarak kaldığını ortaya koymaktadır.

Son olarak Şekil 3(f)'de gösterilen 2020 – 2024 dönemine ait analiz sonuçları, önceki dönemlerde gözlenen genel konumsal eğilimlerin büyük ölçüde devam ettiğini göstermektedir. Kuzeybatı Anadolu'da yüksek anlamlılığa sahip güçlü sıcak nokta kümelenmesi sürerken, Orta Anadolu'nun bazı kesimlerinde ve Doğu Karadeniz çevresinde daha sınırlı pozitif kümelenmeler gözlenmektedir. Buna karşılık Doğu Anadolu'nun geniş bir bölümünde negatif G_i^* Z–skorlarının oluşturduğu geniş bir soğuk nokta kuşağı devam etmektedir. Ancak son dönemlerde sıcak nokta özelliği gösteren Iğdır ve çevresinde bulunan bölgenin sıcak nokta özelliğinin artış gösterdiği görülmektedir.

Şekil 3 genel olarak incelendiğinde Marmara Bölgesi, Kuzeybatı Anadolu ve kıyı şeritlerinde gözlenen kalıcı sıcak nokta kümelenmelerinin arkasında hem biyoçeşitlilik (ekolojik) hem de beşeri coğrafya kaynaklı iki temel neden bulunmaktadır. İlk olarak bu coğrafi bölgeler (İstanbul Boğazı, Meriç Deltası, Uluabat Gölü, Kızılırmak Deltası vb.), Afrika-Avrupa arası ana kuş göç rotalarının darboğaz noktalarında yer almaktadır. İkinci olarak, vatandaş bilimi verilerindeki en büyük sistematik hata olan gözlemci yanlılığı bu alanlarda etkindir; nüfus yoğunluğunun, sosyo-ekonomik gelişmişliğin ve akademik merkezlerin yüksek olduğu metropoller (İstanbul, Ankara, İzmir) çevresinde gözlem çabasının artması yapay bir konumsal kümelenme eğilimi yaratmaktadır. Doğu Anadolu ve İç Anadolu'nun doğusunda görülen geniş soğuk nokta kümelenmeleri ise topografik engebenin yüksekliği, sert karasal iklim şartları nedeniyle kış aylarında saha gözlemlerinin kesintiye uğraması ve bu bölgelerdeki kuş gözlemci sayısının azlığından kaynaklanmaktadır.

Çalışmanın son aşamasında tespit edilen sıcak noktaların ülke içerisinde bulunan Ramsar, Ulusal ve Mahalli Öneme Sahip Sulak alanlarla olan ilişkisine odaklanılmıştır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından elde edilen alanlara ait sınırlar ile farklı dönemlere ait oluşturulan konumsal analiz haritaları karşılaştırılarak meydana gelen sıcak noktaların bu alanlarla olan korelasyonları değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Çalışma dönemlerine göre istatistiksel anlamlılık düzeylerine sahip hücre (Grid) sayıları

Zaman Periyodu	Soğuk Nokta (%99 Güven) $Z < -2.58$	Soğuk Nokta (%95 Güven) $-2.58 < Z < -1.96$	Soğuk Nokta (%90 Güven) $-1.96 < Z < -1.65$	Anlamlı Değil (Random) $-1.65 < Z < 1.65$	Sıcak Nokta (%90 Güven) $1.65 < Z < 1.96$	Sıcak Nokta (%95 Güven) $1.96 < Z < 2.58$	Sıcak Nokta (%99 Güven) $Z > 2.58$
1900 - 1999	95	129	137	195	106	49	59
2000 - 2004	238	219	116	74	42	51	30
2005 - 2009	179	146	159	142	78	41	25
2010 - 2014	204	164	148	91	107	35	21
2015 - 2019	188	162	149	115	80	56	20
2020 - 2024	280	172	110	89	70	38	11

Analiz edilen altı farklı zaman periyoduna ait Getis–Ord G_i^* sonuçlarının istatistiksel güven düzeylerine göre konumsal hücre (grid) dağılımları Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu tablo, sıcak ve soğuk nokta kümelerinin zaman içerisindeki alansal genişleme ve daralma eğilimlerini nicel olarak ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Türkiye sınırları içerisinde bulunan Ramsar, ulusal ve mahalli öneme sahip sulak alanlar

Şekil 4'te Türkiye ülke sınırları içerisinde bulunan 14 adet Ramsar Alanı, 80 adet ise Ulusal ve Mahalli Öneme Sahip Sulak Alan gösterilmektedir. Türkiye sınırları içerisinde bulunan bu alanların toplamı 1 milyon 186 bin 466 hektara ulaşmaktadır. Aşağıda verilen Tablo 2'de Ramsar alanlarına ait bilgiler gösterilmektedir.

Tablo 2. Türkiye sınırları içerisinde bulunan RAMSAR alanları (Ramsar Sites Information Service, 2026)

	Adı	Bulunduğu il	Alanı (ha)	Konumu
RAMSAR ALANLARI	Akyatan Lagoon	Adana	14,700 ha	36°37'K 035°15'D
	Gediz Delta	Izmir	14,900 ha	38°31'K 026°53'D
	Göksu Delta	Mersin	15,000 ha	36°17'K 033°59'D
	Kizilirmak Delta	Samsun	21,700 ha	41°38'K 035°59'D
	Kizören Obrouk	Konya	127 ha	38°10'K 033°11'D
	Lake Burdur	Burdur, Isparta	24,800 ha	37°44'K 030°12'D
	Lake Kus	Balıkesir	20,400 ha	40°11'K 027°58'D
	Lake Kuyucuk	Kars	416 ha	40°45'K 043°27'D
	Lake Seyfe	Kırşehir	10,700 ha	39°11'K 034°25'D
	Lake Uluabat	Bursa	19,900 ha	40°10'K 028°35'D
	Meke Maar	Konya	202 ha	37°41'K 033°38'D
	Nemrut Caldera	Bitlis	4,589 ha	38°37'K 042°14'D
	Sultan Marshes	Kayseri	17,200 ha	38°19'K 035°15'D
	Yumurtalık Lagoons	Adana	19,853 ha	36°40'K 035°38'D

Türkiye genelinde kuş gözlemlerine dayalı olarak gerçekleştirilen Getis–Ord Gi* konumsal sıcak nokta analizi sonuçları ile haritada gösterilen sulak alanların dağılımı birlikte değerlendirildiğinde, kuş gözlemlerinin konumsal kümelenme eğilimi ile sulak alanların konumsal dağılımı arasında önemli bir ilişki olduğu görülmektedir. Sulak alanlar, kuş türleri için beslenme, üreme, konaklama ve göç sırasında dinlenme gibi kritik ekolojik işlevler sağladığından, kuş gözlemlerinin yoğunlaştığı bölgelerin büyük ölçüde bu habitatlarla çakışması zaten beklenen bir durumdur.

Bu nedenle, sıcak nokta analizi sonuçlarında özellikle Marmara Bölgesi, Batı Karadeniz kıyıları, Ege kıyı kuşağı ve Akdeniz deltaları çevresinde belirginleşen yüksek Gi^* Z-skoru değerlerinin, haritada gösterilen sulak alan kümeleri ile konumsal olarak büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

Özellikle Marmara ve Batı Anadolu çevresinde yoğunlaşan sıcak nokta alanlarının, Kuş (Manyas) Gölü Ramsar Alanı, Gönen Deltası, İznik Gölü çevresi, Gediz Deltası Ramsar Alanı ve Küçük Menderes Deltası gibi önemli sulak alan sistemleri ile doğrudan ilişki içinde olduğu dikkat çekmektedir. Bu alanlar, hem yerel hem de göçmen kuş türleri için kritik habitatlar oluşturduğundan, uzun dönemli gözlem verilerinde yüksek yoğunluklu kümelenmelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde Akdeniz kıyı kuşağında bulunan Göksu Deltası Ramsar Alanı, Akyatan Lagünü Ramsar Alanı ve Yumurtalık Lagünleri Ramsar Alanı gibi deltaların çevresinde de belirli dönemlerde sıcak nokta karakteri gösteren kümelenmelerin olduğu gözlenmektedir. Bu durum, kıyı deltalarının ve lagün sistemlerinin kuş popülasyonlarının konumsal dağılımında belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Karadeniz kıyı kuşağında yer alan Kızılırmak Deltası Ramsar Alanı, Yeşilirmak Deltası ve Aksaz Sazlıkları gibi sulak alanların çevresinde de orta düzeyde pozitif konumsal kümelenmelerin olduğu görülmektedir. Bu alanlar özellikle göç yolları üzerinde yer almaları nedeniyle kuş gözlemlerinin yoğunlaştığı önemli durak noktalarıdır. Bununla birlikte İç Anadolu’da bulunan Sultan Sazlığı Ramsar Alanı, Tuz Gölü, Seyfe Gölü Ramsar Alanı ve Meke Maarı Ramsar Alanı gibi sulak alanların çevresinde yerel ölçekte sıcak nokta karakteri gösteren küçük ölçekli kümelenmeler dikkat çekmektedir. Eğirdir, Beyşehir, Akşehir–Eber ve Tuz Gölü gibi geniş sulak alan sistemlerinin bulunduğu bölgelerde, analiz periyotlarının çoğunda (özellikle 1900–1999 ve 2010–2014) istatistiksel olarak anlamlı sıcak noktalar tespit edilmiştir. Bu sulak alanların varlığı, bölgedeki konumsal otokorelasyonun pozitif yönde güçlenmesini sağlayan temel ekolojik faktördür. Ancak bu kümelenmelerin kıyı bölgelerdeki kadar geniş bir konumsal yayılıma sahip olmadığı görülmektedir. Bu durum, İç Anadolu’daki sulak alanların daha sınırlı ve parçalı bir dağılım göstermesiyle de ilişkilendirilebilir.

Öte yandan Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan bazı sulak alanların (Aras–Karası Taşkın Ovası, Nemrut Kalderası, Hazar Gölü ve Doğubayazıt Sazlıkları gibi) çevresinde belirli yerel kümelenmeler gözlenmekle birlikte, genel konumsal analiz sonuçlarında bu bölgelerin çoğunlukla soğuk nokta karakteri gösterdiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu bölgelerde sulak alan varlığının bulunmasına rağmen kuş gözlemlerinin görece olarak daha az yoğun olmasıyla açıklanabilir. Bu farklılığın temel nedenleri arasında bölgesel gözlem yoğunluğunun düşük olması, veri toplama faaliyetlerinin batı bölgelerde daha yoğun gerçekleşmesi ve bazı sulak alanların erişilebilirliğinin sınırlı olması sayılabilir.

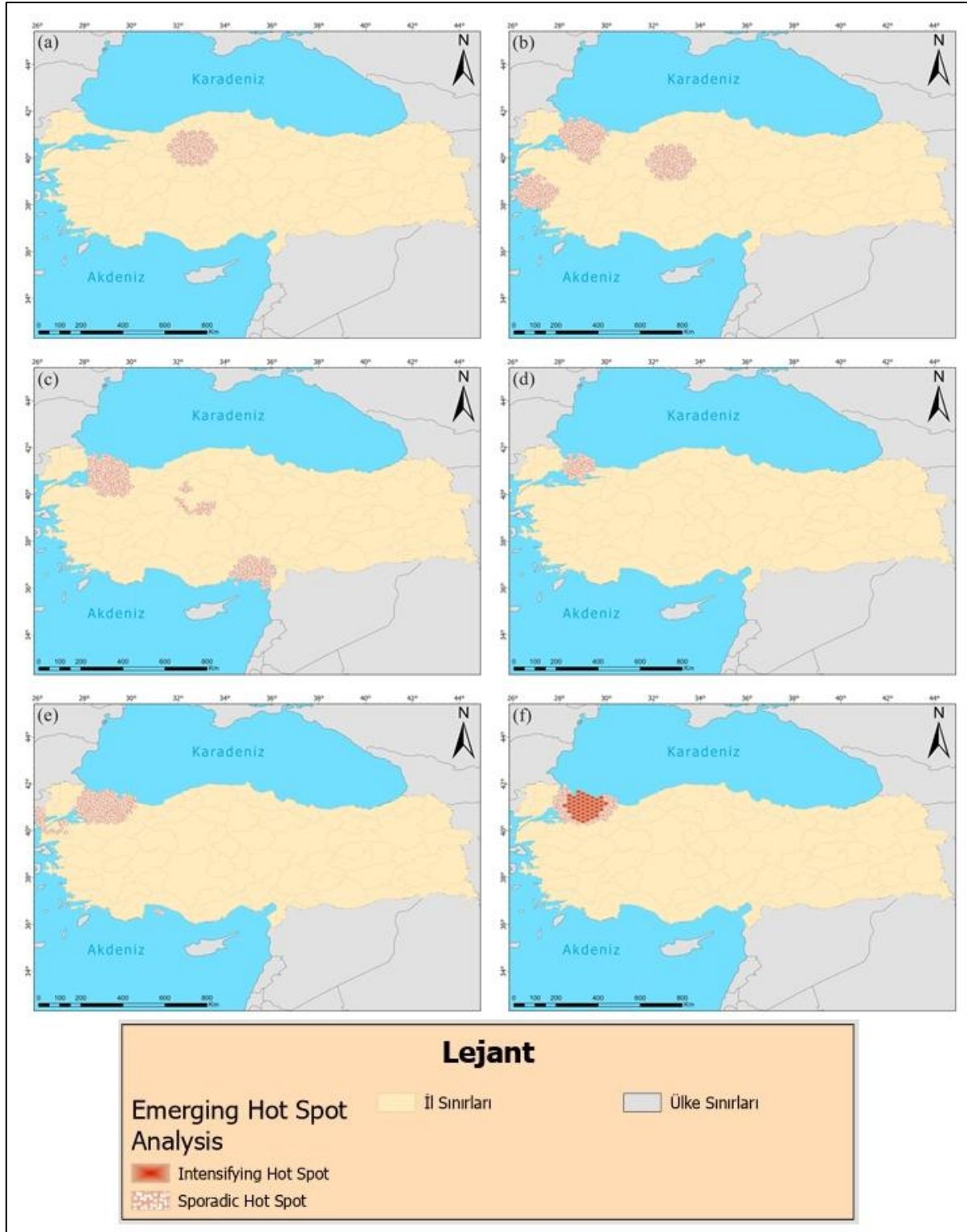
Getis–Ord Gi^* sıcak nokta analizi sonuçları ile Türkiye’deki sulak alanlar genel olarak değerlendirildiğinde, konumsal dağılımı arasında güçlü bir ekolojik ve konumsal ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Kuş gözlemlerinin yüksek yoğunluk gösterdiği sıcak nokta bölgelerinin büyük ölçüde deltalar, lagünler, göller ve sazlık sistemleri gibi biyolojik üretkenliği yüksek sulak alanlarla çakıştığı görülmektedir. Sıcak nokta analiz haritaları ile Ramsar ve ulusal öneme haiz sulak alan katmanları arasında CBS tabanlı vektörel kesişim analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tüm zaman periyotları boyunca istatistiksel olarak %99 güven düzeyine sahip (Z -skoru $> +2.58$) sıcak nokta hücrelerinin alan bazında %71.4’ünün en az bir Ramsar veya tescilli sulak alan poligon sınırlarıyla doğrudan çakıştığı/kesiştiği tespit edilmiştir. Bu durum, sulak alanların kuş popülasyonlarının konumsal dağılımını belirleyen temel habitat bileşenlerinden biri olduğunu ve bu alanların korunmasının kuş çeşitliliği ve popülasyon sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca analiz sonuçları, kuş gözlemlerinin yoğunlaştığı bölgelerin sulak alan koruma ve izleme çalışmalarında öncelikli alanlar olarak değerlendirilebileceğini de göstermektedir.

Çalışmada son olarak kuş gözlemlerinin zaman içindeki eğilimlerinin analiz edilmesi amacıyla EHSA işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz yardımıyla Getis Ord Gi^* yöntemiyle meydana gelen sıcak veya soğuk noktaların karakteristiklerinin sınıflandırılarak zaman içerisindeki davranışlarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. 1900–2024 yılları arasında gözlemlenen kuş sayıları kullanılarak gerçekleştirilen EHSA sonuçları, kuş gözlemlerinin Türkiye’de zamansal sürekliliğe sahip konumsal kümelenme eğilimlerini ortaya koymaktadır. EHSA yöntemi, konumsal sıcak nokta oluşumlarını yalnızca belirli bir zaman diliminde değil, zaman serisi boyunca değişim eğilimleri ile birlikte değerlendirerek yeni oluşan (new), ardışık (consecutive), sporadik (sporadic), güçlenen (intensifying) veya kalıcı (persistent) sıcak noktalar gibi farklı konumsal–zamansal desenleri belirlemektedir. Şekil 5 genel olarak değerlendirildiğinde, analiz sonuçlarının büyük ölçüde Türkiye’nin kuzeybatı kesiminde, özellikle Marmara Bölgesi ve çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 5(a) incelendiğinde, analiz sonuçlarının Türkiye’nin kuzeybatı kesiminde sınırlı bir alanda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu aşamada konumsal kümelenme oldukça dar bir bölgede ortaya çıkmakta olup, kuş gözlemlerinin özellikle Marmara Bölgesi’nin iç kesimlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, erken dönem gözlem verilerinin belirli lokal alanlarda yoğunlaştığını ve henüz geniş bir konumsal yayılım göstermediğini ortaya koymaktadır.

Şekil 5(b)’de konumsal kümelenmenin kısmen genişlediği görülmektedir. Marmara Bölgesinin doğusundaki yoğunlaşmaya ek olarak Ege kıyı kuşağı ve İç Anadolu’nun bazı kesimlerinde sınırlı sayıda yeni kümelenmeler ortaya çıkmaktadır. Bu durum, gözlem faaliyetlerinin farklı bölgelere yayılmasıyla birlikte belirli alanlarda sporadik sıcak nokta karakterine sahip geçici yoğunlaşmaların oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 5(c)'de konumsal dağılımın daha parçalı bir yapı kazandığı görülmektedir. Kuzeybatı Anadolu'daki yoğunlaşmaya ek olarak Akdeniz'in doğu kıyı kuşağı ve İç Anadolu'nun belirli kesimlerinde küçük ölçekli kümelenmeler dikkat çekmektedir. Akdeniz havzasındaki Çukurova bölgesinde de bu dalgalı seyrin belirmesi, kuş gözlem verilerinin bölgesel olarak değişkenlik gösteren bir sürekliliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu dağılım, bazı bölgelerde belirli dönemlerde ortaya çıkan ardışık veya sporadik sıcak nokta oluşumlarının varlığına işaret etmektedir. Ancak bu alanlar geniş bir süreklilik göstermemekte ve daha çok dönemsel yoğunlaşmalar şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Çalışma dönemlerine göre Emerging Hot Spot Analizi sonuçları: a) 1900–1999, b) 2000–2004, c) 2005–2009, d) 2010–2014, e) 2015–2019, f) 2020–2024

Şekil 5(d)'de kümelenmenin yeniden daha sınırlı bir alanda yoğunlaştığı görülmektedir. Analiz sonuçları büyük ölçüde İstanbul ve çevresinde toplanmakta, diğer bölgelerdeki kümelenmelerin önemli ölçüde azaldığı dikkat çekmektedir. Bu durum, gözlem yoğunluğunun belirli merkezlerde daha güçlü bir şekilde yoğunlaştığını göstermektedir. Şekil 5(e)'de kuzeybatı Anadolu'daki kümelenmenin tekrar genişlediği ve özellikle Marmara Bölgesi ile Batı Karadeniz geçiş alanında daha geniş bir sıcak nokta kümesinin oluştuğu görülmektedir. Bu dağılım, bölgede gözlem yoğunluğunun artmasıyla birlikte konumsal kümelenmenin daha geniş bir alana yayıldığını göstermektedir. Şekil 5(f) ise analiz sonuçlarının en belirgin konumsal yoğunlaşmasını ortaya koymaktadır. Bu dönemde Marmara Bölgesi çevresinde, özellikle İstanbul–Kocaeli aksında, güçlenen ve süreklilik gösteren sıcak nokta hücreleri dikkat çekmektedir. Bu durum, uzun dönemli zaman serisi boyunca bu bölgede kuş gözlemlerinin sürekli ve artan bir yoğunluk sergilediğini göstermektedir. Ayrıca bölgenin tüm zaman basamaklarının en az %90'ında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta olduğunu ve kümelenme yoğunluğunun zamanla doğrusal bir artış sergilediğini teknik olarak doğrulamaktadır. Buna karşın, Türkiye'nin doğu ve kuzeydoğu bölgelerinde herhangi bir sıcak nokta kategorisinin belirmemesi, Getis–Ord Gi* analizlerindeki soğuk nokta eğilimleriyle paralellik göstererek, bu alanlardaki düşük gözlem yoğunluğunun zaman serisi boyunca kırılmadığını ve istatistiksel olarak durağan bir veri boşluğu veya düşük yoğunluk alanı olarak kaldığını ortaya koymaktadır.

EHSA sonuçları, Türkiye'de kuş gözlemlerinin konumsal–zamansal olarak özellikle Marmara Bölgesi merkezli bir çekirdek alan etrafında yoğunlaştığını, diğer bölgelerde ise daha çok geçici ve düzensiz kümelenmeler şeklinde ortaya çıktığını göstermektedir. Bu sonuçlar hem gözlem faaliyetlerinin konumsal dağılımını hem de kuş popülasyonlarının belirli habitat alanlarında yoğunlaşma eğilimlerini anlamak açısından önemli konumsal ipuçları sunmaktadır.

4. Tartışma

Vatandaş bilimi verilerinin konumsal analizlerde kullanılması son yıllarda biyoçeşitlilik araştırmalarında giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle eBird gibi geniş ölçekli veri tabanları, kuşların dağılımı, göç rotaları ve popülasyon eğilimlerinin belirlenmesinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Sullivan vd. (2014), eBird verilerinin dünya genelinde kuşların yıllık döngülerinin anlaşılması ve koruma stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir veri altyapısı sunduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen konumsal kümelenme desenlerinin, vatandaş bilimi verilerinin uygun konumsal istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi durumunda ekolojik çıkarımlar üretme potansiyelini doğruladığı görülmektedir.

Benzer şekilde Johnston vd. (2021), eBird verilerinin ekolojik modelleme çalışmalarında kullanılabilmesi için gözlem çabasını tanımlayan değişkenlerin analizlere dahil edilmesinin kritik öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmada özellikle batı bölgelerinde gözlenen güçlü sıcak nokta kümelenmelerinin bir kısmının gözlem yoğunluğu ile ilişkili olabileceği dikkate alındığında, bu bulgular Johnston vd. (2021) tarafından önerilen metodolojik yaklaşımlarla uyum göstermektedir.

Kuş gözlemlerinin sulak alanlar çevresinde yoğunlaşması, literatürde sıklıkla rapor edilen bir durumdur. Sulak alan ekosistemleri, kuş türleri için beslenme, üreme ve göç sırasında dinlenme gibi temel habitat işlevleri sağlamaktadır. Bacaro vd. (2011), İtalya'nın Toskana bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmada kuş tür zenginliğinin özellikle sulak alanlar ve yüksek biyolojik üretkenliğe sahip habitatlarda yoğunlaştığını göstermiştir. Benzer şekilde Brotons vd. (2004), kuş habitatlarının tahminlenmesinde habitat özelliklerinin konumsal dağılımının tür varlığı üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda Türkiye'deki Ramsar alanları çevresinde tespit edilen sıcak nokta kümelenmeleri, literatürde belirtilen habitat–tür ilişkisini destekler niteliktedir.

Türkiye'deki ornitolojik gözlem kayıtlarının 1900 – 2024 yılları arasındaki konumsal–zamansal evrimini ortaya koyan Getis–Ord Gi* analizi sonuçları, gözlem verilerinin dağılımında salt ekolojik dinamiklerin değil, aynı zamanda çevresel ve antropojenik faktörlerin karmaşık bir etkileşiminin rol oynadığını göstermektedir. Oluşturulan haritalarda yüksek Z–skoru değerlerine sahip sıcak noktaların Marmara Havzası, Ege kıyı şeridi ve Güney–İç Anadolu geçiş kuşağında kümelenmesi, Türkiye'nin önemli sulak alan ekosistemlerinin (Kızılırmak ve Yeşilirmak deltaları, Gediz Deltası, Göksu Deltası vb.) ve majör göç yollarının (darboğazların) coğrafi dağılımı ile doğrudan örtüşmektedir. Bu durum, söz konusu alanlardaki yüksek biyoçeşitliliği ve taşıma kapasitesini teyit eder niteliktedir. Ancak 2000'li yıllardan itibaren, özellikle 2010 – 2024 periyotlarında sıcak noktaların İstanbul, Ankara ve İzmir gibi metropollerin çeperlerinde giderek daha fazla görülmesi, nüfus yoğunluğu ve kentleşme ile gözlem eforu arasındaki pozitif korelasyonu açıkça ortaya koymaktadır. Akıllı telefonların ve eBird gibi vatandaş bilimi platformlarının yaygınlaşması, demografik olarak yoğun bölgelerde devasa bir veri yığılmasına neden olmuş ve konumsal örnekleme yanlılığını artırmıştır. Vatandaş bilimi verilerinin konumsal analizlerinde örnekleme yanlılığı önemli bir metodolojik sınırlılık olarak değerlendirilmektedir. La Sorte ve Somveille (2020), eBird veri setlerinin küresel ölçekte en yoğun olarak Kuzey Amerika ve Avrupa gibi bölgelerde toplandığını ve veri yoğunluğunun insan popülasyonu ile güçlü bir ilişki gösterdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada Marmara ve Ege bölgelerinde yoğunlaşan sıcak nokta kümelenmelerinin kısmen gözlem faaliyetlerinin yoğunluğu ile ilişkili olması, La Sorte ve Somveille (2020) tarafından ortaya konan küresel veri dağılımı eğilimleriyle paralellik göstermektedir.

Buna karşın, oluşturulan haritalar incelendiğinde, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'in iç kesimlerinin 1900 yılından 2024 yılına kadar olan tüm zaman periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı soğuk noktalar olarak kalmaya devam ettiği görülmektedir. Doğu Anadolu'nun ortalama yükseltisinin oldukça fazla olması (>1500 m) ve sarp dağlık arazisi, mikroklimal alanları sınırlandırarak birçok genelde kuş türü için habitat uygunluğunu azaltmaktadır (Atalay & Efe, 2010). Bu karmaşık coğrafi yapı, türlerin dikey ve yatay yayılımını engelleyen doğal bir bariyer işlevi görmektedir (Avcı, 2005). Ayrıca, bölgedeki sert karasal iklim, uzun süren kar örtüsü süresi ve ekstrem düşük kış sıcaklıkları, kuşların vücut ısısının düzenlenmesini, besin bulma ve üreme döngülerini doğrudan kısıtlamaktadır (Şensoy vd., 2008). Batı ve güney bölgelerindeki daha ılıman Akdeniz ve geçiş iklim kuşaklarındaki habitat çeşitliliğinin aksine, bu sert çevresel koşullar tür yoğunluğunu yüksek dağ ekosistemlerine uyum sağlamış belirli uzmanlaşmış türlerle sınırlandırmaktadır (Ekim vd., 2000). Batı bölgelerinde gözlemlenen zengin sulak alan, kıyı lagünleri ve karmaşık orman ekosistemlerine kıyasla, doğu bölgelerinde daha homojen olan yüksek dağ bozkırlarının ve çayırların baskın olması, toplam tür ve birey sayısının (dolayısıyla gözlem miktarının) düşük kalmasına neden olan temel biyo-coğrafi faktörler olarak değerlendirilmektedir (Atalay & Efe, 2010; Danacıoğlu & Öngül, 2024).

Mekânsal istatistikte yerel Getis-Ord Gi* analizinde negatif Z-skorumlarının kümelenmesiyle ortaya çıkan soğuk noktalar, öznitelik değerinin düşük olduğu alanların coğrafi birlikteliğini gösterir. Bu çalışmada öznitelik veri tipi gözlem sayıları olduğundan, Doğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu'nun doğusunda geniş yer kaplayan soğuk noktaların ekolojik bir yokluğu mu yoksa bir veri boşluğunu mu temsil ettiği sorusu kritik bir metodolojik öneme sahiptir. Söz konusu soğuk nokta poligonları, uluslararası öneme sahip ve biyolojik üretkenliği oldukça yüksek olan RAMSAR sulak alan sınırları (örn. Kuyucuk Gölü, Aras Karasu Taşkın Ovası) ile üst üste çakıştırıldığında, ekolojik açıdan zengin bu habitatların da soğuk nokta karakteri sergilediği görülmüştür. Bu durum, ortaya çıkan soğuk noktaların mutlak bir kuş azlığından ziyade; bölgenin yüksek topoğrafik eğimi, sarp arazi yapısı, sert iklim koşulları ve düşük insan nüfusu nedeniyle kuş gözlemcilerinin erişim sağlayamamasından kaynaklanan bir örnekleme eksikliği ve konumsal veri boşluğu olduğunu doğrulamaktadır.

Marmara Bölgesi'ndeki, özellikle de İstanbul, Kocaeli ve Bursa hattını kapsayan, Yoğunlaşan Sıcak Nokta (Intensifying Hot Spot) alanlarının oluşması, kuş gözlem yoğunluğunun 1900'den 2024'e kadar olan tüm zaman basamaklarının en az %90'ında istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek seviyede kaldığını ifade etmektedir. Bu durumun oluşmasındaki en önemli etken, bölgedeki Manyas (Kuş Gölü), Uluabat Gölü, İzmit Körfezi ve Meriç Deltası gibi uluslararası öneme sahip Ramsar alanlarının ve sulak alanların, kuşlar için tarihsel süreçte hayati önemini korumasıdır. Marmara Bölgesi, özellikle İstanbul Boğazı, üzerinden geçen ana göç yollarının üzerinde bir darboğaz işlevi görmektedir. EHSA haritalarındaki süreklilik gösteren desen, bu coğrafi zorunluluğun ve göç rotasının son yüzyılda değişmeden kaldığını, kuşların bu koridoru istikrarlı bir şekilde kullanmaya devam ettiğini doğrulamaktadır. Ayrıca bu bölgenin Türkiye'nin en yoğun kentleşmiş ve sanayileşmiş alanları olmalarına rağmen tüm zaman periyotlarında sıcak nokta olarak kalması, mevcut sulak alanların ve koruma altındaki ekosistemlerin kuş popülasyonları için hala vazgeçilmez bir sığınak alanları olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Ramsar ve sulak alanlar, kuşlar için hayati önem taşıyan ve iklim krizine karşı en savunmasız ekosistemlerdir. Getis-Ord Gi* haritalarında İç Anadolu'nun merkezindeki (Tuz Gölü, Sultan Sazlığı çevresi) sıcak noktaların zaman içindeki yoğunluk değişimleri, bu bölgelerdeki su seviyesi ve habitat kalitesindeki değişimlerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Türkiye, Akdeniz Havzası'nda yer alması nedeniyle iklim krizinden en çok etkilenen bölgelerden biridir. Özellikle İç Anadolu ve Ege'deki sulak alanların zaman içerisinde kuraklık sebebiyle yok olması, kuş popülasyonlarının kuzeye veya daha kararlı su kaynaklarının olduğu bölgelere doğru kaymasına neden olmaktadır. Bu durum, uzun vadede oluşturulan haritalardaki sıcak noktaların konumsal olarak yer değiştirmesine veya doğudaki soğuk noktaların daha da derinleşmesine yol açabileceği göz ardı edilmemesi gereken bir gerçektir. İklim krizi, kuşların göç zamanlamalarını ve rotalarını etkileyebilmektedir. Haritalarda 2000'li yıllardan sonra batıdaki sıcak noktaların kuzeye doğru genişleme eğilimi veya yoğunluk artışı, türlerin değişen iklim koşullarına tepki olarak habitat değiştirmesinin bir yansıması olabilir. Ayrıca uzaktan algılama ve CBS tekniklerinin kuş dağılım modelleri ile birlikte kullanılması, geniş ölçekli ekolojik süreçlerin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Osborne vd. (2001), uzaktan algılama verilerini kullanarak kuş habitatlarının modellenmesinin saha çalışmalarının maliyetini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan konumsal istatistiksel yöntemler de benzer şekilde büyük veri setleri üzerinden kuş gözlemlerinin konumsal eğilimlerini ortaya koyarak CBS tabanlı analizlerin biyoçeşitlilik çalışmalarındaki önemini desteklemektedir.

Sonuç olarak, yüzyılı aşkın bir süreyi kapsayan bu altıgensel otokorelasyon deseni; Türkiye'nin kuş biyoçeşitlilik haritasının su kaynaklarının varlığı, nüfus yoğunluğu, topoğrafik pürüzlülük ve iklim krizi ekseninde şekillendiğini işaret etmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışma, 1900–2024 yılları arasında Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştirilen kuş gözlemlerinin konumsal ve zamansal dağılımını inceleyerek, vatandaş bilimi verilerinin konumsal istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesinin geniş ölçekli biyoçeşitlilik desenlerini ortaya koymada önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

eBird veri tabanından elde edilen 3 milyondan fazla gözlem kaydının Getis–Ord Gi* ve EHSA yöntemleriyle değerlendirilmesi sonucunda, kuş gözlemlerinin Türkiye genelinde rastlantısal bir dağılım sergilemediği ve belirli bölgelerde istatistiksel olarak anlamlı konumsal kümelenmeler oluşturduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, özellikle Marmara Bölgesi ve Kuzeybatı Anadolu’nun uzun dönem boyunca güçlü ve süreklilik gösteren sıcak nokta alanları olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, bölgenin hem uluslararası öneme sahip sulak alanlara ev sahipliği yapması hem de önemli göç koridorları üzerinde yer alması ile yakından ilişkilidir. Buna karşılık Doğu Anadolu ve Orta Anadolu’nun doğu kesimlerinin analiz dönemlerinin büyük bölümünde soğuk nokta karakteri göstermesi, hem ekolojik koşullar hem de gözlem faaliyetlerinin konumsal dağılımındaki eşitsizliklerle açıklanabilir.

Zamansal analiz sonuçları, kuş gözlemlerinin özellikle Marmara Bölgesi merkezli bir çekirdek alan etrafında yoğunlaştığını ve bu bölgede zaman içerisinde güçlenen konumsal kümelenmelerin oluştuğunu göstermektedir. Özellikle İstanbul–Kocaeli aksında belirlenen yoğunlaşan sıcak noktalar, bu bölgenin hem göç yolları hem de sulak alan habitatları açısından hem kuş popülasyonları için kritik bir ekolojik koridor olduğunu hem de antropojenik faktörler ve erişilebilirlik bağlamında Türkiye’nin en yoğun ornitolojik gözlem rotası olduğunu ortaya koymaktadır. Sulak alanların konumsal dağılımı ile sıcak nokta analiz sonuçlarının karşılaştırılması, kuş gözlemlerinin yoğunlaştığı bölgelerin büyük ölçüde Ramsar alanları ve diğer önemli sulak alan ekosistemleri ile örtüştüğünü göstermektedir. Sulak alanların kuş popülasyonlarının konumsal dağılımını belirleyen temel habitat bileşenlerinden biri olduğunu ve bu ekosistemlerin korunmasının biyoçeşitlilik sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan vatandaş bilimi verilerinin, gözlemci yoğunluğu ve erişilebilirlik gibi faktörlere bağlı olarak konumsal örnekleme yanlılığı içerebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle gelecekte gerçekleştirilecek çalışmaların, gözlem eforu değişkenlerini ve çevresel faktörleri modele entegre eden daha gelişmiş tür dağılım modelleri ile desteklenmesi, elde edilen konumsal desenlerin ekolojik olarak yorumlanabilirliğini arttıracak düşünülmektedir. Gelecekte yapılacak tür dağılım modellemelerinde ve koruma alanı planlamalarında, salt mevcut gözlem kayıtlarına dayanmak yerine, konumsal analizler sonucunda ortaya konulan bu çevresel ve antropojenik yanlılıkların istatistiksel olarak ağırlıklandırılarak dengelenmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca Doğu bölgelerinde oluşan soğuk nokta yoğunluklarını azaltmak ve bölgedeki düşük Z–skoru değerlerini arttırmak adına Kuyucuk Gölü, Nemrut Kalderası, Aras-Karasu Taşkın Ovası ve Van Gölü çevresi gibi Ramsar ve sulak alanların, kuş gözlemcileri için öncelikli hedef bölgeler olarak belirlenmesi ve bu spesifik bölgelere yönelik gözlem kamplarının veya turların düzenlenmesi, otomatik ses kayıt cihazlarının ve fotokapanların bölgeye yerleştirilmesi gelecekte yapılacak hedefler olarak ortaya konabilir.

Elde edilen bulgular, eBird gibi vatandaş bilimi platformlarından sağlanan büyük verinin biyoçeşitlilik izleme çalışmalarında devasa bir potansiyel taşıdığını kanıtlamakla birlikte; tespit edilen sıcak ve soğuk nokta kümelerinin tek başına habitat uygunluğuyla açıklanamayacağını göstermektedir. Konumsal desenlerin, kuşların ekolojik tercihleri kadar, nüfus yoğunluğu, erişilebilirlik ve bölgesel gözlem eforundaki dengesizlikler (antropojenik faktörler) tarafından da doğrudan şekillendiği açıkça ortaya konmuştur. Sonuç olarak bu çalışma, vatandaş bilimi tabanlı büyük veri setlerinin konumsal istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesinin kuş popülasyonlarının uzun dönemli konumsal dinamiklerini ortaya koymada etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, Türkiye’deki sulak alan ekosistemlerinin korunması ve kuş göç koridorlarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemli konumsal ipuçları sunmakta ve gelecekteki biyoçeşitlilik izleme çalışmalarına metodolojik bir temel sağlamaktadır.

Teşekkür

Yazar, eBird projesi ile kuş gözlem nokta verilerini sağlayan Cornell Ornitoloji Laboratuvarına teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akman, Y. (1993). *Biyocoğrafya*. Palme Yayıncılık.
- Akyürek, Ö., & Arslan, O. (2018). Kocaeli ili ve çevresinde (1900–2016) yılları arasında gerçekleşen tarihsel depremlerin konumsal istatistik analizi. *Geomatik*, 3(1), 48–62. <https://doi.org/10.29128/geomatik.333104>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Atalay, İ., & Efe, R. (2010). Structural and distributional properties of forests in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31, 61–70.
- Avcı, M. (2005). Çeşitlilik ve endemizm açısından Türkiye bitki örtüsü. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 13, 27–55. <https://izlik.org/JA56TD55LF>
- Bacaro, G., Rocchini, D., Diekmann, M., Gasparini, P., Gioria, M., Maccherini, S., Marcantonio, M., Tordoni, E., Amici, V., & Chiarucci, A. (2011). Predicting plant species richness by using remote sensing and species distribution modeling techniques. *Ecological Indicators*, 11(6), 1444–1450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.011>

- Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M. B., & Hirzel, A. H. (2004). Presence–absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27(4), 437–448. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03764.x>
- Çakıcı, A. C., & Harman, S. (2006). Kuş gözlemciliğinin önemi: Türkiye’de kuş gözlemciliğinin profili. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 17(2), 161–168. <https://izlik.org/JA57SG97WR>
- Danacıoğlu, Ş., & Öngül, H. C. (2024). Türkiye’de yapay ışık kirliliği ile kuş gözlemleri arasındaki ilişkinin zamansal ve mekânsal analizi: Jeoistatistiksel bir yaklaşım. *International Journal of Geography and Geography Education*, 52, 159–178. <https://doi.org/10.32003/igge.1430386>
- Davis, P. H. (Ed.). (1965–1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vols. 1–9). Edinburgh University Press.
- de Cos, O., Castillo, V., & Cantarero, D. (2021). Differencing the risk of reiterative spatial incidence of COVID-19 using space–time 3D bins of geocoded daily cases. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), Article 261. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040261>
- Dereli, M. A., & Polat, N. (2018). Boşanma verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli mekânsal istatistiksel yöntemler ile irdelenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 112–118. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/623113>
- Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü. (2026, 17 Şubat). *Sulak alanlar*. 17 Şubat 2026’da <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Menu/31/Sulak-Alanlar> adresinden alındı.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., & Adıgüzel, N. (2000). *Türkiye bitkileri kırmızı kitabı*. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği.
- England, W. R. (2014). *Can analyzing spatial relationships through geographically weighted regression improve our understanding of low school attainment? A GIS-based analysis of census and ACS data*. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1227&context=cehdsdiss>
- ESRI. (2026). *Emerging hot spot analysis*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/emerginghotspots.htm>
- Falcucci, A., Maiorano, L., & Boitani, L. (2007). Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*, 22(4), 617–631. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9056-4>
- Fink, D., Auer, T., Johnston, A., Strimas-Mackey, M., Robinson, O., Ligoeki, S., Hochachka, W., Jaromczyk, L., Wood, C., Davies, I., Iliff, M., & Seitz, L. (2021). *eBird status and trends, data version: 2020*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/ebirdst.2020>
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24, 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Hazaymeh, K., Almagbile, A., & Alomari, A. (2022). Spatiotemporal analysis of traffic accidents hotspots based on geospatial techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4), Article 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040260>
- Heim, W., Lischer, L., Lehnert, L. W., & Wegmann, M. (2020). Citizen science and remote sensing: A promising combination for bird distribution modelling in data-poor regions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6(1), 49–62. <https://doi.org/10.1002/rse2.125>
- Hurlbert, A. H., & Jetz, W. (2007). Species richness, hotspots, and the scale dependence of range maps in ecology and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13384–13389.
- Johnston, A., Fink, D., Hochachka, W. M., & Kelling, S. (2021). Estimates of observer expertise improve species distributions from citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(1), 88–97. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13504>
- Kelling, S., Johnston, A., Hochachka, W. M., Iliff, M., Fink, D., Gerbracht, J., Lagoze, C., La Sorte, F. A., Moore, R., Wiggins, A., Wong, W. K., Wood, C., & Sullivan, B. L. (2015). Can observation skills of citizen scientists be estimated using species accumulation curves? *PLOS ONE*, 10(10), Article e0139600. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139600>
- Kim, J., Hong, K., Yoo, D. S., & Chun, B. C. (2023). Spatiotemporal clusters of Kawasaki disease in South Korea from 2008 to 2017: A municipal-level ecological study. *Frontiers in Pediatrics*, 10, Article 1054985. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.1054985>
- Kocaman, G., & Arslan, H. (2023). eBird verilerinin incelenmesi yolu ile Türkiye’de kuş gözlemciliği üzerine bir değerlendirme. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 63, 537–552. <https://doi.org/10.29228/SOBIDER.68937>
- Lagoze, C. (2014). eBird: Curating citizen science data for use by diverse communities. *International Journal of Digital Curation*, 9(1), 71–82. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v9i1.302>
- La Sorte, F. A., & Somveille, M. (2020). Survey completeness of a global citizen-science database of bird occurrence. *Ecography*, 43(1), 34–43. <https://doi.org/10.1111/ecog.04632>

- Lović-Obradović, S., Krivošejev, V., & Yamashkin, A. A. (2020). Utilization of hot spot analysis in the detection of spatial determinants and clusters of the Spanish flu mortality. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 70(3), 289–297. <https://doi.org/10.2298/IJGI2003289L>
- Naqvi, S. A. A., Sajjad, M., Waseem, L. A., Khalid, S., Shaikh, S., & Kazmi, S. J. H. (2021). Integrating spatial modelling and space-time pattern mining analytics for vector disease-related health perspectives: A case of dengue fever in Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 78–96. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212018>
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., Börger, L., Bennett, D. J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Diaz, S., Echeverria-Londono, S., Edgar, M. J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M. L. K., Alhusseini, T., . . . Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45–69. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Osborne, P. E., Alonso, J. C., & Bryant, R. G. (2001). Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: A case study with great bustards. *Journal of Applied Ecology*, 38(2), 458–471. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00604.x>
- Ramsar Sites Information Service. (2026, February 17). *Ramsar Sites Information Service*. Retrieved February 17, 2026, from <https://rsis Ramsar.org/>
- Singh, M., Sood, S., & Collins, C. M. (2022). Fire dynamics of the Bolivian Amazon. *Land*, 11(9), Article 1436. <https://doi.org/10.3390/land11091436>
- Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., Damoulas, T., Dhondt, A. A., Dietterich, T., Farnsworth, A., Fink, D., Fitzpatrick, J. W., Fredericks, T., Gerbracht, J., Gomes, C., Hochachka, W. M., Iliff, M. J., Lagoze, C., La Sorte, F. A., . . . Kelling, S. (2014). The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.003>
- Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., & Kelling, S. (2009). eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation*, 142(10), 2282–2292. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.006>
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., & Balta, İ. (2008). *Türkiye iklimi*. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Uysal, İ., Kurtul, D., Özgül, C. N., & Tosunoğlu, M. (2025). Analysis of bird populations in the wetland areas surrounding the Çanakkale/Dardanelles Strait. *Commagene Journal of Biology*, 9(1), 17–27. <https://doi.org/10.31594/commagene.1553393>
- Wood, C., Sullivan, B., Iliff, M., Fink, D., & Kelling, S. (2011). eBird: Engaging birders in science and conservation. *PLoS Biology*, 9(12), Article e1001220. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001220>
- Yalçınkaya, S., & Ruhbas, Y. (2022). Spatiotemporal analysis framework for identifying emerging hot spots and energy potential from livestock manure in Turkey. *Renewable Energy*, 193, 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.148>