

IŞIK KİRLİLİĞİNİN TÜRKİYE ULUSAL GÖZLEMEVLERİNE ETKİSİ

Sima AYDIN¹, Rabia Beyza TÜRKMEN¹, Funda YÜZLÜKOĞLU³, Kazım KABA⁴, İlham NASIROĞLU⁵, Cahit YEŞİLYAPRAK^{6,7}, H. Mustafa KANDIRMAZ⁸,

¹Öğr., Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, sima.aydin22@ogr.atauni.edu.tr
²Öğr., Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, rabiabeyza.turkmen23@ogr.atauni.edu.tr
³Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fizik Bölümü, 45140, Yunusemre, Manisa, funda.yuzlukoglu@cb.edu.tr
⁴Dr., Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, kazimkaba@atauni.edu.tr
⁵Dr., Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, inasir@atauni.edu.tr
⁶Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, cahity@atauni.edu.tr
⁷Türkiye Ulusal Gözlemevleri Müdürlüğü
⁸Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, 01250, Sarıçam, Adana, mkandirmaz@cu.edu.tr

ÖZET

Işık kirliliği (LP), yanlış yerde, yanlış miktarda, yanlış yönde ve yanlış zamanda ışık kullanılmasıdır. LP, gökyüzünün doğal güzelliğini gizlerken bilimsel araştırmaların verimliliğini de azaltmaktadır. LP'ye doğal ve yapay kaynaklar sebep olabilir. Doğal ışık kirliliğine sebepler kutup ışıkları, ay ışığı ve güneş yansımaları örnek verilebilir. Bu etkiler cisimlerin hareketleri takip edilerek ışığın olumsuz etkilerinden kaçınılabılır. İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ve doğal karanlığı bozan aşırı ve/veya yanlış yönlendirilmiş yapay ışıklar yer tabanlı astronomik gözlemevlerinde yapılan çalışmalar için çözülmesi gereken önemli bir problemdir. Türkiye'nin iki büyük gözlemevinde (DAG ve TUG) kaliteli bilimsel çalışmaların yapılabilmesi için bu gözlemevlerinin gökyüzü parlaklık seviyelerinin etkin yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışma Türkiye Ulusal Gözlemevlerinin ışık kirliliği konusuna odaklanmıştır. Bu doğrultuda ışık miktarının ve ışık kaynağının gözlemevi yerleşkesine uzaklığının gökyüzü parlaklığına etkisi hesaplanmıştır. Ayrıca ışık kirliliğinin gözlemevlerinde kullanılan teleskobun işlevine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada Erzurum ve Antalya illerinin nüfus bilgileri ve uzaktan algılama verilerinden (S-NPP VIIRS) faydalanılmıştır. Çalışmanın sonucunda yerleşkelerin gökyüzünde farklı görüş yönlerinde farklı ışık değerleri olduğu görülmüştür. Bu ise teleskopların farklı yönlerde farklı performans göstermesine neden olacaktır. Bu yüzden gözlemevlerinin yakınındaki ışık kaynakları gökyüzü aydınlığına olumsuz etki ederek yapılan bilimsel çalışmaların kalitesini düşürecektir.

Anahtar Sözcükler: astronomi, ışık kirliliği, Türkiye ulusal gözlemevleri, uzaktan algılama

ABSTRACT

THE EFFECT OF LIGHT POLLUTION ON TÜRKİYE NATIONAL OBSERVATORIES

Light pollution (LP) is the use of light in the wrong place, in the wrong amount, in the wrong direction, and at the wrong time. While LP hides the natural beauty of the sky, it also reduces the efficiency of scientific research. LP can be caused by natural and artificial sources. Examples of natural light pollution include aurora borealis, moonlight, and sunlight. These natural effects can be avoided by following the movements of the objects. Excessive and/or misdirected artificial lights that arise as a result of human activities and disrupt natural darkness are important problems that need to be solved for studies conducted in ground-based astronomical observatories. In order to conduct quality scientific studies in Türkiye's two largest observatories (DAG and TUG), the sky brightness levels of these observatories must be managed effectively. For this reason, this study focused on the light pollution issue at the Türkiye National Observatories. In this regard, we calculated the effects of the amount of light and distance of the light source from the observatory sites on the sky brightness. The effect of light pollution on the function of the telescopes used in the observatories was also evaluated. In this study, population information and remote sensing data (S-NPP VIIRS) of Erzurum and Antalya provinces were used. As a result of the study, it was seen that the sites had different light values in different viewing directions in the sky. This will cause telescopes to perform differently in different directions. Therefore, light sources near observatories negatively affect the sky brightness and reduce the quality of scientific studies.

Keywords: astronomy, light pollution, Türkiye national observatory, remote sensing

1. GİRİŞ

Işık kirliliği (Light Pollution, LP), şehirlerin ve endüstriyel alanların genişlemesiyle birlikte yapay aydınlatmanın doğal gece ortamını bozması sonucu oluşan insan sağlığı, doğal yaşam ve bilimsel çalışmalar üzerinde geniş çaplı olumsuz etkiler yaratan bir olgu olarak ortaya çıkmıştır. Bu olgu, yanlış zamanda, yanlış miktarda, yanlış bir şekilde ışık kaynağı kullanılması ve istenmeyen ya da gerekmeyen yerin aydınlatılması sonucunda ortaya çıkan ışık yayılımıdır. Bu tür aydınlatma sistemlerinin kullanımı, hem görsel rahatsızlık yaratma potansiyeline sahip hem de enerji verimliliği açısından olumsuz etkiler doğurmaktadır (Aslan ve Onaygil, 1999; Falchi vd., 2016; Kyba vd., 2017).

Astronomide gökyüzü kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan birisi ışık kirliliğidir. Doğrudan gökyüzüne ya da yanlış bir şekilde binaya yansıtılan bu yapay ışıklar, özellikle kentsel alanlar üzerinde Dünya atmosferindeki minik hava molekülleri ve aerosoller (çevre kirliliğinin etkisiyle de kaynaklanan gaz ve toz ile birlikte katı veya sıvı

parçacıklar) tarafından her yöne yansıtılıp veya saçılarak gökyüzünün doğal parlaklığını arttırarak bozmaktadır. Bu artan gökyüzü parlaklığı süresince gözlenen gök cisimlerinin sinyal/gürültü oranı (S/N) daha da düşmektedir. Bu nedenle sönük bir yıldızdan alınan sinyal (foton), gürültünün içinde kaybolarak kaliteli bir gözlem yapılmasını engellemektedir (Aslan ve Onaygil, 1999; Cinzano vd., 2001). Gece gökyüzü parlaklığı, çıplak gözle görülebilen en sönük yıldızın parlaklığının ışık kirliliği seviyesine bağlı olması gibi, bir konumdaki ışık kirliliğinin durumunu tahmin etmek için astronomik gözlemler için bir çevresel değerlendirme göstergesi olarak kullanılabilir (Roach ve Gordon, 1973).

Günümüzde birçok ülkede ışık kirliliğini sınırlandırmak için yasal düzenlemeler yapılsa da hala yanlış kullanımlar yüzünden başta ülkemizde olmak üzere birçok yerde ışık kirliliği problemi ile karşılaşmakta ve büyük enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır (Cinzano vd., 2001). Işık kirliliği sorununu azaltmanın en iyi yöntemleri şunlardır: i. Mevcut aydınlatma planlarını değerlendirmek ve iyileştirmek, uygun armatürler ve lambalar kullanmak ve aydınlatma verimliliği için tasarımı yapmak, böylece aydınlatma ışığının gökyüzüne yönelimini keserek sadece aydınlatılacak olan yere yönlendirmek. ii. Işığın amacına ulaşmak için gereken minimum yoğunluktaki ışık kaynaklarını kullanmak. iii. Gerektiğinde bir zamanlayıcı veya doluluk sensörü kullanarak veya manuel olarak gereksiz ışığı kapatmak. iv. Işık kirliliğine neden olmayacak ışık türlerini (dalgalarını) kullanmak, (Crawford, 2000; Rajkhowa, 2014) Işık kirliliğinin önlenmesi demek; enerji ve doğal kaynaklarda tasarruf etmek, aydınlatma maliyetini düşürmek, gece güvenliğini iyileştirmek, doğayı ve gökyüzünün güzelliğini korumaktır.

Modern yaşamın bir parçası olarak ortaya çıkan ışık kirliliği, önemli faydalar sunarken sağlık, ekoloji ve astronomi üzerinde çeşitli bilimsel etkiler yaratmaktadır. Bu dengenin sağlanması için, bilinçli ve sürdürülebilir aydınlatma kullanımını ve tasarımını geliştirmek büyük önem taşır. Bilimsel araştırmalar, gece ışıklarının zararlarını azaltmak için daha iyi stratejiler ve teknolojiler geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bunun bir gereksinimi olarak gece gökyüzü kalitesini ölçmek için farklı araçlar ve teknikler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan Unihedron SQM (Gökyüzü Kalite Ölçer-Berrak Gökyüzü Detektörü) küçük ve kullanımı kolay yer tabanlı ölçümlerde kullanılan bir araçtır. SQM, belirli bir yönde, kare ark saniyesi başına büyüklük biriminde gece gökyüzünün parlaklığını ölçmek ve gece boyunca, geceden geceye ve yıldan yıla gökyüzü parlaklığını izlemek için kullanılır (Unihedron, 2024). Bir diğeri ise uydular ile yapılan ölçümlerdir. 2011'de ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA), Suomi-NPP uydusunu fırlattı ve o zamandan günümüze uydudaki VIIRS algılayıcısından veri alınmaktadır (Darksky, 2024). Bu çalışmada, Erzurum ve Antalya illerinin nüfus bilgileri ve uzaktan algılama verilerinden (S-NPP VIIRS) faydalanarak ışık miktarının ve ışık kaynağının DAG ve TUG gözlemlerinin yerleşkesine uzaklığının gökyüzü parlaklığına etkisi değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE YÖNTEM

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin iki büyük gözlemevi (TUG ve DAG) ele alınmıştır. Bu çalışma ile gözlemleri yerleşkeleri için NTL (Nighttime Light; Gece Işıkları) verilerinden mekânsal ve zamansal değişimler sunulmaktadır. Bu kapsamda Suomi-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısından elde edilen yıllık NTL ürünleri kullanılmıştır. Veri setleri Türkiye ve 2012-2023 yılları arasında kapsamaktadır.

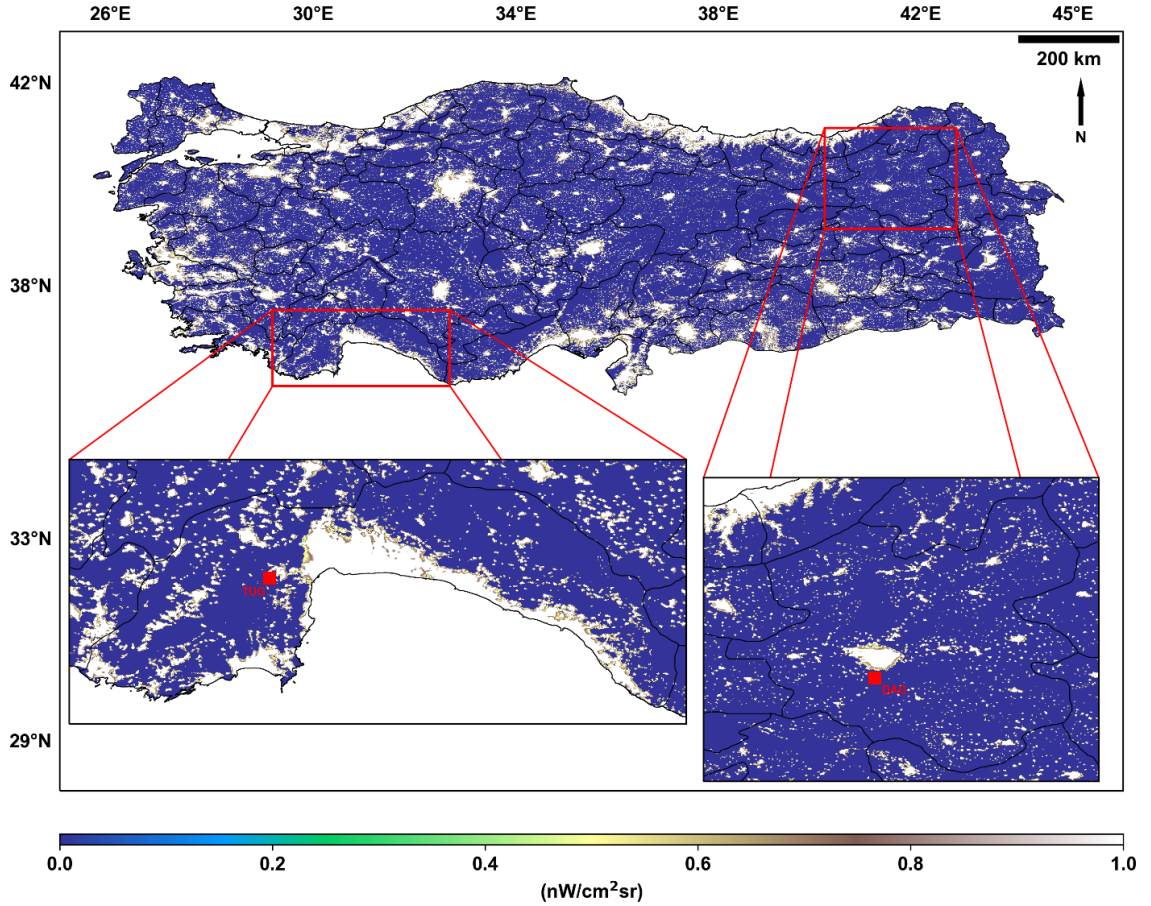
Türkiye'nin en büyük (4m sınıfı) ve ilk kırmızı öte teleskopuna sahip olan DAG 3170 m rakımda Erzurum, Konaklı-Karakaya Tepelerinde kurulmuştur (Şekil 1). Yerleşkenin tüm altyapı çalışmaları (elektrik, su, yol, internet gibi) tamamlanmış olup yerleşke ile şehir arasında yükseklikleri ~2500 m olan tepeler bulunmakta ve ışık ve hava kirliliği gibi kent etkisinden nispeten uzaktır. Konumu bakımından özellikle düşük nem oranı ve rüzgâr hızına sahiptir (Yüzlükoğlu, 2017). Ayrıca rüzgâr yönündeki kararlılığı, açık gece sayısı ve düşük PWV değerleri dikkate alındığında astronomik açıdan iyi bir atmosfere sahiptir. Yerleşkenin kurulu olduğu Karakaya Tepeleri coğrafik/topografik özelliklerden dolayı büyük çaplı birçok teleskop barındırabilecek potansiyele sahiptir. Özellikle atmosferik özellikleri ve konumu nedeniyle Dünya'da sayılı coğrafyada yapılabilen kırmızı öte bölgede gözlem yapılabilecek uygunluktur (ATASAM, 2024).

Kuruluş projesi 1991'de başlatılan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) 2500 metre rakıma sahip Antalya – Saklıkent konumunda 1997'de ilk ışığını alınarak resmi açılışı yapılmıştır. TUG'un ilk teleskopu olan 40 cm çaplı T40 teleskopunda ilk ışık Ocak 1997'de, 150 cm çaplı RTT150 teleskopunda ise ilk ışık Eylül 2001'de alınarak gözleminde bilimsel gözlemler başlamıştır (TÜBİTAK, 2023). Yerleşkede günümüzde üç teleskop (RTT150, T100 ve T60) ve pilot gözlem çalışmaları için iki teleskop (ROTSEIII-d ve RT40) aktiftir. Meteorolojik koşulları sebebiyle yılda ortalama 220 gece gözlem yapılabilmektedir (Kırbyık vd., 2017). TUG açılışından itibaren astronomi ve uzay bilimleri alanında hizmet verirken günümüzde de Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) projesi hizmete başlayacaktır. 2023 yılında TUG ve DAG Türkiye Ulusal Gözlemleri çatısı altında birleştirilmiştir.

Çalışmada uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen ve pek çok avantaj sağlayan uydu verileri kullanılmıştır. Çalışma alanının NTL görüntüleri NASA LAADS DAAC sunucusundan temin edilmiştir. Kullanıcılara 10X10 derecelik gridler şeklinde sunulan verilerden Türkiye'yi kapsayan 6 grid (h20v04, h20v05, h21v04, h21v05, h22v04 ve h22v05)

her bir yıl için (VNP46A4) indirilmiştir. S-NPP VIIRS, yer sistem bilimi ve uygulamaları için gece görünür ve yakın kızılötesi ışığın küresel günlük ölçümlerini sağlayan DNB kanalına sahiptir. VIIRS DNB kanalı düşük şiddetdeki ışığı ultra hassasiyeti ile gece ürünleri seti sağlıyor. Bu ürünler hem gece olaylarının şiddetini hem de izini ve ayrıca antropojenik ışık emisyon kaynaklarının daha iyi izlemesine olanak tanır. Ürünler “VIIRS Collection 1 – Level 1, Land (Archive Set 5000)” koleksiyonu ile VNP46A* kod adlarıyla dağıtılmaktadır. NTL verileri NASA ve NOAA ortaklığında çalıştırılan S-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısının DNB kanalından 500 metre yersel çözünürlükte üretilmektedir. Kısa adı VNP46A4 olan NTL ürünü 2012’den günümüze yıllık NTL bilgileri sağlamaktadır (LAADS DAAC A4). Çalışma alanının görüntüsünü elde etmek için temin edilen her bir grid koordinat dönüşümü yapılarak Türkiye’yi kapsayan birleşik bir görüntü elde edilmiştir. Bu görüntü içerisinde kalan çalışma alanlarının (DAG ve TUG) yıllık verileri uydu nadir görüş açısında NTL değerleri okunarak analizler ve hesaplamalar için kullanılmıştır.

Türkiye ışık kirliliği veri setlerini elde etmek için Türkiye’yi kapsayan gridler LAADS DAAC servिसinden indirilmiştir. 10X10 derecelik raster gridler koordinat dönüşümü yapılarak coğrafik koordinat sisteminde ve GeoTIFF dosya formatında birleştirilmiş ve devamında GADM (<https://gadm.org/data.html>) vektör dosyaları kullanılarak çalışma alanının raster veri setleri hazırlanmıştır. Çalışma alanlarının koordinatları kullanılarak görüntülerden ilgili piksellerin ve poligonların değerleri elde edilmiştir. Türkiye için tüm piksel değerleri üzerinden ve gözlem evleri için ise DAG ve TUG teleskop koordinatlarına denk gelen çeşitli sayıdaki piksellerin (3X3, 5X5, 7X7 vb.) nicel değerleri üzerinden analizler ve hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada bu tür işler Python programlama dili ve ilgili kütüphaneleri (gdal, numpy, cartopy vb.) kullanılmıştır.

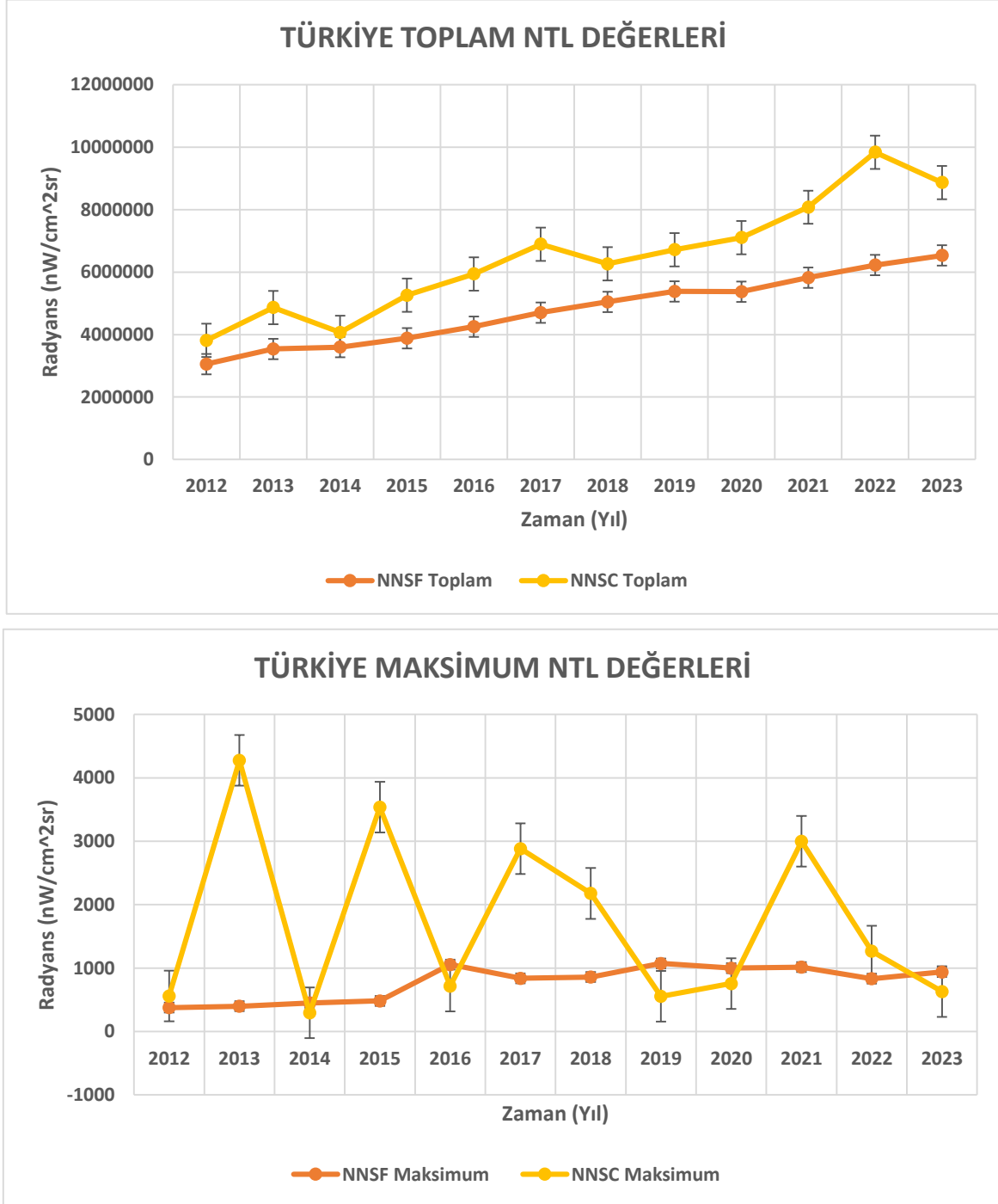


Şekil 1. Çalışma alanı

Astronomide, LP nedeniyle sinyal – gürültü oranı (SNR) değerinin azalması, teleskobun birincil aynasının etkin çapının (açıklığının) azaltılması anlamına gelir. Işık toplama gücünün ayna çapıyla orantılı olduğu düşünüldüğünde belli bir SNR değerini toplamak için teleskobun çapının artırılması gerekir ve bu nedenle bir teleskop kurmanın maliyeti de artacaktır (Schreuder, 2001). Crawford (2000) 4 metre sınıfı bir teleskobun ışık kirliliği nedeniyle etkinliğinin ne derecede azaldığını $A_e = (A^2/X)^{0.5}$ eşitliğinden ve maliyetinin ne derece arttığını $\Delta S(\%) = (A_e/4)^{2.7}$ eşitliğinden yola çıkarak hesaplayan bir çalışma sunmuştur. Burada, A teleskobun gerçek çapını, X ışık kirliliğinin (yapay gökyüzü ışmasının) artışını, A_e ışık kirliliğinin etkisinden dolayı teleskobun eşdeğer çapını ve $\Delta S(\%)$ ise teleskop maliyetinin artış yüzdesini ifade etmektedir. O çalışmaya göre, ışık kirliliğinin %10 kadar artışı nedeniyle etkin çapı %5 azalan bir teleskobun ekonomik kaybı yaklaşık olarak %15 kadardır (Crawford, 2000).

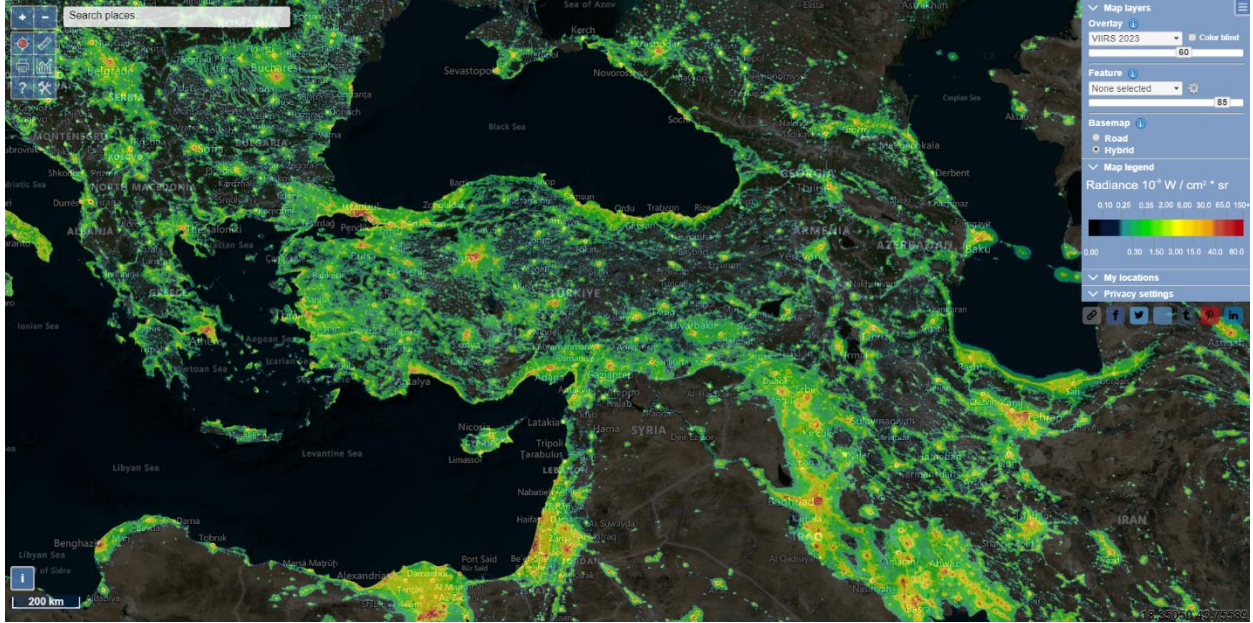
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Türkiye'nin iki büyük gözlemevi olan DAG ve TUG yerleşkeleri ve çevrelerinin kent ışıklarından etkilenme seviyeleri ile Türkiye gece ışık değerlerinin yıllık değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara bu bölüm içerisinde aşağıda tartışılmıştır. Öncelikle çalışmada Türkiye için bir değerlendirmede bulunmak amacıyla Şekil 2'de Türkiye'nin yıllık NTL verilerinden gece ışıklarının zaman serileri verilmiştir. Şekilde üst panel Türkiye'yi kapsayan tüm piksel değerlerinin toplamını, alt panel ise maksimum değerleri ifade etmektedir. Şekilde uydunun nadire yakın görüş açısında (NN: Near Nadir) ve yüzeyin kar örtüsüne göre (NNSF: Kar yok, NNSC: Kar var) NTL değerleri farklı grafiklerde verilmiştir. Yüzeydeki kar varlığının hem gece ışık miktarını hem de NTL değerlerinin değişkenliğini artırdığı grafiklerden görülebilir. Grafikten maksimum değerlere bakıldığında yine yüzey karlı iken NTL değerlerinde büyük dalgalanmalar görülmektedir. Yüzeydeki kar varlığının yanı sıra hava sıcaklıkları ve karlı gün sayısı da NTL'nin yıllara göre dalgalanma nedeni olabilir. Toplam grafiklere bakıldığında NTL 2012'den 2023 yılına kadar artış eğilimi göstermiştir. 12 yıllık sürede artış neredeyse iki kat (%100) olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2. Türkiye için gece ışıklarının yıllık zaman serisi grafikleri

Şekil 3'te Türkiye ve çevresinin radyans biriminde (nW/cm^2sr) NTL haritası verilmiştir. Harita lejantı incelendiğinde kahverengi ve siyah renkler yaklaşık $0.3 nW/cm^2sr$ 'ten küçük değerleri, yeşil renkler $0.3 - 3 nW/cm^2sr$ aralığını, sarı renkler $3 - 40 nW/cm^2sr$ aralığını ve kırmızı renkler $40 - 80 nW/cm^2sr$ aralığını ifade etmektedir. Haritada kent merkezleri kırmızı renkli (yüksek değerli) ve kırsal bölgeler kahverengi (düşük değerli) olarak görülmektedir. Çalışmada bu üç değer aralığının (kırmızı, sarı ve yeşil alanlar) gözlemlerine olan mesafeleri her bir yıl için tespit edilmiştir. Bu kapsamda elde edilen değerler ve kentlerin (Erzurum ve Antalya) nüfus bilgileri Çizelge 1 ve 2'de ve normalize edilmiş değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Türkiye ve çevresinin gece ışıkları (<https://www.lightpollutionmap.info/>)

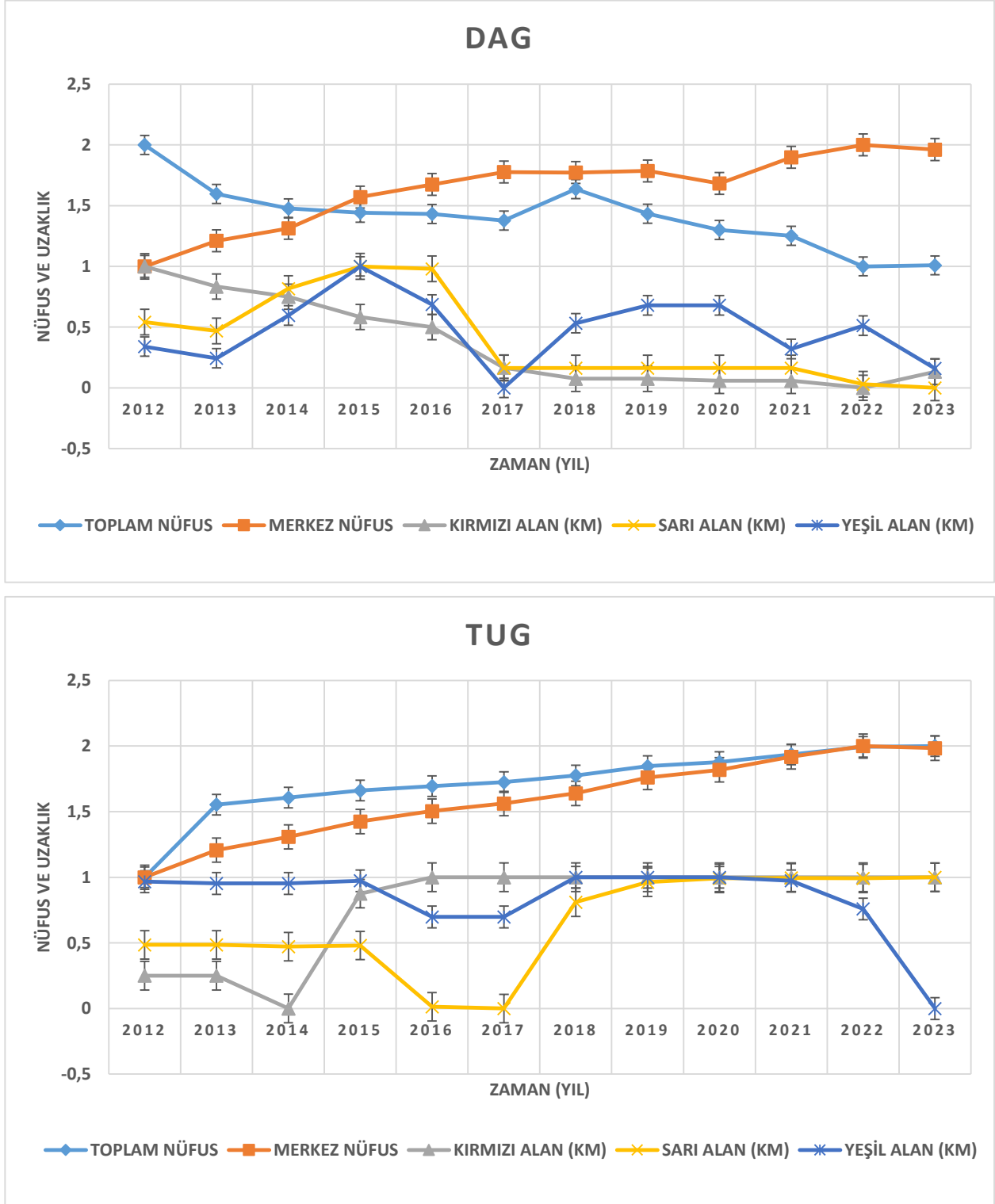
Çizelge 1. DAG yerleşkesine yakın nüfus ve ışık kaynakları (Nüfus bilgileri: TÜİK)

Yıllar	Toplam nüfus	Merkez nüfus	Kırmızı alan (km)	Sarı alan (km)	Yeşil alan (km)
2012	778195	384399	10.8	8.69	1.48
2013	766729	394684	10.6	8.62	1.33
2014	763320	399683	10.5	8.96	1.88
2015	762321	412326	10.3	9.14	2.51
2016	762021	417385	10.2	9.12	2.02
2017	760476	422389	9.8	8.32	0.95
2018	767848	422164	9.69	8.32	1.78
2019	762062	422832	9.69	8.32	2.01
2020	758279	417784	9.67	8.32	2.01
2021	756893	428302	9.67	8.32	1.45
2022	749754	433300	9.6	8.19	1.75
2023	749993	431426	9.76	8.16	1.2

Çizelge 2. TUG yerleşkesine yakın nüfus ve ışık kaynakları (Nüfus bilgileri: TÜİK)

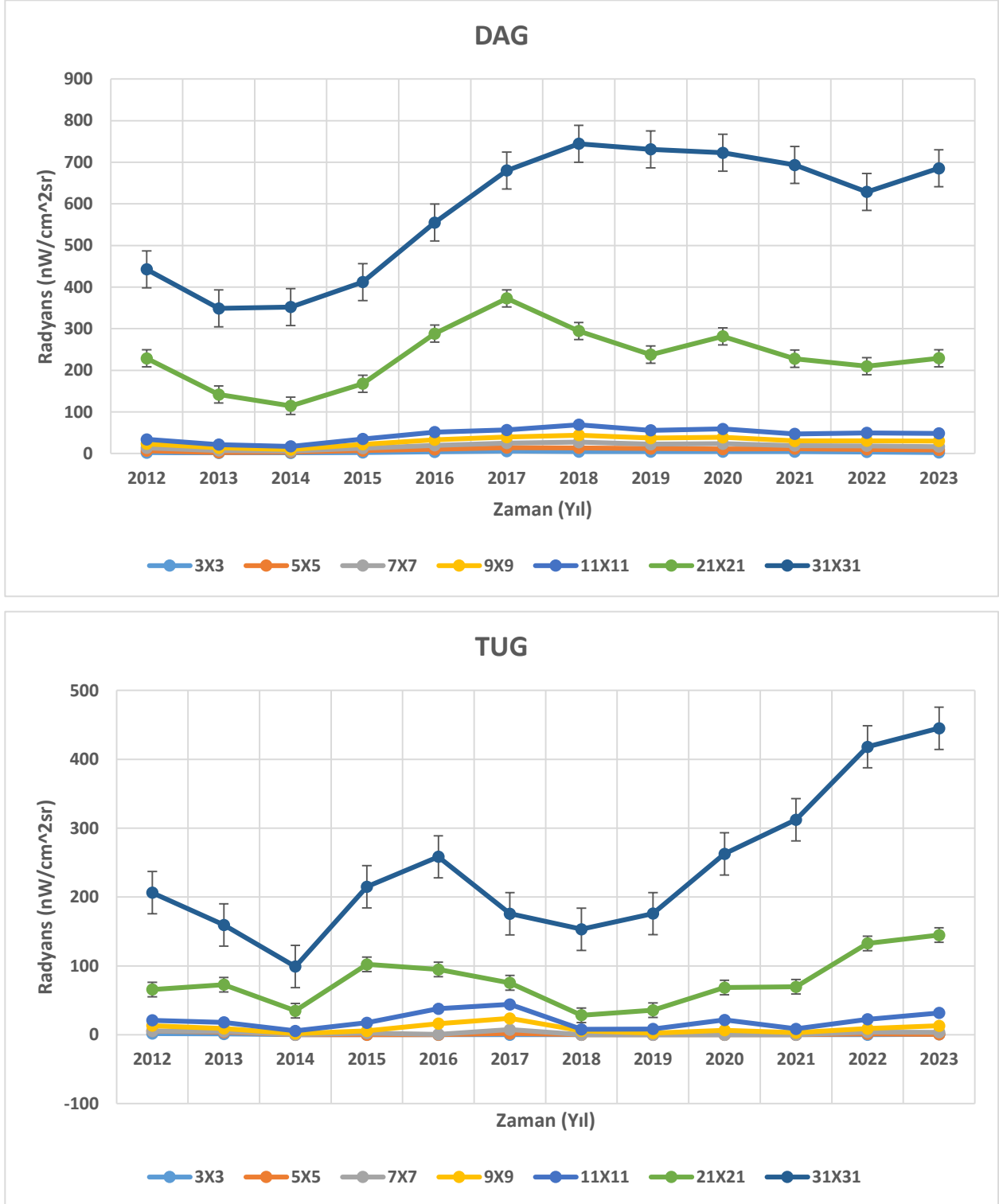
Yıllar	Toplam nüfus	Merkez nüfus	Kırmızı alan (km)	Sarı alan (km)	Yeşil alan (km)
2012	1492674	1073794	22.4	3.81	1.44
2013	2158265	1161148	22.4	3.81	1.42
2014	2222562	1203994	22.2	3.76	1.42
2015	2288456	1253410	22.9	3.79	1.45
2016	2328555	1286943	23	2.05	1.04
2017	2364396	1311471	23	2	1.04
2018	2426356	1344248	23	5.02	1.49
2019	2511700	1395458	23	5.59	1.49
2020	2548308	1420166	23	5.7	1.49
2021	2619832	1462129	23	5.71	1.45
2022	2688004	1496881	23	5.7	1.13
2023	2696249	1489792	23	5.73	0

Şekil 4 incelendiğinde Erzurum toplam nüfusu azalma ve merkez nüfusu artma eğilimi göstermiştir. Antalya için ise hem merkez hem de toplam nüfus artış eğilimindedir. Nüfus artışı ise doğrudan ve dolaylı olarak ışık kirliliğini artıracaktır. Nüfus artışıyla hem yerleşim yerlerinin genişlemesi hem de insan faaliyetlerinin artması ışıklandırmayı artıracaktır. Çizelgelerden ve şekilden kırmızı alan grafikleri incelendiğinde (gri grafikler) şiddetli ışık kaynaklarının DAG yerleşkesine yaklaştığı (~1 km) ve TUG için küçüğe olsa uzaklaştığı (~0.6 km) görülür. Sarı alan yani orta şiddetli ışık kaynaklarının yerleşkelere olan uzaklık değişimleri de şekildeki sarı renkli grafiklerden görülebilir. Düşük şiddetli ışık kaynakları (mavi grafikler) incelendiğinde DAG için yıllar içinde değişkenlik gösterirken TUG için nispeten daha kararlı bir durumdadır. Özetle bu grafiklerden ve çizelgelerden ışık kaynakları hem gözlemevleri yerleşkelere yaklaşmakta hem de ışık miktarı artmaktadır.



Şekil 4. Gözlemevleri çevresindeki nüfus ve ışık kaynaklarındaki değişimler

Gözlemleri ve çevrelerindeki ışık kaynaklarının varlığını ve şiddetini daha kesin belirlemek için VNP46A4 ürününden piksel tabanlı hesaplamalar kullanılmıştır. Bu kapsamda gözlemlerindeki birincil teleskop konumlarına denk gelen pikseller referans alınarak merkezden dışa doğru karesel alanlardaki NTL değerleri incelenmiştir. Bu değerlerin çizgi grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekildeki grafikler teleskop konumlarını çevreleyen 3X3 (~1.5X1.5 km²), 5X5 (~2.5X2.5 km²), 7X7 (~3.5X3.5 km²), 9X9 (~4.5X4.5 km²), 11X11 (~5.5X5.5 km²), 21X21 (~10.5X10.5 km²) ve 31X31 (~15.5X15.5 km²) alanlarındaki piksellerin toplam değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde gözlemlerinin yakınlarında (10 km'den küçük) oldukça düşük ışık kaynakları ve aydınlanma görülmektedir. Ancak 10 km'den itibaren (21X21 ve 31X31) daha fazla sayıda ve daha fazla miktarda yerleşim yerlerinin ışıkları aydınlanma yapmaktadır. Işık kaynaklarının uzaklıkla şiddeti azalsa da geniş mesafeleri etkileyerek gök yüzü aydınlığını artırması ve astronomik gözlemleri olumsuz etkilemesi kaçınılmazdır.



Şekil 5. DAG ve TUG yerleşkelerinin karlı yüzey şartlarındaki gece ışık değerlerinin zaman serileri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Erzurum ve Antalya illerinin nüfus bilgileri ve uzaktan algılama verilerinden (S-NPP VIIRS) faydalanarak ışık miktarının ve ışık kaynağının DAG ve TUG gözlemlerinin yerleşkesine uzaklığının gökyüzü parlaklığına etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Türkiye'nin iki büyük gözlemevi olan DAG ve TUG yerleşkeleri ve çevrelerinin kent ışıklarından etkilenme seviyeleri ile Türkiye gece ışık değerlerinin yıllık değişimi incelenmiştir. Çalışmanın başlıca sonuçları aşağıda liste şeklinde verilmiştir.

- Türkiye arazisi için karlı yüzey şartlarında hem gece ışık miktarının hem de aydınlanma değişkenliğinin karsız yüzeylere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Türkiye arazisini kapsayan piksellerin maksimum değerleri dikkate alındığında karlı yüzeylerde NTL değerleri büyük değişkenlik gösterirken karsız yüzey şartlarında değişkenlik oldukça düşüktür.
- Yüzeydeki kar varlığı, karlı gün sayısı ve kar miktarının/derinliğinin değişimi Türkiye için gece aydınlanma miktarında da değişime neden olmaktadır.
- Türkiye için NTL değerleri 2012'den 2023 yılına kadar artış eğilimi göstermiştir. 12 yıllık sürede artış neredeyse iki kat (%100) olarak gerçekleşmiştir.
- Nüfus artışıyla ve dolayısıyla yapılaşma nedeniyle ışık kaynaklarının yıllar içinde gözlemlerine olan mesafeleri azalmıştır. Işık kaynakları hem gözlemleri yerleşkelerine yaklaşmakta hem de ışık miktarı artmaktadır.
- Gözlemlerinin yakınlarında (10 km'den küçük) oldukça düşük ışık kaynakları ve aydınlanma varken 10 km'den itibaren daha fazla sayıda ve daha fazla miktarda ışık kaynakları ve aydınlanma tespit edilmiştir.
- Gözlemlerinin yerleşkelerine yıldan yıla yaklaşan bu ışık kirliliği de gözlemlerinin uzun vadeli verimliliği ve astronomik gözlemlerin kalitesi için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

Aslan, Z., Onaylıgil, S., 1999. Işık kirliliği ve enerji tasarrufu, *18. Enerji Tasarrufu Haftası Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi*, 3-5 Şubat, Ankara, S. 54-60.

ATASAM, 2024. DAG Projesi. <https://atasam.atauni.edu.tr/dag/>, [Erişim tarihi: 09.09.2024].

Cinzano, P., Falchi, F., & Elvidge, C. D., 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(3): 689-707.

Crawford, D. L., 2000. Light pollution, an environmental problem for astronomy and for mankind. *Memorie della Società Astronomia Italiana*, Vol. 71, p. 11, 71, 11.

Darksky, 2024. Darksky International. <https://darksky.org/>, [Erişim tarihi: 09.09.2024].

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K. E., ... & Furgoni, R., 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377.

Kırbiyık H., Esenoğlu H.H., Özışık T., Hamitoğlu İ., 2017. 20.Yılında Evrene Açılan Pencерemiz TÜbitak Ulusal Gözlemevi (TUG), *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, Sayı: 598: 14-19.

Kyba, C. C. M., Kuester, T., Miller, S. D., & Elvidge, C. D., 2017. Light pollution reversal is possible. *Science*, 358(6360): 1303-1306.

LAADS DAAC A4. VNP46A4 - VIIRS/NPP Lunar BRDF-Adjusted Nighttime Lights Yearly L3 Global 15 arc second Linear Lat Lon Grid. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/VNP46A4>, [Erişim tarihi: 09.09.2024].

Rajkhowa, R., 2014. Light pollution and impact of light pollution. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(10): 861-867.

Roach, F. E., and Gordon, J. L., 1973. *The light of the night sky*. Springer Dordrecht.

Schreuder, D. A., 2001. Recent CIE activities on minimizing interference to optical observations. *In Symposium-International Astronomical Union*, (Vol. 196, pp. 69-76). Cambridge University Press.

TÜBİTAK, 2023. TÜBİTAK ULUSAL GÖZLEMEVİ. <https://tug.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/hakkimizda-0>, [Erişim tarihi: 09.09.2024].

Unihedron, 2024. Portable Tools for Physics and Astronomy. <http://www.unihedron.com/>, [Erişim tarihi: 09.09.2024].

Yüzlükoğlu, F., 2017. Erzurum ve Çevresinin Astronomi Gözlemleri Açısından Atmosferik Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 84 Sayfa.