

To Cite This Article: Danacıoğlu Ş. & Öngül, H.C., (2024). Türkiye’de yapay ışık kirliliği ile kuş gözlemleri arasındaki ilişkinin zamansal ve mekânsal analizi: Jeostatistiksel bir yaklaşım. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 52, 159-178. <https://doi.org/10.32003/igge.1430386>

TÜRKİYE’DE YAPAY IŞIK KİRLİLİĞİ İLE KUŞ GÖZLEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ZAMANSAL VE MEKÂNSAL ANALİZİ: JEOİSTATİSTİKSEL BİR YAKLAŞIM*

Spatio-Temporal Analysis of Relationship Between Artificial Light Pollution and Bird Observations in Turkey: A Geostatistical Approach

Şevki DANACIOĞLU^{ID} Hüseyin Can ÖNGÜL^{ID}

Öz

Işık kirliliği, belirli bir bölge içerisinde bulunan yapay ışık kaynağının gereğinden fazla ve şiddetli ışık saçması sonucunda oluşan çevresel bir risktir. Bu kirlilik, canlı türleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Örneğin; kuşların, beslenme, göç hareketi ve üreme gibi davranışlarında bozulmalara neden olmaktadır. Yapay ışık kirliliğinin tespit edilebilmesinde son yıllarda uzaktan algılanmış gece ışığı görüntüleri yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, Türkiye’de yapay ışık kirliliği ile kuş gözlemleri arasındaki ilişkinin zamansal ve mekânsal olarak incelenmesidir. Bu kapsamda, 2000—2022 yılları arasındaki DMSP ve VIIRS uydularından elde edilen gece ışığı görüntüleri ile dünyanın en büyük biyoçeşitlilik ile ilgili vatandaş bilimi projesi olan eBird veri tabanı kullanılmıştır. Buna göre gözlem noktalarının zamansal ve mekânsal değerlendirilmesinde Space Time Cube veri modeli oluşturulmuştur. Elde edilen veri yapısı ile Emerging Hot Spot ve Getis-Ord General G* analizi uygulanarak mekânsal dağılımın istatistiksel olarak anlamlılığı test edilmiştir. Sonuç olarak, piksel ölçeğinde elde edilen gece ışığı yansıma değerlerindeki değişim ile gözlem noktaları arasındaki ilişki mekânsal ve zamansal olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar gözlemlenen kuş türü sayıları ile yapay ışık değişimin yüksek olduğu alanlar arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Işık Kirliliği, Kuş Tür Çeşitliliği, Çevresel Risk, Mekânsal İstatistik, Uzaktan Algılama

Abstract

Light pollution constitutes an environmental risk arising from the excessive and intense scattering of artificial light sources within a specific geographical area. This environmental pollution has substantial impacts on diverse species. Specifically, it interferes with behaviors such as feeding, migration, and reproduction in avian populations. In recent years, nocturnal light images acquired through remote sensing have been extensively employed for the detection of artificial light pollution. The aim of this research is to investigate the temporal and spatial correlation between artificial light pollution and avian observations in Turkey. Nighttime light images obtained from DMSP and VIIRS satellites between 2000 and 2022, along with the eBird database, the world’s largest citizen science project related to biodiversity, were utilized. In this context, a Space Time Cube data model was created for the temporal and spatial evaluation of observation points. The Emerging Hot Spot and Getis-Ord General G analyses were applied to test the statistical significance of the spatial distribution using the obtained data structure. Consequently, the relationship between the observed changes in pixel-scale nighttime light reflection values and observation points was assessed spatially and temporally. The results indicated a correlation between the numbers of observed avian species and areas with high artificial light changes.

Keywords: Artificial Light Pollution, Bird Species Diversity, Environmental Risk, Spatial Statistics, Remote Sensing

* **Sorumlu Yazar:** Dr. Öğr. Üyesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, ✉ sevki.danacioglu@bakircay.edu.tr

GİRİŞ

Çevresel risk, belirli kirleticilerin ya da kirletici materyallerin yaratmış olduğu etkiye maruz bırakılması sonucunda, insanların, bitkilerin, hayvanların ve farklı biyotik unsurlar üzerinde oluşacak negatif etkilerdir (Holmes, Singh ve Theodor, 1993). Çevre kirliliği denilince çoğu zaman akla çöp, plastik ve diğer kimyasal atıkların neden olduğu sorunlar gelmektedir. Ancak bunlar içerisinde oluşum olarak çok farklı bir kirlilik türü olan ışık kirliliği doğal ekosistemlere önemli zararlar vermektedir (OECD, 1997; Topuz, 2009). Işık kirliliği, yaban hayatına beklenmedik şekillerde etkisi olan ve canlı ekosistemini rahatsız eden önemli bir kirlilik türüdür. Işık kirliliği, hava karardıktan sonra gökyüzünde ve doğal çevre içerisindeki insan kaynaklı yapay ışık miktarının artması sonucunda meydana gelmektedir (Gaston vd., 2013). Işık kirliliği yeryüzündeki doğal parlaklığı bozduğundan ekosistemleri, astronomik gözlemleri ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Longcore ve Rich, 2004).

Yapay ışık kirliliği; canlılar, ekosistemler ve insanlar üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahiptir (Meng vd., 2022; Hölker vd., 2015; Falcón vd., 2020). Bu etkiler arasında, sürekli ışığa maruz kalan insanlarda görme duyusunda geçici kayıp veya körlük oluşması (Kumar vd., 2019), gece avlanmaya çıkan yarasaların aşırı miktarda ışıktan kaynaklı olarak avlarını tespit edememeleri (Barré vd., 2022), deniz kaplumbağalarının yumurtlama döneminde plajlardaki gece aydınlatmalarından kaynaklı olarak yuvalarını bulamayıp yavrulamamaları (Hu, Hu ve Huyang, 2018), canlılarda uyku düzeni bozukluğu ve gece göç eden göçmen kuşların rotalarını bulmak için gerekli olan doğal ışık kaynağı yerine (Rich ve Longcore, 2013), yapay ışık kaynağına doğru uçmaları sonucu doğal navigasyonlarını kaybetmeleri gibi sonuçlara yol açmaktadır (Rich ve Longcore, 2013; Mathews vd., 2015; Fleury, Masis-Vargas ve Kalsbeek, 2020; Salmon, 2006; Montevicchi, 2006).

Yapay ışık kirliliğinin olumsuz etkilerinden bir diğeri ise, kuş ekosistemleri üzerindedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar yapay ışık kirliliğinin, göçmen kuşların rotaları üzerinde, üreme ve beslenme faaliyetlerinde etkili olduğunu göstermektedir (Hu, Hu ve Huyang, 2018; Orłowski, Harmening ve Wagner, 2012). Bazı kuş türleri yapay ışık kirliliğinden farklı şekillerde etkilenebilmektedir. Peçeli kırlangıç (*Hirundo daurica*) ve mor martin (*Progne subis*) türleri, gözlerindeki özel yapı sayesinde kornealarına gelen az miktarda ışığı toplama yeteneğine sahiptir (Senzaki vd., 2020). Bu özellik, bu tarz kuşların yapay ışık kaynaklarına duyarlı olmalarına sebep olur (Senzaki vd., 2020). Oyuk gibi yerlere yuva yapan kuşlar ile açık alanda ışığa maruz kalarak yuva yapan kuşlar arasında yumurtlama farklılıkları oluşmaktadır (Dominoni, Quetting ve Partecke, 2013). Bu farklılık, ışığa daha fazla maruz kalan kuşlarda yumurtlama faaliyetlerinin daha geç dönemlerde gerçekleşmesine ve çiftleşme döneminin ertelenmesine yol açmaktadır (Senzaki vd., 2020; Dominoni, Quetting ve Partecke, 2013). Işık toplama yeteneği daha fazla olan kuş türlerinin, doğal ortamlarında sayılarının azalma eğilimi içerisinde olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur (Visser, Both ve Lambrechts, 2004; Senzaki vd., 2020; Dominoni, Quetting ve Partecke, 2013). Bu durumun, kuş türlerinin çeşitliliğini azaltarak tür kaybına yol açmaktadır (Winkler, Dunn ve McCulloh, 2002; Dunn ve Winkler, 1999).

Bu bağlamda yapay ışık kirliliğinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar gözlem ve arazi çalışmaları, yüzey sıcaklıklarının izlenmesi (yapay ışık kaynaklarının yarattığı etki sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi), radar izlemeleri, genetik analizler ve uzaktan algılama gibi farklı amaçlarla kullanılan çeşitli yöntemlerdir (Goetz vd., 2010; Sader, Powell ve Rappole, 1991; Groom vd., 2013; Fuller vd., 2005; Fuller vd., 2007). Son yıllarda uydu teknolojilerinde verilerin mekânsal ve zamansal olarak yüksek çözünürlükte elde edilebilmesi, analiz ve yöntemlerde meydana gelen gelişmeler ile donanım altyapılarının iyileşmesi veya bulut tabanlı sistemler ile donanım ihtiyacının azalması gibi etkenler yapay ışık kirliliğinin tespitinde ve izlenmesinde uzaktan algılama teknolojilerinin yaygın şekilde kullanımını sağlamıştır (Levin vd., 2020; Adelabu ve Olusola, 2021). Bu kapsamda Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri, yapay ışık kirliliğinin kuş popülasyonlarının dağılışı (Adelabu ve Olusola, 2021), göç güzergâhlarının değişimi (Burt vd., 2023), avlanma faaliyetleri üzerindeki etkisi (Camacho, Barragan ve Espinosa, 2021), Üreme, beslenme ve kuş türlerine göre davranışları üzerindeki etkisi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (Sader, Powell ve Rappole, 1991).

Buna göre çalışmanın amacı, UA teknikleri ile Türkiye'de yapay ışık kirliliğinin zamansal ve mekânsal değişiminin gözlemlenen kuş türü çeşitliliği ve sayısı üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırma kapsamında Türkiye'de yapay ışık kirliliğinin zamansal ve mekânsal dağılımı nasıldır? Yapay ışık kirliliği ile gözlemlenen kuş türü çeşitliliği ve sayısı arasında nasıl bir mekânsal ilişki

vardır? sorularına cevap aranmaktadır. Araştırmada H0 ve H1 hipotezleri geliştirilmiş ve test edilmiştir. H0: “Türkiye’de yapay ışık kaynakları gözlemlenen kuş türü sayısını etkilememektedir.”, H1: “Türkiye’de yapay ışık kirliliği gözlemlenen kuş türü sayısını etkilemektedir.” hipotezleri türetilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Araştırma Türkiye ölçeğinde gerçekleştirilmektedir. Anadolu Yarımadası ve Trakya Yarımadasının bir bölümü üzerinde yer alan Türkiye, coğrafi olarak 36° – 42° Kuzey enlemi ve 26° – 45° Doğu boylamı arasında yer almaktadır. Türkiye, bu matematiksel ve özel konumunun getirdiği genel coğrafi özellikleri itibarıyla hem fiziki hem de beşeri, biyolojik ve ekolojik açılarından zengin bir ülkedir. Türkiye’nin ekolojik anlamda avantajlı olması bulunduğu coğrafi konumdan, iklim özelliklerinden, toprak türlerinden, su kaynaklarının çeşitliliğinden ve biyolojik açıdan çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır (Şekil 1). Bu avantajlar tür çeşitliliğini artırarak farklı kuş türlerinin gözlemlenebilmesine olanak tanır (Kangal, 2023). Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle farklı fitocoğrafya bölgelerinin gözlemlenebildiği bir alanda yer almaktadır. Türkiye’nin İç Anadolu ve Doğu bölgelerini kapsayan İran-Turan fitocoğrafyası, soğuk ve karasal bir iklim özelliği sergilemektedir. Bu bölge içerisinde bozkır ve step bitki örtüsü yaygın bitki örtüsünü oluşturur (Yeşilyurt, Latif ve Akaydın, 2008). Türkiye’nin Kuzeydoğu bölgeleri kapsayan Avrupa-Sibirya fitocoğrafya bölgesi ise daha nemli ve yağışlı bir iklim özelliğine sahiptir. Bu nedenle geniş yapraklı bitki ve ağaç türleri bu bölgede baskın bitki örtüsü durumuna gelmiştir (Ünal ve Gökçeoğlu, 2003). Ege ve Akdeniz kıyılarında ise Akdeniz fitocoğrafya bölgesi etkin konumdadır. Türkiye’nin kıyı kesimlerini kapsayan Akdeniz fitocoğrafyası, kışları ılıman ve yağışlı iken yazın ise daha sıcak ve kurak bir iklim özelliğine sahiptir. Zeytin ağacı, kızılçam ve maki gibi bitki türleri bu bölgelerin hâkim türlerini oluşturmaktadır (Baştürk ve Aladağ, 2009). Bu tür farklı iklim ve bitki örtüsü özellikleri, Türkiye’nin endemik ve tür çeşitliliği açısından zengin olmasına olanak tanır (Doğanay, Özdemir ve Şahin, 2011).



Şekil 1. Türkiye Topoğrafya Haritası

Türkiye, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem bakımında pek çok farklı zenginliğiyle dikkat çeken önemli bir kuş faunasını içerisinde barındırmaktadır (Doğanay, Özdemir ve Şahin, 2011). Türkiye genelinde 495’in üzerinde kuş türü tespit edilmiştir (Kocaman ve Arslan, 2023). Bu türler farklı ekosistemlerde yayılmış haldedirler. Kuş türlerinin farklılığı, Türkiye’nin değişik coğrafi bölgelerindeki iklim ve habitat çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır (Çakıcı ve Harman, 2006). Ormanlık alanlarda öne çıkan türler arasında kızıl akbaba (*Neophron percnopterus*), doğu orman kartalı (*Aquila hastata*) ve alaca kartal (*Aquila chrysaetos*)

gibi farklı türler yaşamaktadır. Tarım bölgelerinde ise başlıca görülen kuş türleri şu şekildedir: kaya güvercini (*Columba livia*), kız kuşu (*Falco tinnunculus*) ve bayağı kerkenez (*Falco tinnunculus*) türleridir. Sazlık ve sulak alanlarda bulunan kuşlar da Türkiye'nin kuş çeşitliliğine farklılık katmaktadır (Eken vd., 2005). Bu bölgelerde görülen türler içerisinde leylek (*Ciconia ciconia*), bataklık tavuğu (*Gallinula chloropus*) ve kamış kuşları (*Acrocephalus spp.*) yer almaktadır. Türkiye'nin kıyı alanları, özellikle göç hareketi yapan kuşlar için önemli bir durak noktasıdır. Göçmen kuşlar arasında flamingo (*Phoenicopterus roseus*), sırgırcık (*Plegadis falcinellus*) ve deniz martısı (*Larus spp.*) en çok görülen türlerdir (Avcı, 2000).

Türkiye, biyolojik, ekolojik, kültür ve farklı pek çok zenginliği içerisinde barındırmaktadır. Bu farklı çeşitlilikler Türkiye'ye eşi benzeri görülmemiş bir özelliği beraberinde getirmektedir. Ancak, son dönemlerde artan nüfus, yanlış arazi kullanımı, artan kentleşme, farklı insan etkileri ve yapay ışık kirliliğinin artması yüzünden bu zenginlik tehlike altına girmektedir (Çelik, 2000). Bu tehlikeler nedeniyle, biyolojik çeşitlilik ve canlı ekosistemleri tahrip edilmekte, bu da tür kayıplarına yol açmaktadır. Özellikle son dönemlerde artan yapay ışık kirliliği Türkiye içinde önemli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu kirlilik türü pek çok canlıyı etkilese de belki de en çok etki gösterdiği canlı ekosistemi kuşlardır (Turan ve Arıkan, 2011).

Veri

Araştırmada farklı çözünürlük ve birim değerlerine sahip olan DMSP OLS, VIIRS ve geliştirilmiş bitki örtüsü indeksine göre düzeltilmiş gece ışığı indeksi (*Enhanced Vegetation Index Corrected Nighttime Lights Index* [EANTLI]) görüntüleri kullanılmıştır (Chen vd., 2020). Uydu görüntülerinin birlikte işlenebilmesi için çapraz kalibrasyon işleminden yararlanılmıştır. Bu işlem sayesinde, farklı özelliklere sahip olan uydu görüntülerinin karşılaştırılıp analiz edilebilmesine imkân tanımaktadır (Chen vd., 2020). Yapılan bu işlemle DMSP OLS ve VIIRS veri seti çözünürlüklerinin eşitlenmesi sağlanmıştır (Zhuo ve ark.2015; Chen vd., 2020).

Bu araştırma kapsamında, DMSP OLS: Nighttime Lights Time Series Version 4, VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1 ve EANTLI görüntüleri kullanılmıştır. DMSP-OLS veri seti 927 metrelik çözünürlüğe sahiptir. DMSP OLS uydu görüntüsü 75°00'00" Kuzey ve 65°00'00" Güney enlemlerini kapsayan 30 yay (~ 1 km) saniyelik ızgaralar şeklinde oluşan görüntüler elde etmektedir. Bu görüntüler içerisinde, ay ışığı, bulutluluk ve güneş ışığı gibi yansıma değerini etkileyen unsurlardan göz ardı edilerek gece ışığı verisi sunmaktadır (Li, Zhang ve Liu, 2017). Tablo 1'de DMSP OLS veri setinin bant özellikleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 1. DMSP OLS Uydu Bant Özellikleri (Jing ve ark. 2015)

Bant Adı	Açıklaması
Avg_vis	Dijital Sayı Değeri (DNB), olarak adlandırılan ve görünür ışıkların filtreleme kullanılmadan ortalama değerlerinin hesaplanması sonucunu göstermektedir.
Stable_Lights	Avg_vis bandının filtre uygulanmış olan halidir. Şehir ve kasaba gibi alanların gözlemlenmesine olanak tanımaktadır. Yangın verileri hesaplama dışında bırakılmıştır.
Cf_cvg	Bulutluluk değerlerini yoksayarak her 30 yay (~ 1 km) saniyelik ortalama gözlem değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır.
Lights_x_pct	Bulutsuz görüntülerdeki dijital numaralar ile ışık algılama frekansının yüzdesinin çarpılması sonucu hesaplanmaktadır. Bu hesaplama içerisinde yangın verileride işleme dahil edilmiştir.

VIIRS, aylık olarak ortalama ışık parlak değerlerinin birleştirilerek oluşturduğu görüntüleri kapsamaktadır. Veri setleri aylık olarak kullanıcılara sunulduğundan yapılan analizlerde ortalama değerlere göre sonuçlar elde edilir (Shi vd., 2014). Bu özellik sayesinde, bulutluluk oranının daha yüksek olduğu tropikal bölgelerde ve ışık yansımasının daha fazla olduğu kutup bölgelerinde kaliteli bir görüntü sağlar (Zheng, Weng ve Wang, 2019). VIIRS Versiyon 1'de yangın, aurora ve diğer ışık kaynaklarının yarattığı ışık değerleri filtre işlemine maruz kaldığından daha tutarlı ölçümler yapma imkanına sahiptir. Veri seti 463.83 metre çözünürlüğe sahip olduğundan DMSP OLS verine göre daha detaylıdır (Zheng, Weng ve Wang, 2019; Shi

vd., 2014). Elde edilen parlaklık değerleri nanoWatt/sr/cm² cinsindedir. VIIRS veri setine ait bant değerleri Tablo 2’de detaylı şekilde gösterilmiştir.

Tablo 2. VIIRS Uydu Bant Özellikleri (Gibson vd., 2021)

Bant Adı	Açıklaması
Avg_rad	Ortalama dijital sayı değerine ait parlaklık miktarını göstermek için kullanılmaktadır.
Cf_cvg	Bulutluluk değerlerini yok sayarak her 30 yay (~ 1 km) saniyelik ortalama gözlem değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır.

EANTL, 2000—2013 yılları arasındaki DMSP OLS veri setinin çözünürlük sorunlarını giderip VIIRS veri setine benzetebilmek için, geliştirilmiş bitki örtüsü indeksi (*Enhanced Vegetation Index* [EVI]) ile DMSP OLS veri seti işleme alınmıştır (Zhuo vd., 2015). Yapılan analiz sayesinde, çözünürlük sorununun giderilmesi ve gece ışık değişimlerinin daha net görülebilmesi sağlanmaktadır (Zhuo vd., 2015). Analiz gerçekleştirilirken kullanılan denklem Formül 1’de gösterilmiştir.

$$EANTL = \frac{1+(nNTL-EVI)}{1-(nNTL-EVI)} \times NTL \quad (1)$$

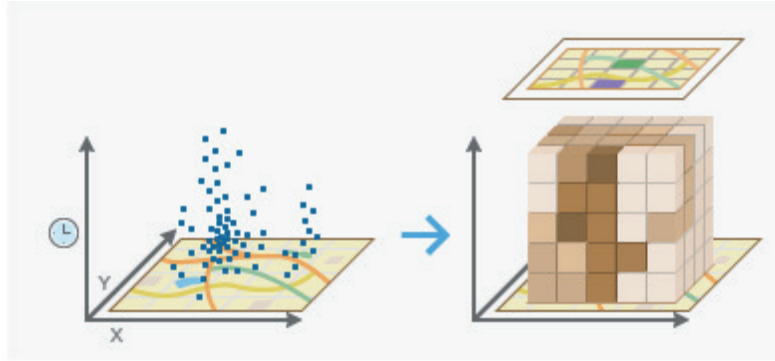
Formül 1’de EVI değeri, geliştirilmiş bitki örtüsünün yıllık ortalaması anlamına gelirken, nNTL değeri ise, DMSP OLS veri setinin normalleştirilmiş versiyonunu gösterirken, gece ışığı yoğunluğu ve gece ışıklarını temsil etmektedir. Bitki örtüsü ve gece ışığı verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen bir indeks olan EANTL’yi hesaplar. (Chen vd., 2020).

Araştırmada kuş ekosistemlerinin değerlendirilmesinde dünya çapında her yıl 100 milyondan fazla kuş gözleminin kayıt edildiği, Cornell Ornitoloji Laboratuvarı tarafından yönetilen dünyanın en büyük biyoçeşitlilik ile ilgili vatandaş bilimi projesi olan 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). Çalışmada 2000—2022 yılları arasında gözlem yeri Türkiye olarak işaretlenen toplam 1.946.422 kuş gözlem noktası kullanılmıştır. Bu gözlem noktaları Türkiye’nin farklı bölgelerine dağılım gösterdiği gibi, ülke sınırına yakın bölgelerde yapılan bazı gözlemleri de içermektedir (eBird, 2021).

YÖNTEM

Space-Time Cube Model ve Hot Spot Analizi

Araştırmada kuş gözlem noktalarının zamansal ve mekânsal dağılımının değerlendirilmesinde Mekân-Zaman Küpü (*Space Time Cube* ([STC]) tekniği kullanılmıştır. STC, mekân-zaman deseni oluşturmak için amacıyla mekânsal verinin küp formatında sunulduğu, coğrafi verinin mekânsal boyutları (x,y) ile zaman (t) boyutunu içermektedir (Bach vd., 2014). STC, bu yapıyla trend analizi, yoğunluk analizi ve hot spot analizi gibi mekânsal desenin anlamlandırılmasında ve yorumlanmasında istatistiksel ve analitik değerlendirmelerin yapılmasına imkân vermektedir (Mo vd., 2020; Havrys vd., 2023). STC, doğal afetlerin zamansal değişiminin takip edilmesi (Wang vd., 2015), salgın hastalıkların yayılımı ve salgın hastalığının incelenmesinde (Mo vd., 2020), trafik akışı ve ulaşım sistemlerinin performansını analiz etmek amacıyla (Song ve Miller, 2012), şehirlerdeki demografik değişimleri, kentsel büyümeyi ve altyapı gelişimini anlamak için (Hashim vd., 2019), uydu görüntüleri, sensör ağları ve diğer coğrafi veri kaynaklarından elde edilen verilerin analizi (Xi vd., 2019), Göletteki su seviyeleri, akarsu debileri ve diğer su kaynaklarındaki değişimleri analiz etmek amacıyla (Starek vd., 2013) ve tarım alanlarında ürün büyümesini izlemek, toprak kalitesini değerlendirmek ve tarım stratejilerini geliştirmek (Popelka ve Voženilek, 2013) gibi farklı amaçlar çerçevesinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. Space Time Cube by Aggregating Points Modeli (ESRI)












Araştırmada STC veri yapısının oluşturulmasında ArcGIS Pro 3.1.3 yazılımı içinde yer alan “Space Time Cube By Aggregating Points” aracı kullanılmıştır. Şekil 2’de STC aracının noktasal veriyi görselleştirme prensibi gösterilmiştir. STC analizinde zamansal aralık 1 yıl olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede, 23 yıla ait her bir nokta için 23 adet küp oluşturulmuştur. Analizde, çalışma alanı 10x10 km gridlere bölünerek oluşan gridler içerisindeki toplam gözlem noktaları dikkate alınmıştır.

Elde edilen STC ile Zamana Bağlı Sıcak Nokta (*Emerging Hot Spot*) analizi gerçekleştirilmiştir. Sıcak Nokta (Getis-Ord G_i^* Spot) analizlerinde, analizi gerçekleştirilen veriler zamandan bağımsız bir şekilde yalnızca konumsal özelliğine göre hesaplama yapılmaktadır (Yıldırım vd., 2023). Emerging Hot Spot analizi ile sıcak nokta analizinin aksine verilerin konumsal niteliğinin yanında zamansal olarak değişimlerini de analize dâhil etmektedir (Purwanto vd., 2021). Zamana Bağlı Sıcak Nokta analizi sonucunda zamansal olarak hangi yönde eğilim içerisinde olduklarını sınıflandırarak gösterilir (Yıldırım vd., 2023). Analiz gerçekleştirilirken mekânsal ilişkilerin incelenmesi için sabit mesafe parametresi seçilmiştir. Noktalar arasındaki mekânsal komşuluk ilişkilerinin belirlenebilmesi için, her nokta yanındaki 8 diğer noktayla ilişkilendirilmiştir. Bu analiz sonucunda sıcak ve soğuk noktalar için 8’er adet toplamda ise 17 farklı sınıf elde edilmektedir (Tablo 3).

Kuş gözlem noktalarındaki dağılımın mekânsal olarak değerlendirilmesinde kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Yüksek/Düşük kümelenmenin değerlendirilmesinde ArcGIS Pro yazılımındaki Getis-Ord General G^* aracı kullanılmıştır. Yüksek/Düşük kümelenme analizi ile Gözlemlenen Genel G, Beklenen Genel G, z-skoru ve p değerleri elde edilmiştir. Buna göre pozitif z-skoru değeri, yüksek gözlem sayılarının, negatif z-skoru ise düşük gözlem sayılarının çalışma alanı içerisinde mekânsal olarak kümelenme gösterdiğini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, en fazla ve en az kuş gözleminin gerçekleştirildiği alanların mekânsal istatistiksel olarak anlamlı bir kümelenmeye sahip olup olmadığı değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Zamana bağlı sıcak nokta ifadeleri (ESRI, 2022b)

Şekil	İsim	Tanım
	Anlamsız	Sıcak nokta analizi sonucunda eğilim tespit edilmeyen noktaları temsil eder.
	Yeni Sıcak Nokta	Geçmişte anlamlı olmayan fakat son dönemde anlamlı olmaya başlayan noktalar.
	Ardışık Sıcak Noktalar	Geçmişteki zaman dilimlerinde %90’ın altında anlamlı olup, son zaman diliminde 2 sıcak noktanın çakışıp kesintisiz anlam ifade ettiği noktalarlardır.
	Yoğunlaşan Sıcak Noktalar	Tüm zaman dilimleri içerisinde %90’ın üzerinde anlamlılık ifade eden noktaları temsil etmektedir.
	Kalıcı Sıcak Noktalar	Bütün zaman noktalarının %90’ını içeren ve bir eğilime sahip olmayan noktaları temsil etmektedir.
	Azalan Sıcak Noktalar	Tüm zaman dilimlerinin %90’ında azalma eğilimi içerisinde olan noktaları temsil etmektedir.

	Aralıklı Sıcak Noktalar	Dönemsel olarak anlamlılık ifade eden ve bütün zaman dilimlerinin %90'ında anlamlı olan noktaldır.
	Kararsız Sıcak Noktalar	Son zaman diliminde sıcak nokta eğiliminde olup diğer zaman dilimlerinde soğuk nokta olan alanları temsil etmektedir.
	Tarihi Sıcak Noktalar	Son dönem hariç sıcak nokta olan alanları göstermektedir.
	Yeni Soğuk Nokta	Son dönem soğuk nokta olan ve onun öncesinde anlamlı bir eğilim göstermeyen noktaları göstermektedir.
	Ardışık Soğuk Noktalar	Geçmişteki zaman dilimlerinde %90'ın altında anlamlı olup, son zaman diliminde 2 soğuk noktanın çakışıp kesintisiz anlam ifade ettiği noktaldır.
	Yoğunlaşan Soğuk Noktalar	Tüm zaman dilimleri içerisinde %90'ın üzerinde anlamlılık ifade eden noktaları temsil etmektedir.
	Kalıcı Soğuk Noktalar	Bütün zaman noktalarının %90'ını içeren ve bir eğilime sahip olmayan noktaları temsil etmektedir.
	Azalan Soğuk Noktalar	Tüm zaman dilimlerinin %90'ında azalma eğilimi içerisinde olan noktaları temsil etmektedir.
	Aralıklı Soğuk Noktalar	Dönemsel olarak anlamlılık ifade eden ve bütün zaman dilimlerinin %90'ında anlamlı olan noktaldır.
	Kararsız Soğuk Noktalar	Son zaman diliminde soğuk nokta eğiliminde olup diğer zaman dilimlerinde sıcak nokta olan alanları temsil etmektedir.
	Tarihi Soğuk Noktalar	Son dönem hariç sıcak nokta olan alanları göstermektedir.

Yapay Işık Kirliliği Analizi

Türkiye genelinde 2000—2022 yılları arasında yapay ışık kirliliği farkının tespit edilmesine yönelik kullanılan gece ışığı verilerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Gece ışığı yansımalarında meydana gelen piksel ölçekli değişimin hesaplanmasında her iki döneme ait görüntüler karşılaştırılarak, parlaklık seviyelerinin farklılık değerleri elde edilmiştir. Yapay ışık kirliliğinin hesaplanmasında aşağıdaki işlem (Formül 2) kullanılmıştır:

$$YIK = GIYD2022 - GIYD2000 \quad (2)$$

Burada YIK: Yapay Işık Kirliliği, GIYD2022: Gece Işığı Yansıma Değeri 2022, GIYD200: Gece Işığı Yansıma Değeri 2000

Elde edilen sonuçlar ile yansıma değerlerindeki farkın en fazla olduğu alanlarda yapay ışık kirliliğinin en yüksek olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan 2000—2022 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen ortalama gece ışığı yansıma değerlerindeki değişimi göstermek amacıyla, 2000 yılından 2022 yılına kadar olan tüm yıllara ait yıllık ortalama yansıma değerleri hesaplanmıştır.

Trend Analizi

Çalışma dönemi boyunca kuş gözlemlerinde ve buna bağlı olarak kuş türlerindeki eğilimlerin ve değişimlerin belirlenmesi amacıyla trend analizi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada lineer (doğrusal) analiz yöntemi tercih edilmiştir. Lineer analiz yönteminde, zamansal olarak veride artış veya azalış eğiliminin tespit edilebilmesi sağlanmaktadır (Porter, Rao ve Hogefe, 2002). Çalışmada zaman faktörü ve kuş gözlemi arasında ki ilişkinin incelenebilmesi için kuş gözlemi ve zaman verisi kullanılarak trend analizi gerçekleştirilmiştir. Trend analizi, bir değişkenin zaman içerisindeki değişimini incelemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Trend analizi sayesinde, veri içerisindeki eğilimleri ve değişimleri gözlemlenebilmesi sağlanmaktadır (Hess, Iyer ve Malm, 2001). Bu bağlamda

2000—2022 yılları arasında 10km x 10km karelere bölünmüş ve 5259 alanda kuş gözlem sayılarındaki değişimin istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu kareler içerisinde yer alan gözlem noktaları 22 yıllık zaman dilimine ayrılmıştır. Elde edilen küplerin her biri normal şartlarda 23 adet zaman serisinden oluşup bütün yıllara ait kuş gözlem verilerini göstermektedir. Çalışma alanının büyük ölçekli olmasından kaynaklı olarak 23 adet küpün hepsinin görsel olarak gösterilmesi mümkün olmamaktadır. Bu küplerin oluşumunda 23 yıllık zamansal gözlemler ve 10 km alanlara ayrılan kareler kullanılmıştır. Trend analizi sonucunda, 3 farklı güven düzeyi elde edilmektedir. Analiz sonucunda, %90, %95 ve %99 güven düzeyleri belirlenmektedir (Yıldırım vd., 2023). %99 güven düzeyine sahip alanlar, %90 ve %95 güven düzeyine sahip olan alanlardan daha fazla gözlem sayısına sahip olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 4'te, trend analizi için kullanılan güven düzeyleri, ilgili p-değerleri ve z-puanları verilmiştir.

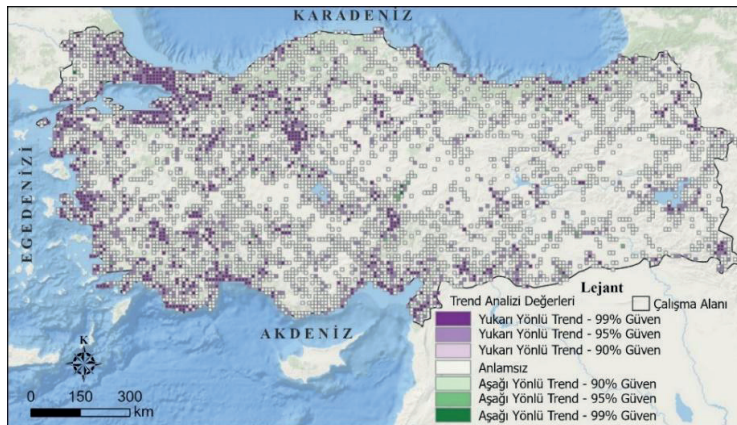
Tablo 4. Trend analizi güven düzeyleri, p-değerleri ve z-puanları (Yıldırım vd., 2023)

Güven Düzeyi	p-değerleri	z-puanları
%90	<0.10	<-1.65 ya da>+1.65
%95	<0.05	<-1.96 ya da>+1.96
%99	<0.01	<-2.58 ya da>+2.58

Güven düzeyleri, analiz sonuçlarının istatistiksel olarak ne kadar güvenilir olduğunu belirtir. Örneğin, %90 güven düzeyi, elde edilen sonuçların %90 olasılıkla doğru olduğunu göstermektedir. P-değerleri, hipotezin geçerliliğini değerlendirmek için kullanılır; p-değeri ne kadar küçükse, o kadar güçlü bir kanıt sağlar. Z-puanları ise, gözlemlenen değerlerin ortalamadan ne kadar uzak olduğunu ölçer ve trendin ne kadar belirgin olduğunu gösterir (Porter, Rao ve Hogefe, 2002; Yıldırım vd., 2023).

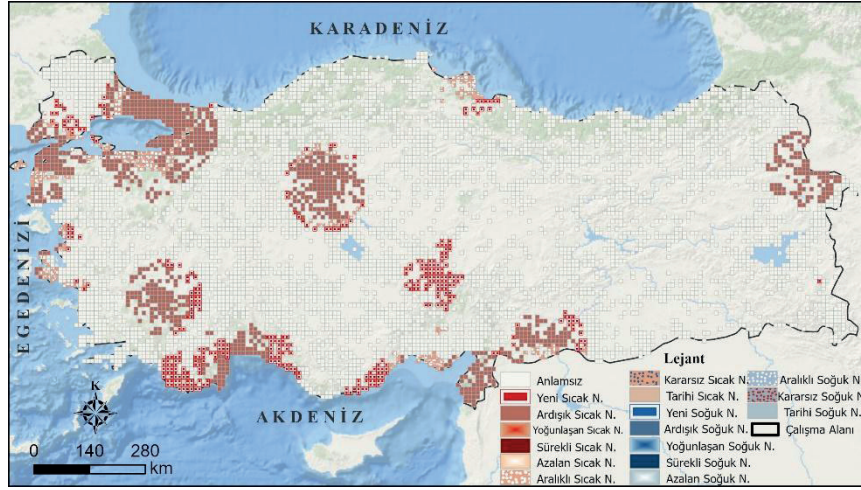
BULGULAR

Araştırma çerçevesinde, 2000—2022 yıllarını kapsayan kuş gözlem noktalarına mekân zaman küpü analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sayesinde 23 yıla ait olan kuş gözlemleri için her yılı kapsayacak şekilde zaman seriler meydana getirilmiştir. Elde edilen zaman serilerindeki uzun vadeli eğilimleri ve değişimleri belirlemek için kullanılmıştır. Bu analizler, hangi bölgelerde kuş nüfuslarının arttığını veya azaldığını tespitinin yapılabilmesini sağlamıştır. Ortaya çıkan küpler incelendiğinde, nüfusun fazla olduğu bölgelerde yapılan gözlem sayılarının nüfusun az olduğu bölgelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kuş nüfusunun yoğun olduğu alanlarda daha fazla gözlem yapıldığını göstermektedir. Zamansal olarak artışların daha net anlaşılabilmesi için elde edilen küp analizi sonucuna “Trend Analizi” uygulanmıştır. Trend analizi sayesinde hangi bölgelerde artışların daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Yapılan t-testi sonuçlarında p değerinin 0,01'den küçük olduğu alanlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Bu analiz sayesinde, kuş popülasyonlarının zaman içindeki değişimlerini belirlenebilmesi sağlanmıştır. Trend analizi sonucunda elde edilen sonuç Şekil 3'te gösterilmiştir.



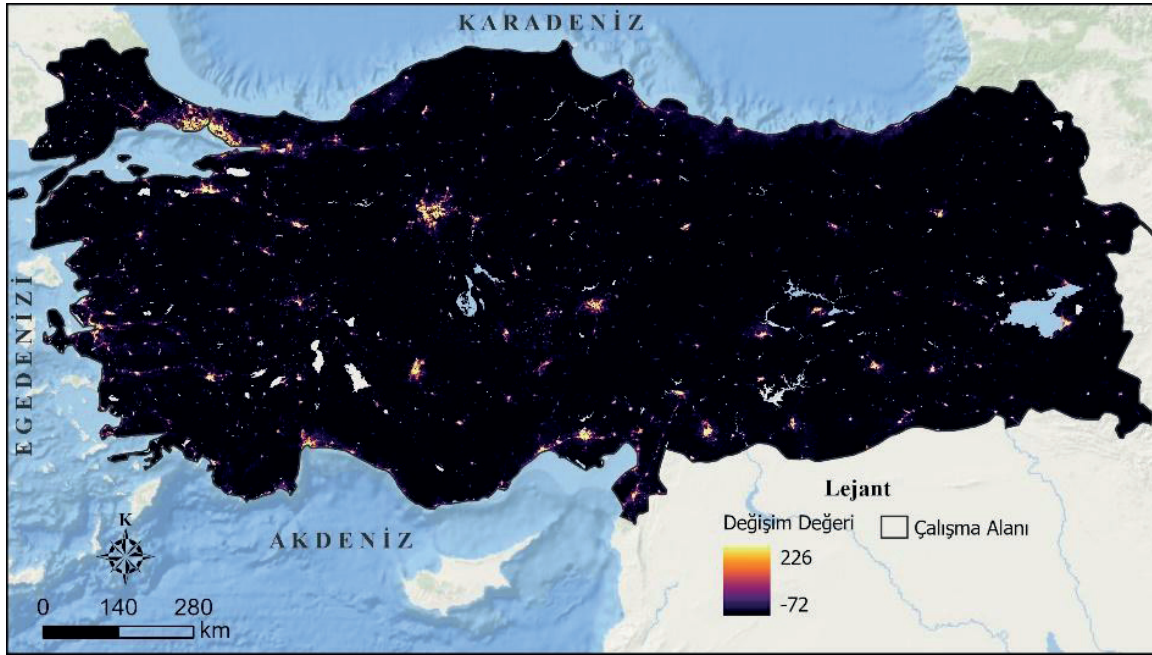
Şekil 3. Kuş Gözlem Noktalarının Trend Analizi Haritası (2000-2022)

Trend analizi sonuçlarına bakıldığında artışın fazla olduğu bölgeler daha anlaşılır bir şekilde görülebilmektedir. Zamansal olarak artışın gözlemlendiği alanlar büyük kentlerin içerisinde olduğu yerleri kapsamaktadır. Örneğin 22 yıllık süreç içerisinde İstanbul, İzmir, Antalya, Bursa, Antalya, Çanakkale, Hatay ve Ankara gibi illerde kuş gözlem sayısında anlamlı bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Zaman içerisinde aşağı yönlü trend içerisinde olan noktalar incelendiğinde yerleşme alanlarından uzak ve yapay ışık kaynağının yoğun olmadığı alanlar olarak göze çarpmaktadır. Kuş gözlem noktalarının dağılımının mekânsal istatistiksel anlamlılığı Getis-Ord General G^* analizi ile değerlendirilmiştir. Getis-Ord General G^* aracından elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.



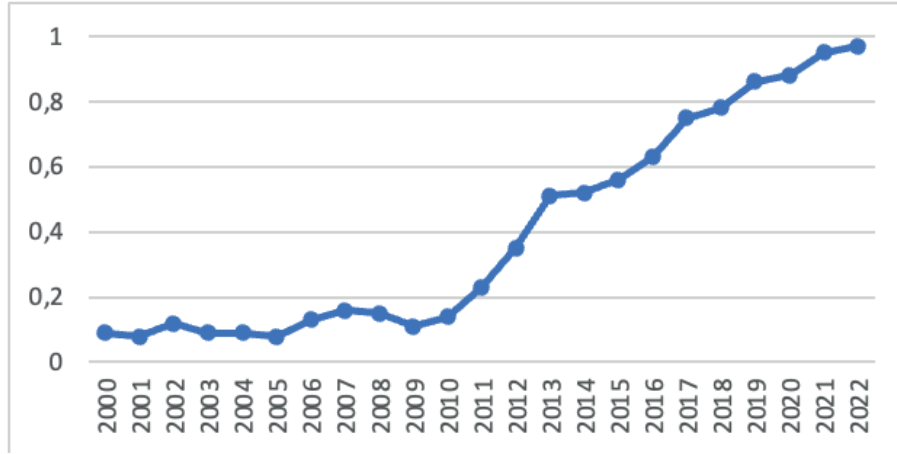
Şekil 4. Kuş Gözlem Noktalarının Zamana Bağlı Sıcak Noktalar Analizi Haritası (2000-2022)

Şekil 4'te elde edilen zamana bağlı sıcak noktalar analizi sonuçları incelendiğinde, gözlemlenen noktaların genellikle belirli alanlara yığılma gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin İstanbul, Ankara, Antalya, Çanakkale, Hatay, Kars ve Iğdır gibi illerde ardısk sıcak noktaların yayılım gösterdikleri görülmektedir. Bu sonuç bize %90'a yakın derece noktalar arasında zamansal bir anlamlılık meydana geldiği göstermektedir. Geçmişten günümüze kadar ki süreç içerisinde bölgelerin sıcak nokta özelliğini koruduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4 içerisinde dikkat çeken bölgeler ise, İstanbul'un Avrupa yakası İzmir, Bursa, Samsun ve Adana illerinde meydana gelen aralıklı sıcaklık noktaları olarak adlandırılan sıcak nokta sınıfının görülmesidir. Bu bize zamansal olarak bu alanlarda farklılıkların meydana geldiğini göstermektedir. Meydana gelen bu farklılıklara rağmen bu bölgeler içerisinde yer alan noktaların anlamlı bir eğilim içerisinde olduklarını göstermektedir. 2022 yılı içerisinde anlamlı bir artış göstererek yeni sıcak noktaların oluşum gösterdiği alanlar ise, Tekirdağ, Kırklareli, Kayseri ve Samsun civarlarında meydana geldiği belirlenmiştir. Bu alanlarda 2000 ve 2022 yılları arasında anlamlı bir eğilim saptanmamasına rağmen son dönem içerisinde gerçekleşen artış eğilimi sonucunda yeni sıcak noktalar meydana gelmiştir. Bu durum kuş hareketliliğinin bu alanlar içerisinde 2022 yılında artış gösterdiğini belirtmektedir. Analiz sonucunda, bölgesel olarak sıcak noktaların ve değişimlerin zaman içinde nasıl evrildiğini anlamak için önemlidir. Ayrıca, belirlenen yeni sıcak noktaların ortaya çıkması, kuş popülasyonlarının dağılımında önemli değişikliklerin gerçekleştiğine işaret etmektedir. Elde edilen çıktı sonuçları "Doğrudan Değişim Analizi" işlemine kullanılarak hangi alanlarda ışık değişiminin artış ya da azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5).



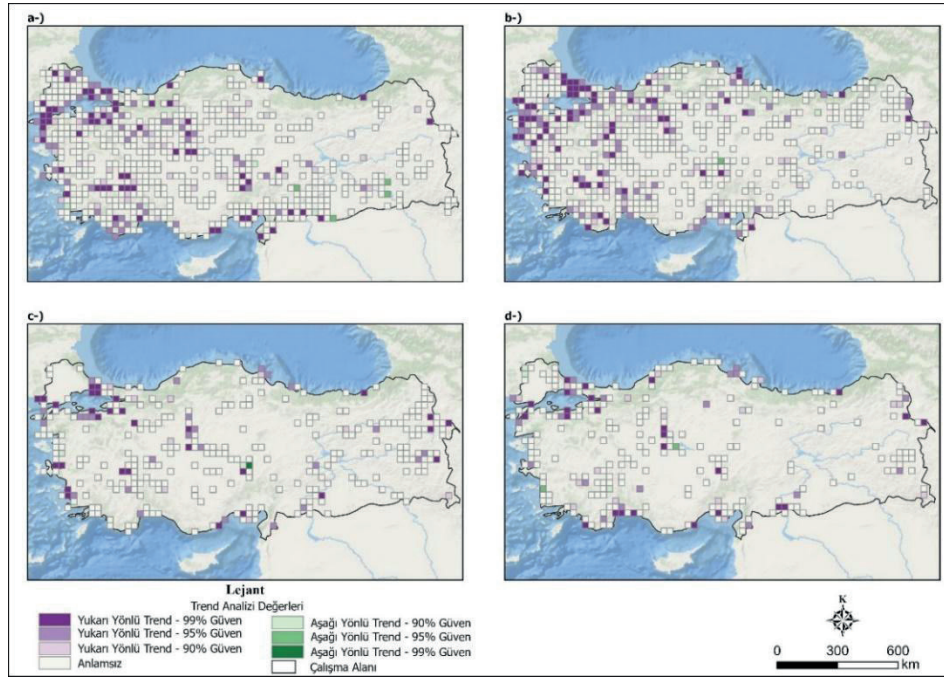
Şekil 5. 2000-2022 Yılı Gece Işığı Değişim Haritası (nanoWatt/sr/cm²)

2000 ve 2022 yılları arasında Türkiye'de ortalama gece ışığı yansımada değerlerindeki yıllık değişim, ülke genelinde gece ışığı yansımada değerlerinde bir artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 5). Mekânsal ışık değişimi incelendiğinde, Genellikle büyük yerleşim yerlerinin olduğu alanlarda ışık yoğunluğunun artış eğilimi içerisinde olduğu belirlenmiştir. Işık yoğunluğunun arttığı başlıca iller, İstanbul, İzmir, Ankara, Antalya, Bursa, Gaziantep ve Kocaeli gibi bölgeler olduğu görülmektedir. Bu artışın özellikle büyük şehirlerde yoğunlaştığı göz önüne alındığında, kentsel alanlardaki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin ışık kirliliği üzerindeki etkisi dikkat çekmektedir. İstanbul, İzmir, Ankara gibi büyük metropollerdeki yoğun ışıklandırma, gece ışığı yansımada değerlerindeki artışın ana kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Ancak, bu artış eğiliminin her bölgede homojen bir şekilde gerçekleşmediği de gözlemlenmektedir. İç Anadolu bölgesini kapsayan alanlarda ise gece ışığı yansımada değerlerinde azalma eğilimi gözlenmektedir. Bu durum, belirli bölgelerdeki kentsel gelişimin diğer bölgelere göre daha yavaş veya farklı bir seyir izlediğini göstermektedir. Genel olarak ışık yoğunluğundaki değişime bakıldığında artış eğiliminin her bölgede olduğu ve bu durumun çevreye yaratmış olduğu olumsuz etkininde aynı oranda arttığını söylemek mümkündür (Şekil 5). Yapay ışık kirliliğinin giderek arttığı ve çevresel etkilerinin yaygınlaştığına işaret etmektedir.



Şekil 6. 2000-2022 Yılları Arasındaki Gece Işığının Değişim Grafiği (nanoWatt/sr/cm2)

Şekil 6'da 2000—2022 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen gece ışığı değişim değerlerine ait grafik gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında 2000 yılından itibaren devamlı bir artış eğiliminin olduğu görülmüştür. Artış miktarının 2010 yılından itibaren pik yapmaya başladığı belirlenmiştir. Bu dönemden itibaren gece ışığı değerlerinde artış devam etmiştir. Bu durum yapay ışık kirliliğinin zamansal olarak sürekli arttığını göstermektedir. Yapay ışık kirliliğinin bu denli artış göstermesi, çeşitli faktörlerle ilişkilendirilebilmektedir. Özellikle kentsel alanlardaki nüfus artışı, altyapı ve ışıklandırma sistemlerindeki gelişmeler ve sanayi faaliyetlerinin yaygınlaşması gibi etkenler yapay ışık kirliliğinin artmasında ki önemli faaliyetlerdir.



Şekil 7. A-) İspanyol Serçesi (*Passer hispaniolensis*), b-) Kara Leylek (*Ciconia nigra*), c-) Göl Kiraz Kuşu (*Erithacus cyane*), d-) Saz Kamışcını (*Acrocephalus schoenobaenus*) Kuş Türlerinin Trend Analizi (2000—2022)

Şekil 7'de İspanyol Serçesi (*Passer hispaniolensis*), kara Leylek (*Ciconia nigra*), göl Kiraz Kuşu (*Erithacus cyane*) ve saz Kamışcını (*Acrocephalus schoenobaenus*) türlerine ait noktasal veri kullanılarak STC analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, göçmen kuşların

hangi bölgelerde zamansal değişime bağlı olarak daha fazla görüldüğünün mekânsal olarak belirlenmesini sağlamıştır. Yapılan analiz sonucunda, ışık yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde zaman içerisinde göçmen kuşların görülme oranında yukarı yönlü bir trend olduğu belirlenmiştir.

Bu bölgeler, İstanbul, Ankara, İzmir, Antalya, Mersin, Çanakkale, Bursa ve Gaziantep gibi büyükşehirlerin olduğu alanlarda artış göstermektedir. Bu durum, kentsel alanlardaki ışık kirliliğinin göçmen kuşların hareketleri üzerindeki etkisinin yükseldiğini işaret etmektedir. Özellikle büyükşehirlerdeki ışık yoğunluğu, göçmen kuşların bu bölgelere daha fazla yönelmesine neden olmaktadır. Bu bölgeler, Şekil 5'te gösterildiği üzere, son 23 yıl içinde ışık yoğunluğunun en fazla olduğu alanları kapsamaktadır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırma kapsamında, 2000 ile 2022 yılları arasındaki Türkiye'deki kuş gözlem noktaları ve gece ışığı uydu görüntülerinin analiz edilerek, meydana gelen yapay ışık kirliliğinin gözlemlenen kuş türleri ve çeşitliliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda 1.946.422 kuş gözlemi verisi işleme alınmış ve gözlemlenen kuş sayılarındaki değişim zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmiştir. Diğer yandan 2000-2022 yılları arasında yapay ışık kirliliğinde meydana gelen değişimin tespiti amacıyla, uzaktan algılanmış gece ışığı görüntüleri analiz edilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye'de 2000—2022 yılları arasında meydana gelen ortalama yapay ışık parlaklığı değişimi hesaplanarak, değişimin zamansal ve mekânsal boyutu ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlar Türkiye'de 2000—2022 yılları arasındaki yapay ışık kirliliği değişimi ile kuş gözlem sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ($p>0,1$). Diğer yandan kuş gözlem sayılarında da istatistiksel olarak anlamlı bir eğilime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapay gece ışığı kirliliği üzerine yapılmış olan çalışmalar, gece ışıkları ile kuş gözlemleri arasındaki ilişkiye odaklanmışlardır. Bu çalışmalar yapılırken 5 veya 10 yıllık zaman periyodları içerisinde yer alan gözlem sayıları üzerinden istatistiksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar gerçekleştirilirken herhangi bir STC analizi, zamana bağlı sıcak nokta analizi ve trend analizi gibi farklı CBS teknikleri kullanılmamıştır. Genel olarak sayısal değerler üzerinden durulmuştur. Araştırma bu noktada diğer literatürde yer alan çalışmalardan ayrılmaktadır. Analizin içine mekânsal bir boyut katarak mekân, zaman ve konum bilgisinin aynı anda işlenebilmesine imkân tanımıştır. Bu sayede, istatistiksel analizler gerçekleştirilirken sayısal değerlerin mekânsal olarak dağılışı belirlenmiştir.

Yapay ışık kirliliğinin kuş göçleri ve habitatlarına olan etkileri üzerine yapılan çalışmalar araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, Senzai vd., (2020) tarafından yapılan çalışmada, belirlenen 4 farklı kuş türünün yapay ışık kaynaklarının bulunduğu alanlarda daha fazla görülmeye başlanması dikkat çeken bir bulgudur. Türkiye ölçeğinde yapılan bu çalışmada da belirlenen; ispanyol serçesi (*Passer hispaniolensis*), kara leylek (*Ciconia nigra*), göl kiraz kuşu (*Erithacus cyane*) ve saz kamışcını (*Acrocephalus schoenobaenus*) türlerinin Şekil 7'de görüldüğü gibi yapay ışık kirliliğinin bulunduğu alanlarda gözlem sayılarının artış trendinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, farklı alanlar ve türlere sahip çalışmaların örtüşüğünü göstermektedir.

Yapılan farklı çalışmalar, kuş türlerinin yapay gece ışığı kirliliği sebebiyle üreme ve beslenme davranışlarında bozulmalara yol açtığını göstermektedir (Senzaki vd., 2020; Dominoni, Quetting ve Partecke, 2013). Bu bozulmalara zaman içerisinde tür içinde popülasyon kaybına yol açabilecek sorunlara yol açabilecek boyutlara gelmesi literatürde vurgulanan önemli sorunlardan biridir (Visser, Both ve Lambrechts, 2004; Senzaki vd., 2020; Dominoni, Quetting ve Partecke, 2013). Işığa duyarlı olan canlıların zaman içerisinde yeterli besin kaynağı ve üreme dönemlerinde çiftleşmelerinden kaynaklı olarak tür kayıplarının yaşanması yapay ışık kirliliğinin önemli sorunlarındanıdır. Çalışmada Şekil 5 ve Şekil 6'da zaman içerisinde yapay gece ışığının artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumun yaşandığı bölgelerde, belirtilen beslenme ve üreme sorunun gözlemlenme olasılığı daha yüksektir. Türkiye'de yapılacak olan çalışmalar için gerekli alanların belirlenebilmesi için yardımcı olacak niteliktedir.

Araştırmada yapay ışık kaynaklarının artış gösterdiği alanlarda bu dönem ile örtüşen kuş gözlemlerine ait olan noktalarında artış içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Literatürde bu durum incelendiğinde bu durumun iki farklı sonuca yol açabileceği belirtilmiştir (Weisshaupt vd., 2022; Cabrera-Cruz vd., 2020). Yapılan farklı çalışmalarda, normal şartlarda kuş gözlemi yapılan bölgelerde zaman içerisinde artan yapay ışık kirliliğine bağlı olarak bölgede ki kuş gözlem sayısında bir düşüşün meydana gelmesinin beklendiği belirtilmiştir (LaRoe, Holmes ve Schad, 2022). Fakat bu durumun aksini söyleyen ve çalışma sonucuna benzer sonuçların elde edildiği literatür çalışmalarının daha fazla olduğu literatür analizi sonucunda görülmüştür (Weisshaupt vd., 2022; Cabrera-Cruz vd., 2020).

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Türkiye'nin kuş güzergâhları için önemli bir güzergâh içerisinde olmasından kaynaklı olarak kuş gözlem sayısında azalmanın meydana gelmediği aksine kuş gözlem sayılarının giderek daha fazla olacak şekilde artış eğilimi içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan ışık değişimi analizleri sonucunda 2000—2022 yılları arasında Türkiye genelinde ışık yoğunluğunun giderek daha fazla arttığı tespit edilmiştir. Kuş gözlemleri ve yapay ışık kirliliğinin yarattığı çevresel riskin artış gösterdiği iller İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa ve Antalya gibi büyükşehir statüsünde olan bölgelerde olması şu sonucu ortaya çıkarmaktadır. Yapay ışık kaynaklarının yoğun olduğu bölgeler kuşların doğal navigasyonlarını etkileyerek doğal rotalarının aksine yapay ışık kaynaklarının olduğu bölgelere gitmelerine neden olmaktadır. Bu etkiler sebebiyle kuş ekosistemlerini etkileyen farklı durumlar oluşabilmektedir. Bu etkiler içerisinde sıklıkla görülen durumun, yüksek katlı ve ışık aydınlatmasının yoğun olduğu binalara doğru kuşların uçarak camlara çarpması ve kentsel alanlarda yeterli besin kaynağı bulamamalarından kaynaklı olarak kuş ölümlerinin artması göze çarpmaktadır. Bu durum, zaman içerisinde kuş popülasyonunda bazı türlerin risk altına girmesine ve zaman içerisinde sayılarının giderek azalarak tür kaybının yaşanmasına neden olabilecek sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunun ortaya çıkması, kuş ekosistemlerini ve habitatlarını çevresel risklerle karşı karşıya bırakacaktır.

Yapılan çalışma, literatür içerisinde daha önce gerçekleştirilmemiş bir sorun ve konuya dikkat çekmek üzere gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sayesinde, kuş ekosistemleri ve habitatları üzerinde oluşabilecek çevresel risk kaynaklı sorunların tespit edilip ortaya çıkarılması için uzaktan algılama ve bulut tabanlı sistemlerin gelecekteki çalışmalarda daha fazla kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

| EXTENDED ABSTRACT |

Spatio-Temporal Analysis of Relationship Between Artificial Light Pollution and Bird Observations in Turkey: A Geostatistical ApproachŞevki DANACIOĞLU  Hüseyin Can ÖNGÜL **INTRODUCTION**

Environmental risk is defined as the exposure to adverse effects caused by specific pollutants or contaminating materials on humans, plants, animals, and other biotic elements (Holmes, Singh, & Theodor, 1993). Typically, when environmental pollution is mentioned, issues caused by soil, water, air, and other chemical waste come to mind. However, in recent times, different types of pollution such as light pollution have begun to cause significant harm to natural ecosystems (OECD, 1997; Topuz, 2009). Light pollution occurs in the sky and natural environment due to the increase in artificial light from human sources (Gaston et al., 2013), which negatively affects ecosystems, astronomical observations, and human health (Longcore & Rich, 2004). Artificial light pollution has various adverse effects on humans, ecosystems, and other organisms (Meng et al., 2022; Hölker et al., 2015; Falcón et al., 2020). Among these effects are human health issues such as visual impairment or blindness, bats unable to detect prey, sea turtles unable to find their nests, disruptions in sleep patterns in animals, and migratory avians losing their natural navigation abilities. The effects on avian ecosystems are also significant; because artificial light pollution can affect the routes, breeding, and feeding activities of migratory avians (Hu, Hu, & Huyang, 2018; Orłowski, Harmening, & Wagner, 2012). Some avian species are sensitive to artificial light sources, which can affect their breeding times and behaviors (Senzaki et al., 2020; Dominoni, Quetting, & Partecke, 2013). Various methods are used to determine artificial light pollution, including observations and field studies, monitoring surface temperatures, radar tracking, genetic analyses, and remote sensing technologies (Goetz et al., 2010; Sader, Powell, & Rappole, 1991; Groom et al., 2013; Fuller et al., 2005; Fuller et al., 2007). In recent years, advances in satellite technologies and remote sensing technologies have played a significant role in detecting and monitoring artificial light pollution (Levin et al., 2020; Adelabu & Olusola, 2021). In this context, the aim of the study is to examine the temporal and spatial changes of artificial light pollution in Turkey and its impact on observed avian species diversity and abundance. The relationship between artificial light pollution and observed avian species diversity and abundance was investigated in the study, and the H0 and H1 hypotheses were tested.

MATERIALS AND METHODS**Study Area**

The study was conducted in the Anatolian and Thrace regions of Turkey. Geographically, Turkey is located between 36° – 42° North latitude and 26° – 45° East longitude. Due to its mathematical and unique position, Turkey is considered a country rich

in physical, human, biological, and ecological aspects (Kangal, 2023). Turkey's ecological advantages are based on factors such as its geographical location, climate characteristics, soil diversity, variety of water resources, and biological diversity. These advantages allow for an increase in species diversity, enabling the observation of various avian species (Kangal, 2023). Turkey is situated in an area where various phytogeographic regions can be observed. The Iran-Turan phytogeography covers Turkey's Inner Anatolian and Eastern regions and generally exhibits a cold and continental climate characteristic. In these regions, steppe and steppe vegetation are widespread. The European-Siberian phytogeography, covering Turkey's Northeastern regions, has a more humid and rainy climate characteristic. Therefore, broad-leaved plant and tree species are dominant vegetation in this region. The Mediterranean phytogeography is prevalent along the Aegean and Mediterranean coasts of Turkey. These regions have mild and rainy winters and hot and dry summers. Plant species such as olive trees, Turkish pine, and maquis form the dominant vegetation in these regions. Turkey's diverse climate and habitat diversity support the presence of different species, contributing to the richness of avian diversity (Yeşilyurt, Latif, & Akaydın, 2008; Ünal & Gökçeoğlu, 2003; Baştürk & Aladağ, 2009). It is observed that Turkey has a rich avifauna in terms of biology and ecology. Over 495 avian species have been identified throughout Turkey, and these species are distributed across different ecosystems (Kocaman & Arslan, 2023). Species such as the Egyptian vulture (*Neophron percnopterus*), Eastern imperial eagle (*Aquila hastata*), and golden eagle (*Aquila chrysaetos*) inhabit forested areas, while species like the rock pigeon (*Columba livia*), common kestrel (*Falco tinnunculus*), and Eurasian kestrel (*Falco tinnunculus*) are commonly found in agricultural areas (Eken et al., 2005). Wetland and marsh areas are home to species such as the white stork (*Ciconia ciconia*), common moorhen (*Gallinula chloropus*), and reed warblers (*Acrocephalus spp.*). Turkey's coastal areas are important stopover sites for migratory avians, where species like the greater flamingo (*Phoenicopterus roseus*), glossy ibis (*Plegadis falcinellus*), and gulls (*Larus spp.*) are frequently observed. However, factors such as increasing population, land use mismanagement, urbanization, and the rise in artificial light pollution pose threats to this biological richness. Particularly, the increase in artificial light pollution has significant effects on Turkey's avifauna (Turan & Arıkan, 2011).

Data

In the study, corrected nighttime light index (EANTLI) images based on Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System (DMSP OLS), Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), and enhanced vegetation index were used (Chen et al., 2020). The cross-calibration process was employed to enable the processing of these images together, allowing for the comparison and analysis of satellite images with different characteristics (Chen et al., 2020). The resolutions of DMSP OLS and VIIRS datasets were equalized (Zhuo et al., 2015; Chen et al., 2020). DMSP OLS: Nighttime Lights Time Series Version 4, VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1, and EANTLI images were utilized. The DMSP-OLS dataset has a resolution of 927 meters and covers latitudes from 75°00'00" North to 65°00'00" South. The VIIRS dataset has a higher resolution (463.83 meters) and provides more consistent measurements (Zheng et al., 2019; Shi et al., 2014). EANTLI was developed to address resolution issues of the DMSP OLS dataset and was obtained by merging vegetation and nighttime light data (Zhuo et al., 2015; Chen et al., 2020). The eBird database, which records over 100 million avian observations worldwide, was used for assessing avian ecosystems (Sullivan et al., 2009). eBird provides a valuable resource for avian observers and scientists, and a total of 1,946,422 avian observation points from different regions of Turkey were used in this study (eBirds, 2021; Wood et al., 2011).

METHOD

Space-Time Cube Model and Hot Spot Analysis

In the study, the Space-Time Cube (STC) technique was utilized to evaluate the temporal and spatial distribution of avian observation points (Bach et al., 2014). The STC presents spatial data in a cube format, encompassing both the spatial dimensions (x, y) and the time (t) dimension of geographic data (Bach et al., 2014). STC enables statistical and analytical

assessments such as trend analysis, density analysis, and hot spot analysis (Mo et al., 2020; Havrys et al., 2023). The “Space Time Cube By Aggregating Points” tool within ArcGIS Pro 3.1.3 software was employed to create the STC data structure in the study. A temporal interval of one year was used in STC analysis, resulting in 23 cubes for each point. Emerging Hot Spot analysis was conducted using the obtained STC, which incorporates temporal changes into hot spot analysis (Purwanto et al., 2021). As a result of the Emerging Hot Spot analysis, temporal trends were classified and illustrated (Yıldırım et al., 2023). Additionally, a fixed distance parameter was utilized for examining spatial relationships, with each point being associated with 8 other points. Cluster analysis was performed to evaluate the spatial distribution of avian observation points. The Getis-Ord General G^* tool was employed for High/Low cluster analysis, and the resulting outcomes were statistically evaluated. These analyses determine whether avian observation points exhibit spatially significant clustering.

Artificial Light Pollution Analysis

In the study, nighttime light data was used to investigate the changes in artificial light pollution across Turkey from 2000 to 2022. To determine this change, the nighttime light radiance values for the years 2000 and 2022 were compared. The formula used to calculate artificial light pollution expresses the difference between the nighttime light radiance value in 2022 and the nighttime light radiance value in 2000. The results indicate that the areas with the highest artificial light pollution are also the areas where the difference in radiance values is most pronounced. Additionally, annual average radiance values were calculated for this period to assess the change in average nighttime light radiance values across Turkey from 2000 to 2022.

Trend Analysis

In the study, trend analysis was conducted to determine the trends and changes in avian observations between 2000 and 2022. The linear analysis method was preferred, and trends of increase or decrease over time were examined (Porter, Rao, & Hogefer, 2002). Trend analysis is a statistical method that evaluates the change of a variable over time (Hess, Iyer, & Malm, 2001). In the research, changes in avian observation counts in 5259 areas divided into 10 km x 10 km squares were statistically evaluated. Observation points in these squares were divided into a 22-year time frame. There are 23 time series in each square. Confidence levels of 90%, 95%, and 99% were utilized in the analysis (Yıldırım et al., 2023). Confidence levels indicate the reliability of the analysis results. P-values are used to assess the validity of the hypothesis, while z-scores measure how far observed values are from the mean (Porter, Rao, & Hogefer, 2002; Yıldırım et al., 2023).

FINDINGS

Within the scope of the research, changes in avian populations in Turkey between 2000 and 2022 were examined. The data from avian observation points were evaluated through spatial and time-based analyses. In these analyses, separate time series were created for each year to determine long-term trends and changes. The results indicated that more observations were made in areas with dense avian populations, and there was a significant increase in observations in major cities. Additionally, using trend analysis, it was determined where increases were more prominent, and significant increases were observed in some provinces. Particularly in cities such as Istanbul, Izmir, Antalya, Bursa, Canakkale, Hatay, and Ankara, significant increases in avian observation counts were observed. To determine changes in the distribution of avian populations, Getis-Ord General G^* analysis was conducted, and the evolution of temporal hotspots was examined. In this analysis, it was observed that hotspots generally concentrated in specific areas and spread in major cities and certain provinces. Furthermore, regions where new hotspots emerged in 2022 were identified, indicating an increase in avian movement in these areas. It was determined that new hotspots particularly formed around Tekirdag, Kirklareli, Kayseri, and Samsun. In another section of the study, changes in nighttime light radiance values were examined to determine the increase in light pollution in urban areas. This increase was observed to be particularly concentrated in major cities such as Istanbul, Izmir, Ankara, Antalya, Bursa, Gaziantep, and Kocaeli. In areas covering the Central Anatolia region, a decrease in nighttime light radiance values was observed. Lastly,

STC analysis was conducted to understand changes in the distribution of migratory avians, revealing that migratory avians were more commonly observed in certain areas over time. These areas were generally in major cities and areas with high light intensity. Particularly, there is an increase in areas with major cities such as Istanbul, Ankara, Izmir, Antalya, Mersin, Canakkale, Bursa, and Gaziantep.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The research aimed to investigate the relationship between artificial light pollution and observed bird species diversity in Turkey from 2000 to 2022 by analyzing bird observation points and nighttime satellite imagery data. A dataset of 1,946,422 bird observations was processed, and changes in observed bird numbers were evaluated temporally and spatially. Additionally, changes in artificial light pollution between 2000 and 2022 were assessed using remotely sensed nighttime light imagery. The results revealed a statistically significant relationship ($p > 0.1$) between changes in artificial light pollution and observed bird counts in Turkey during the study period. Furthermore, statistically significant trends were observed in bird observation counts.

Studies focusing on artificial nighttime light pollution and bird observations typically employ statistical calculations based on observation counts within 5 – or 10-year time periods. However, this research differed by incorporating spatial analysis techniques such as Space-Time Cube (STC) analysis, time-dependent hot spot analysis, and trend analysis, allowing for the simultaneous processing of spatial, temporal, and locational data. This approach provided insights into the spatial distribution of numerical values during statistical analyses. Findings from various studies align with the research's results regarding the impacts of artificial light pollution on bird migrations and habitats. For instance, Senzai et al. (2020) noted an increase in observations of certain bird species in areas with artificial light sources, similar to the trends observed in this study for species like the Spanish sparrow (*Passer hispaniolensis*), black stork (*Ciconia nigra*), robin (*Erithacus cyane*), and reed warbler (*Acrocephalus schoenobaenus*) as shown in Figure 7.

Several studies have highlighted disruptions in bird breeding and feeding behaviors due to artificial nighttime light pollution (Senzaki et al., 2020; Dominoni, Quetting, & Partecke, 2013), which could lead to population declines over time (Visser et al., 2004; Senzaki et al., 2020; Dominoni, Quetting, & Partecke, 2013). The increase in artificial nighttime light shown in Figures 5 and 6 suggests a higher likelihood of observing these disturbances in areas experiencing such increases. Contrary to expectations in some literature, where increased artificial light pollution led to decreased bird observation counts, this study found an increasing trend in bird observation numbers, particularly in areas with rising artificial light sources. This discrepancy emphasizes the complexity of the relationship between artificial light pollution and bird observations and underscores the need for further research using advanced spatial analysis techniques.

In conclusion, this study sheds light on the environmental risks posed by artificial light pollution to bird ecosystems and habitats in Turkey. Future research should leverage remote sensing and cloud-based systems to better understand and address these environmental challenges.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Adelabu, S. A., & Olusola, A. O. (2021, July 11-16). Remote sensing of nighttime light: progress, prospects and possibilities in Africa (2013–2021). In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Brussels, Belgium, 4484-4487. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.955.3473>
- Avcı, M. (2000). Yeryüzünün Zoocoğrafya bölgeleri ve Türkiye'nin yeri. *Coğrafya Dergisi*, 8, 157-200.
- Bach, B., Dragicevic, P., Archambault, D., Hurter, C., & Carpendale, S. (2014, Jun 25). A review of temporal data visualizations based on space-time cube operations. In *Eurographics Conference on Visualization*, Swansea, Wales, United Kingdom, 1-19. <http://dx.doi.org/10.2312/eurovisstar.20141171>
- Barré, K., Vernet, A., Azam, C., Le Viol, I., Dumont, A., Deana, T., & Kerbiriou, C. (2022). Landscape composition drives the impacts of artificial light at night on insectivorous bats. *Environmental Pollution*, 292, 118394. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118394>

- Baştürk, K., & Aladağ, C. (2009). Maki ve garig topluluklarının Türkiye'deki yayılış alanları ve ekolojik özelliklerinin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22, 67-80.
- Burt, C. S., Kelly, J. F., Trankina, G. E., Silva, C. L., Khalighifar, A., Jenkins-Smith, H. C., ve Horton, K. G. (2023). The effects of light pollution on migratory animal behavior. *Trends in Ecology ve Evolution*, 38(4), 355-368. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.12.006>
- Cabrera-Cruz, S. A., Smolinsky, J. A., & Buler, J. J. (2018). Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Scientific Reports*, 8(1), 3261. <https://www.nature.com/articles/s41598.018.21577-6>
- Camacho, L. F., Barragán, G., & Espinosa, S. (2021). Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations. *Biological Conservation*, 262, 109311. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109311>
- Chen, Z., Yu, B., Yang, C., Zhou, Y., Yao, S., Qian, X., Wang, C., Wu, B., & Wu, J. (2020). An extended time series (2000–2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 13, 889–906. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-2020-201>
- Çakıcı, A. C. ve Harman, S. (2006). Kuş gözlemciliğinin önemi: Türkiye'de kuş gözlemciliğinin profili. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 17(2), 161-168.
- Çelik, G. (2000). Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu,(Doktora Tezi) *Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye*.
- Doğanay, H., Özdemir, Ü., & Şahin, İ. F. (2011). *Genel beşeri ve ekonomik coğrafya*. PEGEM Akademi yayınları, Ankara.
- Dominoni, D., Quetting, M., & Partecke, J. (2013). Artificial light at night advances avian reproductive physiology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756), 20123017. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3017>
- Dunn, P. O., & Winkler, D. W. (1999). Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1437), 2487-2490. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0950>
- eBird. 2021. eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Mevcut: <http://www.ebird.org>. (Erişim Tarihi [12, Mart 2024]).
- Eken, G., Bozdoğan, M., Karataş, A., Kılıç, D. T., & Gem, E. (2005). Türkiye'nin önemli doğa alanları-Yeni koruma bölgelerinin seçiminde öncelikli alanlar. *Korunan Doğa Alanları Sempozyumu*, 8(10), 133-140.
- ESRI. (2022b, June 8) ArcGIS Pro Resources, How emerging hot spot analysis 19 Ocak 2024 tarihinde <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm> adresinden edinilmiştir.
- ESRI. 30 Ocak 2024 tarihinde <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/space-time-pattern-mining-toolbox/create-space-time-cube.htm> adresinden edinilmiştir.
- Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., ve Hicks, D. (2020). Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 1183. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>
- Fleury, G., Masis-Vargas, A., & Kalsbeek, A. (2020). Metabolic implications of exposure to light at night: lessons from animal and human studies. *Obesity*, 28, 18-28. <https://doi.org/10.1002%2Foby.22807>
- Fuller, R. M., Devereux, B. J., Gillings, S., Amable, G. S., & Hill, R. A. (2005). Indices of bird-habitat preference from field surveys of birds and remote sensing of land cover: A study of south-eastern England with wider implications for conservation and biodiversity assessment. *Global Ecology and Biogeography*, 14(3), 223-239. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00145.x>
- Fuller, R. M., Devereux, B. J., Gillings, S., Hill, R. A., & Amable, G. S. (2007). Bird distributions relative to remotely sensed habitats in Great Britain: towards a framework for national modelling. *Journal of Environmental Management*, 84(4), 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.07.001>
- Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W., & Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*, 88(4), 912-927. <https://doi.org/10.1111/brv.12036>
- Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where? *Journal of Development Economics*, 149, 102602. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102602>
- Goetz, S. J., Steinberg, D., Betts, M. G., Holmes, R. T., Doran, P. J., Dubayah, R., & Hofton, M. (2010). Lidar remote sensing variables predict breeding habitat of a Neotropical migrant bird. *Ecology*, 91(6), 1569-1576. <https://doi.org/10.1890/09-1670.1>
- Hashim, H., Wan Mohd, W. M. N., Sadek, E. S. S. M., & Dimiyati, K. M. (2019). Modeling urban crime patterns using spatial space time and regression analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 247-254. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-247-2019>
- Havrys, A., Yakovchuk, R., Pekarska, O., & Tur, N. (2023). Visualization of fire in space and time on the basis of the method of spatial location of fire-dangerous areas, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(2),28-37. <http://dx.doi.org/10.12912/27197050/156971>
- Hess, A., Iyer, H., & Malm, W. (2001). Linear trend analysis: a comparison of methods. *Atmospheric Environment*, 35(30), 5211-5222. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00342-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00342-9)
- Holmes, G., Singh, B. R., & Theodore, S. (1993). Environmental Risk Assessment. In *Handbook of Environmental Management and Technology*, In C. Rich & T. Longcore (Eds.) 573-583, Washington, DC, USA. Island Press.

- Hölker, F., Wurzbacher, C., Weißenborn, C., Monaghan, M. T., Holzhauer, S. I., & Premke, K. (2015). Microbial diversity and community respiration in freshwater sediments influenced by artificial light at night. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140130. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0130>
- Hu, Z., Hu, H., & Huang, Y. (2018). Association between nighttime artificial light pollution and sea turtle nest density along Florida coast: A geospatial study using VIIRS remote sensing data. *Environmental Pollution*, 239, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.021>
- Jiang, W., He, G., Long, T., Wang, C., Ni, Y., & Ma, R. (2017). Assessing light pollution in China based on nighttime light imagery. *Remote Sensing*, 9(2), 135. <https://doi.org/10.3390/rs9020135>
- Jing, X., Shao, X., Cao, C., Fu, X., & Yan, L. (2015). Comparison between the Suomi-NPP Day-Night Band and DMSP-OLS for correlating socio-economic variables at the provincial level in China. *Remote Sensing*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.3390/rs8010017>
- Kangal, N. (2023). Kurumsal Kalitenin Ekolojik Ayak İzi Üzerine Etkisinin Ampirik Analizi: E7 Ülkeleri Örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(4), 636-645. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.1335524>
- Kocaman, G., & Arslan, H. (2023). Ebird verilerinin incelenmesi yolu ile Türkiye’de kuş gözlemciliği üzerine bir değerlendirme. *The Journal of Social Sciences*, 63(63), 537-552. <http://dx.doi.org/10.29228/SOBIDER.68937>
- Kumar, P., Ashawat, M. S., Pandit, V., & Sharma, D. K. (2019). Artificial Light Pollution at Night: A risk for normal circadian rhythm and physiological functions in humans. *Current Environmental Engineering*, 6(2), 111-125. <https://doi.org/10.2174/221.271.7806666.190.619120211>
- LaRoe, J., Holmes, C. M., & Schad, T. (2022). Nightlight Intensity Change Surrounding Nature Reserves: A Case Study in Orbroicher Bruch Nature Reserve, Germany. *Remote Sensing*, 14(16), 3876. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14163876>
- Levin, N., Kyba, C. C., Zhang, Q., de Miguel, A. S., Román, M. O., Li, X., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>
- Li, X., Zhang, C., Li, W., & Liu, K. (2017). Evaluating the use of DMSP/OLS nighttime light imagery in predicting PM2.5 concentrations in the northeastern United States. *Remote Sensing*, 9(6), 620. <https://doi.org/10.3390/rs9060620>
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), 191-198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2)
- Mathews, F., Roche, N., Aughney, T., Jones, N., Day, J., Baker, J., & Langton, S. (2015). Barriers and benefits: implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0124>
- Meng, L., Zhou, Y., Román, M. O., Stokes, E. C., Wang, Z., Asrar, G. R., & Wang, Y. (2022). Artificial light at night: an underappreciated effect on phenology of deciduo etecody plants. *PN etecxus*, 1(2), pgac 046. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac046>
- Mo, C., Tan, D., Mai, T., Bei, C., Qin, J., Pang, W., & Zhang, Z. (2020). An analysis of spatiotemporal pattern for COIVD-19 in China based on space-time cube. *Journal of Medical Virology*, 92(9), 1587-1595. <https://doi.org/10.1002/jmv.25834>
- Montevecchi, W. A. (2006). Influences of artificial light on marine birds. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, 94-113 Washington, DC, USA. Island Press.
- OECD. (1997). Proceeding of the OECD workshop on Non-Regulatory Initiatives for Chemical Risk Management, Organisation for Economic Cooperation and Development, 3-25.
- Orlowski, J., Harmening, W., & Wagner, H. (2012). Night vision in barn owls: visual acuity and contrast sensitivity under dark adaptation. *Journal of Vision*, 12(13), 4-4. <https://doi.org/10.1167/12.13.4>
- Popelka, S., & Voženilek, V. (2013, March). Specifying of requirements for spatio-temporal data in map by eye-tracking and space-time-cube. In *International Conference on Graphic and Image Processing, Arizona, USA*, 8768, 974-978. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2011438>
- Porter, P. S., Rao, S. T., & Hogrefe, C. (2002). Linear trend analysis: a comparison of methods. *Atmospheric Environment*, 36(27), 4420-4421. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00546-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00546-0)
- Purwanto, P., Utaya, S., Handoyo, B., Bachri, S., Astuti, I. S., Utomo, K. S. B., & Aldianto, Y. E. (2021). Spatiotemporal analysis of COVID-19 spread with emerging hotspot analysis and space-time cube models in East Java, Indonesia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 133. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030133>
- Rich, C., & Longcore, T. (2013). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Washington, DC, USA, Island Press.
- Sader, S. A., Powell, G. V., & Rappole, J. H. (1991). Migratory bird habitat monitoring through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 12(3), 363-372.
- Salmon, M. (2006). Protecting sea turtles from artificial night lighting at Florida’s oceanic beaches. In C. Rich & T. Longcore (Eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, 141-168, Washington, DC, USA. Island Press.
- Senzaki, M., Barber, J. R., Phillips, J. N., Carter, N. H., Cooper, C. B., Ditmer, M. A., & Francis, C. D. (2020). Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent. *Nature*, 587(7835), 605-609. <https://doi.org/10.1038/s41586.020.2903-7>
- Shi, K., Huang, C., Yu, B., Yin, B., Huang, Y., & Wu, J. (2014). Evaluation of NPP-VIIRS night-time light composite data for extracting built-up urban areas. *Remote Sensing Letters*, 5(4), 358-366. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.905728>

- Song, Y., & Miller, H. J. (2012). Exploring traffic flow databases using space-time plots and data cubes. *Transportation*, 39, 215-234. <http://dx.doi.org/10.1007/s11116.011.9343-z>
- Starek, M. J., Mitasova, H., Wegmann, K. W., & Lyons, N. (2013). Space-time cube representation of stream bank evolution mapped by terrestrial laser scanning. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(6), 1369-1373. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.224.1730>
- 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, 2282-2292. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.006>
- Sun, W., Zhang, X., Wang, N., & Cen, Y. (2017). Estimating population density using DMSP-OLS night-time imagery and land cover data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(6), 2674-2684. <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2017.270.3878>
- Topuz, E. (2009). *Endüstriyel tehlikeli maddeler için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Turan, L., & Arıkan, K. (2011). *Hatay ve risk altındaki göçmen kuşlar*. Hacettepe Üniversitesi Çevre Eğitimi, Kuş Araştırma ve Halkalama Merkezi.
- Ünal, O., & Gökçeoğlu, M. (2003). Akdeniz üniversitesi kampus florası (Antalya-Türkiye). *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 16(2), 143-154.
- Visser, M. E., Both, C., & Lambrechts, M. M. (2004). Global climate change leads to mistimed avian reproduction. *Advances in Ecological Research*, 35, 89-110. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(04\)35005-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(04)35005-1)
- Wang, S., Li, W., Zhou, Y., Yan, F., Wang, F., & Liu, W. (2015). Space-time evolution of historical drought hazards in eastern China. *Natural Hazards*, 77, 2027-2047. DOI:10.1007/s11069.015.1685-y
- Weisshaupt, N., Leskinen, M., Moiseev, D. N., & Koistinen, J. (2022). Anthropogenic illumination as guiding light for nocturnal bird migrants identified by remote sensing. *Remote Sensing*, 14(7), 1616. <https://doi.org/10.3390/rs14071616>
- Winkler, D. W., Dunn, P. O., & McCulloch, C. E. (2002). Predicting the effects of climate change on avian life-history traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(21), 13595-13599. <https://doi.org/10.1073/pnas.212251999>
- Xi, W., Du, S., Wang, Y. C., & Zhang, X. (2019). A spatiotemporal cube model for analyzing satellite image time series: Application to land-cover mapping and Change detection. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111212>
- Yeşilyurt, E. B., Latif, K., & Akaydın, G. (2008). Hacıkadın Vadisi Florası üzerine bir araştırma Ankara/Türkiye. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 1(2), 25-52.
- Yıldırım, V., Yurdakul, E., Karaağaç, G. A., Koçer, M., & Uyguçgil, H. (2023). Eskişehir kent merkezindeki trafik kazalarının zamana bağlı konumsal analizi. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(1), 17-32. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1167844>
- Zheng, Q., Weng, Q., & Wang, K. (2019). Developing a new cross-sensor calibration model for DMSP-OLS and Suomi-NPP VIIRS night-light imageries. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 153, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.019>
- Zhuo, L., Zheng, J., Zhang, X., Li, J., & Liu, L. (2015). An improved method of night-time light saturation reduction based on EVI. *International Journal of Remote Sensing*, 36(16), 4114-4130. <https://doi.org/10.1080/01431.161.2015.1073861>